Análise de viabilidade técnica da inserção de raspas de borracha em concreto para pavimentos rígidos

Technical feasibility analysis of the insertion of rubber chips in concrete for rigid pavements

Maria Paula Vieira Alves ¹; Ricardo Paganelli de Lima ²

¹Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB) – Barretos (SP), Brasil.

²Prof. Me. Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB) – Barretos (SP), Brasil.

Resumo

O Brasil é caracterizado como um país extremamente rodoviário, sendo as rodovias usadas para escoar a maior parte da produção e para o fluxo de pessoas no país. A maioria das rodovias do país são compostas por pavimentos flexíveis, que não estão em boas condições de segurança e conforto aos usuários, devido à falta de manutenção. O pavimento rígido seria uma alternativa a este problema, já que oferece tempo de vida útil maior e necessita de menos manutenções, porém tem custo inicial mais elevado. Visando desenvolver tecnologias sustentáveis, este trabalho estuda e analisa o uso da borracha proveniente de pneus como parte dos agregados do concreto utilizado para pavimentação rígida, resultando assim em um pavimento de melhor qualidade e que colabora com o meio ambiente, reciclando parte dos pneus descartados. Para esta pesquisa foram desenvolvidos 3 tipos de traços de concreto: convencional (referência), substituição 1 (substituição de 14% da massa dos agregados graúdos por grânulos de borracha) e substituição 2 (substituição de 5% da massa de agregado miúdo por borracha em pó). Após a coleta dos resultados dos ensaios, observou-se que a substituição 1 apresentou resistência média a compressão axial de 9,66 MPa, abaixo da resistência mínima necessária de 20 MPa para função estrutural, porém pode ser aplicada na construção de elementos sem função estrutural. A substituição 2 apresentou resistência média a compressão axial de 20,15 MPa, apresentando viabilidade estrutural para o uso em pavimentos rígidos.

Palavras-chave: reciclagem; borracha; agregados; pavimentação

Abstract

Brazil is characterized as an extremely road country, in which highways are used to transport most of the production and traffic of people in the country. Most highways in the country are composed of flexible pavements, which are not in good conditions of safety and comfort to users, due to the lack of support. The rigid pavement would be an alternative to this problem since it offers a longer service life and needs less maintenance, but it has a higher initial cost. Seeking to develop sustainable technologies, this work studies and analyzes the use of rubber from tires, as part of the concrete aggregates used for rigid pavement, transforming it into a better-quality pavement, which collaborates with the environment, recycling part of the put-away tires. For this research, 3 types of concrete mixes were developed: conventional (reference), replacement 1 (substitution of 14% of the mass of big aggregates with rubber granules), and replacement 2 (substitution of 5% of the mass of fine aggregate with rubber) in powder). After collecting the results of the tests, it was noted that replacement 1 presented an average resistance to axial compression of 9.66 MPa, below the minimum required strength of 20 MPa for structural function. However, it can be applied in the construction of elements without structural function. The replacement 2 presented an average resistance to axial compression of 20.15 MPa, showing structural viability for use on rigid pavements.

Keywords: recycling; rubber; aggregates; paving

Autor para correspondência: Maria Paula Vieira Alves E-mail: mariapaulavieiraalves@gmail.com; Tel. (17) 99118-2677

Recebido para publicação: 21/01/2021

Aceito para publicação: 13/05/2021

Introdução

O Brasil é caracterizado como um país extremamente rodoviário. De acordo a Fundação Dom Cabral (2017), as rodovias são usadas para escoar 75% da produção do país, e também responsáveis por 58% do transporte de pessoas no país.

As rodovias brasileiras são compostas majoritariamente por pavimentos flexíveis, que, de acordo com o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes, 2006a), são pavimentos compostos por revestimento asfáltico apoiado em camadas de base, sub-base e de reforço do subleito, que sob carregamento sofre deformação elástica em todas as camadas, ou seja, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes.

