

Panorama geral sobre tratamentos superficiais em resíduo de borracha de pneu visando maior interface com a matriz cimentícia

Surface treatments in tire rubber residue aiming a better interface with the cementitious matrix: an overview

Jeniffer Wugniel Pereira (1); Camila Simonetti (2); Bernardo Fonseca Tutikian (3)

(1) Acadêmica em Engenharia Civil, Unisinos

(2) Doutora em Engenharia Civil

(3) Professor Doutor, it Performance, PPGECC - Unisinos

Resumo

O descarte de pneus inservíveis começa a ocupar um papel de destaque na atual discussão sobre os impactos sanitários e ambientais, e pesquisadores de diversas áreas têm procurado desenvolver ações para o uso deste material como forma de aproveitamento do seu potencial. Neste contexto, uma das alternativas é a inclusão de partículas de borracha oriundas de pneus já descartados como agregado no concreto, como forma de qualificar propriedades deste material, tendo em vista que o concreto é o componente mais utilizado na construção civil. O presente artigo tem o intuito de avaliar a eficácia de tratamentos da superfície da borracha a fim de melhorar a aderência entre o resíduo e a matriz cimentícia, e com isso, as propriedades mecânicas desenvolvidas pelo concreto. Esta análise é feita através de uma revisão bibliográfica entre pesquisas brasileiras e internacionais, reunindo os principais apontamentos sobre essa temática. Nesse estudo são elencadas pesquisas com o uso de aditivos de base polimérica, oxidação da superfície da borracha e adesão de material de fina granulometria sobre a superfície de partículas de borracha, antes de sua inserção no concreto. A análise dos dados reunidos permite identificar que melhores propriedades mecânicas podem ser alcançadas pelo concreto, com inserção de partículas de borracha, quando se aplica o tratamento superficial. O envolvimento do agregado reciclado de borracha com material de fina granulometria pode ser um tratamento superficial promissor, sendo efetivamente comprovada a melhoria na interface entre a partícula de borracha e a matriz cimentícia, bem como acréscimos de resistência à compressão.

Palavras-Chave: Concreto com borracha. Pneu inservível. Tratamento superficial. Aderência.

Abstract

The disposal of waste tires is beginning to occupy a prominent role in the current discussion on health and environmental impacts and researchers from different areas have sought to develop actions for the use of this material as a way to take advantage of its potential. In this context, one of the alternatives is the inclusion of rubber particles from waste tires as aggregates in concrete, to qualify properties of this material, considering that concrete is the most used component in civil construction. This article aims to evaluate the effectiveness of rubber surface treatments, in order to improve the adhesion between the residue and the cementitious matrix, and to improve concrete mechanical properties. This analysis takes a bibliographic review among Brazilian and international researches, bringing together the main notes on this topic. Research with the use of polymer-based additives, oxidation of the rubber surface and adhesion of fine-grained material as listed as possible treatments. The analysis of the collected data allows to identify the behavior of rubber concrete mechanical properties, when applied a surface treatment in the rubber. The involvement of the recycled rubber aggregate surface with fine-grained material can be a promising treatment, that can improve the interface between rubber particle and cementitious matrix, also can achieve compressive strength increase.

Keywords: Rubber Concrete. Waste tire. Surface treatment. Adhesion.

1 Introdução

O rápido desenvolvimento tecnológico, aumento da população e demanda por novas tecnologias com redução do ciclo de vida dos produtos tem contribuído para o aumento do descarte de produtos inservíveis. Como consequência, ocorre o aumento do volume destinado a aterros, do consumo de recursos naturais, da poluição e do custo envolvido no processo de coleta e destinação dos resíduos (LAGARINHOS, 2011).

Entre os resíduos sólidos produzidos pela população, os pneus, considerados resíduos especiais, ocupam um papel de destaque na discussão dos impactos sanitários e ambientais (GOBBI, 2002).

Um pneu, ao ser disposto na natureza, pode levar mais de 600 anos para se degradar (GRIPPI, 2006). Os pneus inservíveis descartados de forma inadequada contribuem para entupimentos de redes de águas pluviais e enchentes, além da poluição de rios, e ocupam um enorme volume nos aterros sanitários (TORNELLI, 2016). SEST SENAT (2020) complementam explicando que, quando o mesmo é descartado de maneira incorreta, pode fomentar a proliferação de mosquitos, assim como auxiliar o aumento de doenças ocasionadas por este meio de transmissão, como dengue, zika e chikungunya.