Parte das rodovias compostas pela pavimentação flexível do Brasil não estão em boas condições de segurança e conforto aos usuários. De acordo com o Ministério da Infraestrutura (Brasil, 2018), dos 57,2 mil quilômetros de rodovias federais pavimentadas no Brasil sob administração do DNIT, apenas 33,7 mil (59%) estão em bom estado de conservação. Isso ocorre principalmente porque a pavimentação flexível demanda manutenções que nem sempre são realizadas.

O pavimento rígido, outra forma de pavimento, conforme Rezende (2014), apresenta uma menor demanda de manutenções, devido ao seu sistema construtivo, e seria uma alternativa para as rodovias brasileiras. Segundo o DNIT (Departamento de Estradas e Rodagem do Estado do Paraná, 2006a), o pavimento rígido é aquele em que a cobertura do revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Ainda de acordo com o DNIT (Departamento de Estradas e Rodagem do Estado do Paraná, 2006b), o pavimento rígido é composto por uma camada de placa de concreto, apoiada em uma sub-base, que por sua vez é apoiado em um subleito.

O pavimento rígido vem sendo usado em alguns trechos do país, por exemplo, na Rodovia Castelo Branco e no Rodoanel Mário Covas, ambos em São Paulo-SP. De acordo com Rezende (2014), esse pavimento carrega vantagens como: maior distância de visibilidade horizontal; pequena necessidade de manutenção; vida útil de 30 anos; maior segurança contra derrapagem, devido à textura da superfície; e distância a frenagem

reduzida, sendo 16% menor em superfície seca e 40% menor em superfícies molhadas.

Visando desenvolver produtos e tecnologias que favoreçam a sociedade e auxiliem a preservação ambiental, este trabalho realiza uma análise de viabilidade técnica da inserção de raspas de borracha como parte dos agregados usados no concreto destinado ao pavimento rígido. Este estudo pode resultar em uma rodovia de maior qualidade aos usuários, e que também colabora com o meio ambiente, reciclando parte dos pneus descartados no meio ambiente, cujo número, de acordo com a SEST SENAT (Serviço Social do Transporte & Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte, 2019), é próximo de 450 mil toneladas anuais.

Granzotto & Souza (2013) estudaram a utilização do pó de borracha proveniente de pneus inservíveis como parte do agregado miúdo no concreto. Após a realização de ensaios laboratoriais, foi concluído que, em substituições de até 5% da quantidade de areia, a utilização do pó de borracha é perfeitamente viável, podendo produzir concretos com resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão semelhantes ao concreto convencional.

Material e Métodos

Após pesquisas na bibliografia, foram escolhidos os estudos de Ferreira & Faria Junior (2015) e de Granzotto & Souza (2013) como referências para este trabalho. Desta forma, foram desenvolvidos 3 tipos de traços de concreto: um de referência, sem inserção de borracha; um com a substituição de 14% da quantidade de agregado graúdo por borracha em grânulos; e, por fim, a substituição de 5% da quantidade de agregado miúdo por pó de borracha.

Para o desenvolvimento dos traços foram obedecidas as especificações de serviços rodoviários para a pavimentação rígida oferecida pelo DER-PR (Departamento de Estradas e Rodagem do Estado do Paraná, 2005a) e as orientações da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019). Posteriormente, usando como parâmetro as pesquisas de Granzotto & Souza (2013), foi decidido que para cada traço deveriam ser moldadas 9 amostras, totalizando 27 corpos de prova, de dimensões 10,0 cm x 20,0 cm, sendo 20,0 cm a altura e 10,0 cm o diâmetro.