Conforme MICHELIN (2020), a vida útil de um pneu é variável de acordo com a sua utilização, ou seja, situações como a maneira do condutor dirigir e a distância percorrida pode influir na sua duração. De acordo com a entidade, a partir de 5 anos a qualidade do pneu deve ser avaliada anualmente, e não poderá se estender acima de 10 anos, mesmo que o pneu ainda apresente bom estado de conservação.

De acordo com a Resolução nº 416 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 30 de setembro de 2009 (BRASIL, 2009), a coleta e destinação adequada dos pneus inservíveis deve ser viabilizada pelos fabricantes de pneus, sendo que para cada pneu novo ou importado, deve ser destinado adequadamente um pneu inservível.

A Reciclanip é responsável por coordenar a coleta dos pneus inservíveis das principais empresas fabricantes do Brasil. O Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis teve início em 1999, e, até 2019 foram recolhidos e destinados adequadamente mais de 5,23 milhões de toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 1,04 bilhão de pneus de passeio (RECICLANIP, 2020).

A construção civil pode participar do processo de aproveitamento de pneus inservíveis, uma vez que o concreto é o material estrutural mais utilizado neste campo e pode conter tanto o agregado reciclado de borracha, quanto a fibra metálica reciclada.

Diversas linhas de pesquisa estão em andamento buscando uma alternativa para a aplicação do pneu na construção civil como, por exemplo, a aplicação dos resíduos de pneu em placas cimentícias para isolamento térmico e acústico (KASHANI et al., 2017), substituição parcial de agregado em concretos e estudo da sua aplicação em baixas temperaturas (XUE; LIU; CAO, 2019) ou concretos que necessitem maior desempenho quanto a resistência ao impacto (ABDELALEEM; ISMAIL; HASSAN, 2018), dentre outras possibilidades.

Dentro deste contexto, um dos focos de estudos tem sido a adesão da borracha frente à matriz cimentícia, uma vez que foi detectada deficiência na zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado de borracha, visto que a inclusão da borracha pode ocasionar

efeito negativo sobre as propriedades do concreto, em especial frente à resistência à compressão. Ou seja, a partir da melhoria da zona de transição, se busca obter um aumento na resistência mecânica do concreto (ALBUQUERQUE et al., 2006).

Os pneus inservíveis podem receber uma destinação final nobre ao serem incorporados ao concreto, na construção civil. No entanto, a redução da resistência mecânica não pode se tornar um fator impeditivo. Desta forma, o objetivo deste trabalho é apresentar estudos sobre tratamentos da superfície da borracha, a fim de buscar a qualificação na aderência entre a borracha e a matriz cimentícia.

2 Metodologia

A metodologia deste trabalho foi baseada em uma pesquisa bibliográfica e documental de experiências nacionais e internacionais, sendo as principais fontes consultadas para a elaboração da revisão artigos em periódicos científicos, livros, teses, dissertações e resumos em congresso. Cabe salientar que, como se trata de uma revisão bibliográfica, não foi realizada pesquisa de campo ou experimental acerca do tema.

Os resultados são apresentados e discutidos junto com a revisão bibliográfica, ao longo da seção 3, expressos na forma de diferentes tipos de tratamentos para a superfície da borracha, visando mostrar as pesquisas realizadas e quais os resultados alcançados frente as matrizes cimentícias testadas.

3 Concreto com agregado reciclado de borracha

3.1 Agregado reciclado de borracha

O agregado de borracha reciclada, oriundo de pneu inservível, pode ser encontrado no mercado em diversos formatos e granulometrias. Pode ser obtido em pó, em formato granular entre 2 mm à 3 mm, ou pedaços maiores como lascas ou chips. A seguir a figura 1 ilustra a diferença entre os chips de borracha e a borracha triturada.