No o processo de desenvolvimento do traço, após a determinação do consumo de materiais, foi feita a proporção do traço para representação

final, que segundo ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019) é realizada usando a Equação 1 a seguir:

Equação 1: Representação final do traço.

$$\left(\frac{C_{\text{cimento}}}{C_{\text{cimento}}} : \frac{C_{\text{areia}}}{C_{\text{cimento}}} : \frac{C_{\text{brita}}}{C_{\text{cimento}}} : \frac{C_{\text{água}}}{C_{\text{cimento}}} \right) \quad (1)$$

O passo seguinte, ainda de acordo com a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019), é encontrar os respectivos valores em massa, de cada material para a moldagem da quantidade de amostras desejadas, considerando uma determinada perda de materiais. Nesta etapa, inicialmente, é encontrada a quantidade de cimento usada para a produção de 1 m³ de concreto, que de acordo com Helene & Terzian (1992) é calculada usando a Equação 2 a seguir:

Equação 2: Ajuste do traço para massa

$$\frac{1}{\gamma_{\text{cimento}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{areia}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{brita}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{água}}} \quad (2)$$

Com a quantidade de cimento para 1 m³ de concreto, usando uma regra de três simples, encontra-se a quantidade de cimento necessária para a moldagem de um corpo de prova, que tem volume de 0,001571 m³. O volume do corpo de prova é multiplicado por 10, considerando 9 amostras e aproximadamente 10% de perdas.

Para areia, brita e água, os valores encontrados no traço são multiplicados pelo valor encontrado na Equação 2, seguidamente pelo volume de um corpo de prova, e finalmente por 10, considerando as perdas.

Usando ainda como parâmetro Granzotto & Souza (2013), as idades de cura para os ensaios foram definidas em 7, 14 e 28 dias, para uma análise do crescimento da resistência do concreto em relação ao tempo. Em cada idade de cura foram testadas 3 amostras de cada traço.

O passo seguinte foi a moldagem dos corpos de prova, que ocorreu no laboratório de construção civil do UNIFEB, seguindo as orientações da NBR 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015b). Os materiais usados na moldagem foram disponibilizados pelo próprio laboratório, sendo estes: cimento Portland CII 32 da marca Itaú, com massa específica de 3100 kg/m³ e resistência de 32 MPa; brita 1, com granulometria entre 9,5 mm a 19 mm e peso específico de 2900 kg/m³; e areia

com módulo de finura de 2,6 e peso específico de 2630 kg/m³. Deve ser destacado que os valores dos pesos específicos dos agregados foram obtidos através de ensaios laboratoriais, obedecendo as recomendações da ABNT NBR NM 53 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003b) e ABNT NBR NM 52 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003a). A borracha em grânulos e o pó de borracha usados nesta pesquisa são de propriedade do UNIFEB, doação da instituição para trabalhos e pesquisas dos alunos. A Figura 1 a seguir representa a moldagem de 9 amostras do total de 27 corpos de prova.

Segundo o DER-PR (Departamento de Estradas e Rodagem do Estado do Paraná, 2005b), os ensaios de maior importância para determinação das características mecânicas do concreto usado na pavimentação rígida são os de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão axial, e esses devem ser realizados seguindo as normas NBR 12142 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010) e NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018), respectivamente.

No entanto, a instituição de ensino UNIFEB não tem disponível o equipamento para realizar o ensaio de tração na flexão, e devido à pandemia de covid-19, não foi possível realizar tal experimento em outra universidade. Foi analisada a possibilidade

Figura 1. Corpos de prova moldados de acordo com as recomendações da NBR 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015b).

Fonte: Autora (2020).

da realização do ensaio de compressão diametral, pois este traria resultados relevantes ao trabalho, porém o laboratório de construção civil também não dispõe equipamento necessário. Desta forma, foi realizado no laboratório de construção civil do UNIFEB apenas o ensaio de compressão axial, seguindo as recomendações da norma NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018).

O equipamento usado no ensaio de compressão axial foi a prensa hidráulica disponível no laboratório de construção civil do UNIFEB, da marca Zeloso, modelo PC, série 351, com capacidade máxima de 10000 kgf. Esse equipamento apresenta valores da resistência atingida em Tf, e para melhor apreciação e estudo dos resultados, esses foram convertidos em MPa.