Figura 1 – Resíduos de pneu (a) chips e (b) borracha granulada (adaptado de RECITIRES (2020))

BAUER (2018) esclarece que há dois processos de moagem e trituração, sendo uma delas realizada a temperatura ambiente e o outro com aplicação de nitrogênio, onde os pneus (ou parte deles) é resfriada a uma temperatura abaixo de -120°C que faz com que a borracha

se torne quebradiça, logo a borracha é cortada e reduzida, e separada de metais e nylon. A principal diferença entre tais procedimentos é o seu custo, sendo mais alto o que necessita o resfriamento, por utilizar hidrogênio. No Brasil o método aplicado para separação é o realizado a temperatura ambiente.

3.2 Resistência à compressão de concretos com agregado reciclado de borracha

Na maioria dos trabalhos envolvendo a adição ou a substituição de fragmentos de pneu na matriz cimentícia, observou-se a redução da resistência à compressão (ALBUQUERQUE, 2009; MARQUES; NIRSCHL; AKASAKI, 2006; REIS; DUARTE; SILVA, 2010; SCHIMELFENIG et al., 2017; SOUSA et al., 2017).

Em função do aumento do teor de borracha empregado, os concretos estudados por SILVA et al. (2017), PINHEIRO et al. (2017) e SOUSA et al. (2017) com adição de borracha apresentaram resistências menores que os concretos convencionais e, quanto maior a porcentagem de partículas de borracha adicionadas, maior foi a perda da resistência à compressão.

A diferença da massa específica da borracha de pneu, em comparação com os demais agregados do concreto convencional, propicia a criação de uma camada superficial com concentração de borracha de pneu, por ser mais leve. Tal acontecimento acaba ocasionando a diminuição da resistência do concreto (THOMAS; GUPTA, 2016).

AIELLO e LEUZZI (2010) informam que, quando se realiza a substituição do agregado graúdo, a resistência diminui mais do que quando o agregado reciclado de borracha (ARB) é utilizado para substituir o agregado miúdo.

De acordo com THOMAS e GUPTA (2016), o pior resultado de resistência à compressão do concreto é observado quando se emprega partículas de borracha de maiores dimensões, como chips de borracha (~ 13 a 76 mm) e borracha triturada em alta granulometria (~ 0,425 a 4,75 mm), a fim de substituir os respectivos agregados naturais.

A redução na resistência à compressão pode estar relacionada à falta de aderência entre a pasta e o resíduo de borracha. SOUSA et al. (2017) verificaram, através de micrografias de algumas regiões, a fraca aderência das fibras de borracha com a matriz cimentícia. A aderência foi prejudicada na mesma medida em que a porcentagem de partículas ou de fibras de borracha aumentou.

Conforme avaliação da análise micrográfica ilustrada na figura 2, por DI MUNDO; PETRELLA; NOTARNICOLA (2018), a adesão da borracha é menor do que a areia a pasta de cimento, logo a apresentação de uma zona de transição porosa demonstra o motivo pelo qual a resistência é diminuída. Os autores salientam que uma boa maneira de aproveitar a natureza hidrofóbica da borracha é estudar aplicações onde haja contato direto e a água percole.

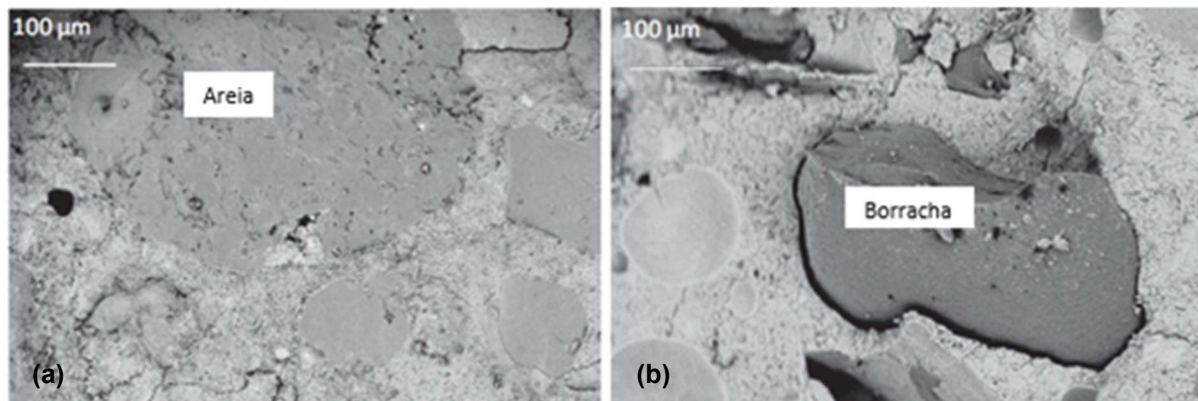


Figura 2 – Adesão à pasta de cimento (a) do grão de areia e (b) do grão de ARB (DI MUNDO; PETRELLA; NOTARNICOLA (2018))

Uma das alternativas para mitigar a redução de propriedades mecânicas de concretos com adição de borracha é a utilização de tratamentos superficiais da borracha, antes de sua imersão na matriz cimentícia.

Conforme estudado por YOUSSEF et al. (2014), foram desenvolvidos traços com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de pneu inservível (com e sem tratamento) nas porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20%. A fim de homogeneizar a mistura, o agregado foi primeiramente misturado com materiais cimentícios secos por 1 minuto em um recipiente externo. De acordo com os autores, a borracha tratada apresentou os melhores resultados.

De acordo com THOMAS e GUPTA (2016), a utilização de agente de silagem para envolver o grão de ARB gera uma melhor adesão entre a partícula e a pasta de cimento, se comparada a amostra não envolta. Em exemplo disso, o autor menciona que ao comparar uma amostra não envolta com uma envolta por NaOH, a resistência a compressão aos 28 dias pode chegar a ser 15 % maior.

A tabela 1 apresenta um resumo de estudos abrangendo alguns tratamentos superficiais de partículas de borracha antes de serem inseridas no concreto. Se observa que os tipos de tratamentos mais empregados são solução de NaOH, recobrimento com aditivo de base polimérica e adesão de material de fina granulometria.

Os autores elencados na tabela 1 utilizaram diferentes percentuais de substituição de agregado miúdo por ARB, no entanto, estão agrupados na faixa de 0% a 20% de substituição os percentuais mais utilizados. Conforme THOMAS e GUPTA (2016), para um bom desempenho do concreto com adição de ARB o consumo de borracha não deve exceder 20% de substituição do agregado natural, para manter a alteração na resistência à compressão dentro de limite aceitável. Os percentuais de acréscimo ou de redução da resistência à compressão indicados são comparações ao traço sem adição de borracha.

Tabela 1 - Traços aplicados por diversos pesquisadores (elaborado pelo autor (2020)).

Referência	a/c	Dimensão do ARB (mm)	Percentual de substituição de areia por ARB (%)	Tipo de tratamento superficial	Percentual máximo de acréscimo ou redução
Albuquerque et al. (2006)	0,49	0,42 – 10	5 – 10 – 15 – 20 – 25	NaOH e estireno-butadieno	+ 14%
Youssif et al. (2014)	0,50	1,18 – 2,36	5 – 10 – 20	NaOH	+ 4%
Onuaguluchi e Panesar (2014)	0,47	0 – 2,3	5 – 10 – 15	Adesão de pó	- 4%
Segre (1999)	0,36	0 – 0,35	10	solução aquosa de NaOH	- 35%
Albano et al. (2005)	0,53	0,29 – 0,59	5 – 10	NaOH	+ 5%
				silano A- 174	- 1%
Balaha, Badawy e Hashish (2007)	0,66-0,5-0,4	0 – 4	5 – 10 – 15 – 20	acetato de polivinila, microsilica e NaOH	- 14%

3.3 Tratamentos de superfície do agregado reciclado de borracha

3.3.1 Recobrimento com aditivo de base polimérica

THOMAS e GUPTA (2016) realizam a proposta de tratamento superficial da borracha com agente de silano, proporcionando melhora da adesão, e consequentemente dos valores obtidos para resistência comparado a borracha sem tratamento de interface.

Diversos autores elaboraram estudo visando avaliar as propriedades do concreto, após incorporação de ARB com tratamento superficial, que consiste em aplicar aditivo de base polimérica, imediatamente antes da inclusão do ARB no concreto (ALBUQUERQUE et al., 2006).

Para ALBUQUERQUE (2009), o traço utilizado foi de 200 gramas de aditivo polimérico para cada 1 kg de ARB, sendo o teor de água deste aditivo considerado na água de amassamento. O fundamento deste estudo consiste na combinação química entre a base polimérica e o ARB, sendo os aditivos aplicados foram de estireno-butadieno, acrílica e vinílica, e o traço referência da análise do concreto sem adição de borracha.