Resultados e Discussão

O traço desenvolvido de acordo as referências Granzotto & Souza (2013) e as recomendações da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019) teve Fck definido em 25 MPa, e foi determinada a condição B da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019), em que as quantidades dos materiais são medidas em massa. Ainda seguindo as orientações e equações apresentadas pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019), o consumo de água foi

determinado em 200 l/m³; o consumo de cimento em 400 kg/m³; o consumo de agregado graúdo em 1104 kg/m³ e o consumo do agregado miúdo em 789 kg/m³.

Após a definição do consumo dos materiais, usando a Equação 1, indicada pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019) e apresentada no item Materiais e Métodos, foi possível obter a proporção final do traço de 1:1,97:2,76:0,5. O passo seguinte foi encontrar os respectivos valores em massa, usando a Equação 2, também descrita no item Materiais e Métodos. A Tabela 1 apresenta as quantidades de materiais, em massa, usada para a moldagem de 9 corpos de prova de cada traço, considerando uma perda de 10%.

Após a realização do ensaio de compressão axial, com os dados obtidos e as transformações de unidades necessárias, foi elaborada a Tabela 2 para melhor visualização dos resultados. A Tabela 2 apresenta os valores encontrados para a resistência à compressão axial, em MPa, nas idades controle de 7, 14 e 28 dias.

Conjuntamente foi elaborada a Figura 2, para melhor visualização e compreensão do crescimento da resistência dos corpos de prova, de concretos diferentes, nas idades de cura 7, 14 e 28 dias.

Analisando os dados acima, pode-se observar que as amostras da substituição 1 apresentaram baixos resultados ao ensaio de compressão axial,

Tabela 1. Quantidade de materiais, em quilograma, usados para moldagem de 9 corpos de prova de cada traço.

	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Pó de borracha (kg)	Borracha grânulos (kg)
Trad.	6,20	12,23	17,13	3,10	0,00	0,00
Sub. 1	6,20	12,23	14,70	3,10	0,00	2,40
Sub. 2	6,20	11,61	17,13	3,10	0,62	0,00

Tabela 2. Resistências atingidas para a compressão axial (Fck).

	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
Amostras concreto referência	16,85	19,97	24,82
	16,85	18,10	19,00
	18,10	20,60	29,28
Amostras concreto Substituição 1	6,24	7,50	9,28
	7,50	8,11	9,54
	8,12	8,74	10,18
Amostras concreto Substituição 2	11,45	15,28	19,73
	14,05	16,58	20,37
	14,05	16,58	20,37

Figura 2. Aumento da resistência à compressão axial (Fck), de amostras de concretos diferentes, nas idades de cura 7, 14 e 28 dias.

resultando aos 28 dias em um valor médio de 9,66 MPa para a resistência à compressão axial. Esta diminuição na resistência, de 60,34%, se comparada ao concreto de referência, pode ser explicada pelas diferenças características do agregado graúdo derivado da rocha natural e do agregado graúdo de borracha, e também a quantidade substituída. Este resultado já era esperado, tendo em vista os estudos de Sukontasukkul & Chaikaew (2006), que concluíram que substituições acima de 10% de borracha provocam redução nas propriedades mecânicas do concreto. As amostras da substituição 2 apresentaram resultados positivos quanto ao ensaio de compressão axial, atingindo aos 28 dias o valor médio de 20,15 MPa. É importante citar que as amostras da substituição 2 também sofreram redução da resistência à compressão axial, em torno de 17,25%, porém essa diminuição não comprometeu o concreto para fins estruturais.

Segundo a NBR 8953 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015a), para um concreto ser considerado estrutural, deve atingir aos 28 dias de cura uma resistência mínima à compressão axial de 20 MPa. Conforme o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes, 2006b), para pavimentos rígidos a resistência do concreto deve atender o mínimo exigido pela NBR 8953 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015a), e varia de acordo com as solicitações que o pavimento sofrerá, seguindo as orientações do projeto.