Conforme ALBUQUERQUE et al. (2006), foi analisada a granulometria da borracha, sendo que para cada granulometria foi pré-determinado um aditivo a ser aplicado em todas suas variações percentuais de substituição no concreto. Os traços utilizados estão dispostos na figura 3.

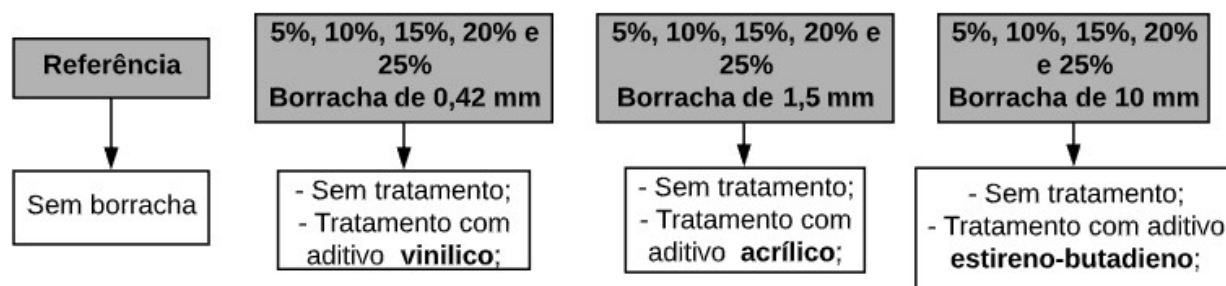


Figura 3 - Traços testados (adaptado de ALBUQUERQUE et al. (2006))

De acordo com ALBUQUERQUE et al. (2006), as partículas de 1,5 mm e 10 mm em até 10% tem resultado satisfatório quando comparado com o traço referência, isso considerando os ensaios de compressão, módulo de elasticidade e tração por compressão diametral. A tabela 2 resume os dados de resistência à compressão, obtidos para teor de substituição de 5%, para exemplificação.

Tabela 2 - Resultados obtidos por ALBUQUERQUE et al. (2006).

Identificação	Dimensão do ARB (mm)	Percentual de substituição de areia por ARB	Tipo de tratamento superficial	Resistência à compressão (MPa) aos 28 dias	Percentual de acréscimo ou redução
Referência – sem adição de borracha	-	-	-	29	-
RBPI5% - 10 mm	10	5%	-	28	-3%
RBPI5% - 10 mm + tratamento estireno	10	5%	Estireno-butadieno	33	14%
RBPI5% - 1,5 mm	1,5	5%	-	31	7%
RBPI5% - 1,5 mm + aditivo acrílico	1,5	5%	Aditivo acrílico	31	7%
RBPI5% - 0,42 mm	0,42	5%	-	25	-14%
RBPI5% - 0,42 mm + aditivo vinílico	0,42	5%	Aditivo vinílico	29	0%

A análise dos resultados de ALBUQUERQUE et al. (2006) permite identificar que as resistências obtidas para a borracha com superfície tratada foram superiores a do concreto com ARB sem tratamento, sendo que a maior resistência à compressão obtida foi com 5% de borracha tratada com estireno-butadieno (10 mm) em substituição à areia, em torno de 33 MPa.

3.3.2 Oxidação da superfície

De acordo com YOUSSEF et al. (2014), os resíduos de borracha além de serem lisos, tem em sua superfície uma camada de estearato de zinco, o que influi no fato dos resíduos repelirem a água. A proposta dos autores é a realização de um pré-tratamento da borracha com hidróxido de sódio (NaOH), que por ser corrosivo, possibilita a criação de uma superfície irregular e porosa, permitindo a remoção do estearato de zinco e assim aumentando sua capacidade de aderência. O tratamento realizado pelos autores consiste em uma pré-lavagem dos resíduos triturados com água, após os mesmos ficam imersos

em um composto de 10% de NaOH diluído em água, sendo a imersão de mais ou menos 30 minutos. Após a imersão se inicia um processo de lavagem dos resíduos até que o pH da água da lavagem seja 7, a fim de evitar a contaminação do concreto, sendo que após o tratamento o pH é 14 (figura 4).



Figura 4 – Etapas do processo de tratamento da borracha com NaOH (YOUSSF et al. (2014))

Ao analisar os dados da tabela 3, é notável que a borracha tratada utilizada na faixa de 5 a 10% em substituição dos agregados miúdos obteve aumento de resistência à compressão em relação ao traço base, sem adição do resíduo. Aos 28 dias, o tratamento da borracha garantiu acréscimos de até 4% na resistência à compressão, em comparação ao traço referência sem tratamento.

Porém, para 20% de substituição, há perda significativa de resistência mesmo com o tratamento da superfície. THOMAS e GUPTA (2016) corroboram esses resultados, indicando o percentual de 20% de substituição do agregado natural o valor limite frente ao prejuízo nas propriedades mecânicas do concreto.

Tabela 3 - Resultados obtidos por YOUSSF et al. (2014).

Amostra	Percentual de substituição de areia por ARB (%)	Superfície tratada com NaOH	Resistência à compressão (MPa)		
			7 dias	28 dias	Percentual de acréscimo ou redução – 28 dias
Granulometria de ARB de 1,18 a 2,36 mm	0	Não	44,8	53,5	-
	5	Sim	45,5	55,6	+ 4%
	10	Sim	45,3	53,9	+ 1%
	20	Sim	40,4	48,1	- 10%
	20	Não	38,1	41,6	- 22%

FREITAS (2018) recomenda alguns cuidados importantes ao lidar com NaOH, visto que o material é corrosivo podendo ocasionar queimaduras, cegueira além de danos as vias respiratórias, entre outros problemas. A Ficha de Informação de Segurança de Produtos

Químicos do NaOH ressalta o cuidado necessário quanto ao despejo do produto, visto a que o contato do mesmo com o solo e a água pode causar alterações de degradação do meio ambiente.

Outra solução corrosiva que também pode ser utilizada é o H_2O_2 (peróxido de hidrogênio). LI et al. (2019) sugerem que o ARB seco seja posto em uma solução com 30% do seu peso de H_2O_2 (peróxido de hidrogênio) por 24 horas, em temperatura ambiente. Após esse período o material deve ser seco em estufa a 80°C, até que o peso esteja constante. Para os autores, a aplicação de peróxido de hidrogênio também tem a função de oxidar a superfície da partícula da borracha.

2.3.3 Adesão de material de fina granulometria

A adesão de material de fina granulometria nas partículas de borracha, antes de serem incorporadas ao concreto, podem aumentar a interface de adesão entre a borracha e a matriz cimentícia, com intuito de aumentar a hidrofiliabilidade da superfície para conciliá-las com a matriz cimentícia facilitando a continuidade dos produtos da hidratação do cimento sobre a superfície das partículas de borracha (SEGRE, 1999).

Para ONUAGULUCHI (2015), é possível melhorar a interface do agregado com a matriz utilizando como pré-revestimento a adesão de pó de calcário na superfície da borracha. E ainda, substituiu parcialmente o cimento por fumo de sílica, o que proporcionou um aumento de dez vezes a energia da fratura.

ONUAGULUCHI e PANESAR (2014) recomendam que o pó a ser aderido à superfície da borracha tenha propriedades cimentante. Os autores utilizaram como pré-revestimento da borracha uma mistura com 15% de pó de calcário e 5,25% de água, com relação a massa de borracha. Foi utilizado um misturador para unir os insumos e após 24 horas de cura a temperatura ambiente, e armazenado por 3 meses em um saco plástico em temperatura ambiente, o material foi utilizado como agregado. A figura 5 ilustra a análise micrográfica do concreto com borracha não tratado, e tratado com resíduo da areia, sendo possível notar a melhora na interface do agregado.