Conclusão

Com os resultados encontrados, e as informações descritas no item acima, é possível concluir que

as amostras moldadas com a substituição 1 não alcançaram as exigências mínimas da NBR 8953 2015 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015a) portanto, não podem ser usadas em estruturas, porém pode ser empregadas na construção de elementos sem função estrutural. As amostras da substituição 2 apresentaram bons resultados, atingindo as condições mínimas impostas pela NBR 8953 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015a); sendo assim, a aplicação da substituição 2 é estruturalmente viável para construção de pavimentos rígidos. Desta forma, este trabalho reafirma informações bibliográficas, apontando que, em substituições de até 5% da quantidade de areia por borracha proveniente de pneus, é possível produzir concretos com resistência à compressão axial satisfatória.

O uso deste material contribuirá para com a reciclagem de parte dos pneus descartados e reduzirá o uso da areia, recurso natural como matéria-prima do concreto, além de fornecer vias de maior qualidade, conforto e segurança aos usuários.

Agradecimentos

Ao programa de PIBIC/CNPq/Unifeb, pela concessão da bolsa de iniciação científica, e ao orientador Ricardo Paganelli de Lima, pela disposição em auxiliar durante todo este período.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. (2019). Recuperado em 21 de novembro de 2019, de <https://abcp.org.br/>

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2003a). *NBR NM 52- Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2003b). *NBR NM 53- Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2010). *ABNT NBR 12142 - Concreto - Determinação da resistência a tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos*. Rio de Janeiro: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2015a). *ABNT NBR 8953 - Concreto para fins*

estruturais- Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2015b). *ABNT NBR 5738 -Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.* Rio de Janeiro: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2018). *ABNT NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.* Rio de Janeiro: ABNT.

Brasil. Ministério da Infraestrutura. (2018). *DNIT divulga avaliação das rodovias federais pavimentadas.* Recuperado em 12 de janeiro de 2020, de <http://transportes.gov.br/ultimas-noticias/8035-dnit-divulga-avalia%C3%A7%C3%A3o-das-rodovias-federais-pavimentadas.html>

Departamento de Estradas e Rodagem do Estado do Paraná – DER-PR. (2005a). *DER/PR ES-OA 05/05 - Obras de arte especiais: fôrmas.* Deliberação nº 281/2005. Curitiba: DER-PR.

Departamento de Estradas e Rodagem do Estado do Paraná – DER-PR. (2005b). *Pavimento rígido. Especificações de serviços rodoviários.* Deliberação nº 281. Curitiba: DER-PR.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT. (2006a). *Manuais (Série 2: Pavimentação, 3. ed., 247 p.).* Rio de Janeiro: DNIT.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT. (2006b). *Norma 031/ 2004 - ES - Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço.* Rio de Janeiro: DNIT.

Ferreira, A. A., & Faria Júnior, C. A. (2015). Potencial de utilização de borracha de pneus inservíveis como agregado na produção de concreto não estrutural. In *Anais da 5ª Jornada da Engenharia de Produção.* Tangará da Serra: UNIC.

Fundação Dom Cabral – FCD. (2017). *Custos logísticos do Brasil.* Recuperado em 21 de março de 2019, de <https://www.fdc.org.br/conhecimento-site/nucleos-de-pesquisa-site/Materiais/pesquisa-custos-logisticos2017.pdf>

Granzotto, L., & Souza, R. (2013). Mechanical properties of structural concrete with partial replacement of fine aggregate by tire rubber. *Technology Acta Scientiarum*, 35(1), 39-44.

Helene, P., & Terzian, P. (1992). *Manual de dosagem e controle do concreto.* Brasília: Senai-Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/ Editora Pini Ltda.

Rezende Junior, T. (2014). *Estudo comparativo entre pavimento flexível e rígido.* Teresina: Universidade Federal do Piauí, UFPI.

Serviço Social do Transporte – SEST. Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte – SENAT. *Cerca de 450 mil toneladas de pneus são descartados por ano no Brasil.* Recuperado em 11 de março de 2019, de <http://www.sestsenat.org.br/impressa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil>

Sukontasukkul, P., & Chaikaew, C. (2006). Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. *Construction & Building Materials*, 20(7), 450-457.