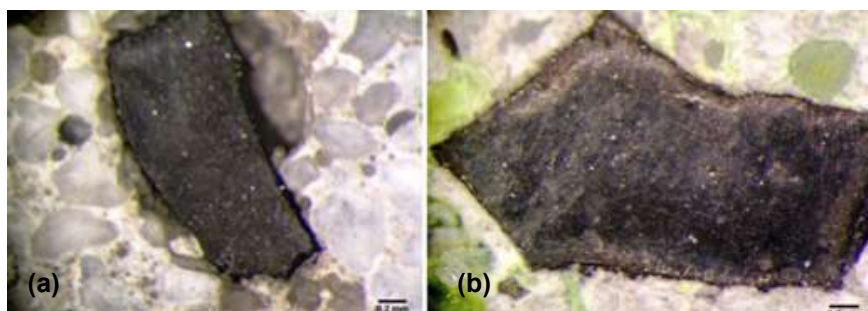


Figura 5 – Concreto com resíduo de borracha (a) não tratado e (b) tratado com resíduo de areia (ONUAGULUCHI; PANESAR (2014))

Conforme o ONUAGULUCHI e PANESAR (2014), as amostras com 5% e 10% de substituição de borracha, e substituição parcial de cimento por sílica, obtiveram aumento da resistência à compressão de 29% e 14% em relação ao traço sem adição de borracha. Os resultados obtidos pelos autores pode ser visto na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados obtidos por ONUAGULUCHI e PANESAR (2014).

Amostra	Descrição	Resistência à tração (MPa)	Resistência à compressão (MPa)	Percentual de acréscimo ou redução – resistência à compressão
Referência	Concreto convencional	3,5	40,4	-
A5	5% substituição de areia por ARB	3,3	37,6	- 7%
A10	10% substituição de areia por ARB	3,1	34,8	- 14%
A15	15% substituição de areia por ARB	2,3	24,3	- 40%
C5	5% substituição de areia por ARB pré-revestido com pó calcário	3,4	38,7	- 4%
C10	10% substituição de areia por ARB pré-revestido com pó calcário	3,2	36,1	- 11%
C15	15% substituição de areia por ARB pré-revestido com pó calcário	2,4	25,5	- 37%
C5 + S	5% substituição de areia por ARB e substituição parcial de cimento por sílica	4,7	52,1	+ 29%
C10 + S	10% substituição de areia por ARB e substituição parcial de cimento por sílica	4,0	45,9	+ 14%
C15 + S	15% substituição de areia por ARB e substituição parcial de cimento por sílica	3,2	34,9	- 14%

Para ONUAGULUCHI e PANESAR (2014), embora a resistência a tração apresentada seja relativamente baixa a presença da borracha no concreto melhorou a ductilidade, impedindo fissuras e degradação, visto que o corpo de prova permaneceu intacto após a falha. MEDDAH, BEDDAR e BALI (2014) realizaram pesquisa tratando o ARB com NaOH e com tratamento superficial de adesão de areia com o auxílio de resina (MEDAPLAST - Granitex Factory® - Argélia). A figura 6 ilustra a borracha sem tratamento e com revestimento de areia em sua superfície.

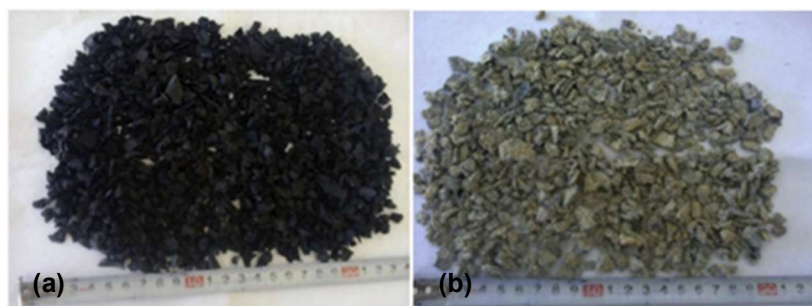


Figura 6 – Resíduo de borracha (a) sem tratamento superficial e (b) revestido com areia (MEDDAH; BEDDAR; BALI (2014))

A aplicação da borracha no concreto compactado por rolo para pavimentos (CCRP) fez com que o tempo de compactação vibratória diminuísse, devido à baixa absorção de água da borracha, o que permite que a água não absorvida ajude na compactação. Ainda, devido à compactação, os vazios nesse tipo de concreto são diminuídos e a perda de resistência tende a ser inferior que no concreto convencional (MEDDAH; BEDDAR; BALI, 2014).

Os dados coletados por MEDDAH; BEDDAR e BALI (2014) estão apresentados na figura 7. É possível observar o aumento da resistência à compressão e à flexão quando a superfície é tratada. O tratamento da superfície com material fino se mostrou mais eficaz que o tratamento químico para resistência à compressão, alcançando 29% de acréscimo nessa propriedade.

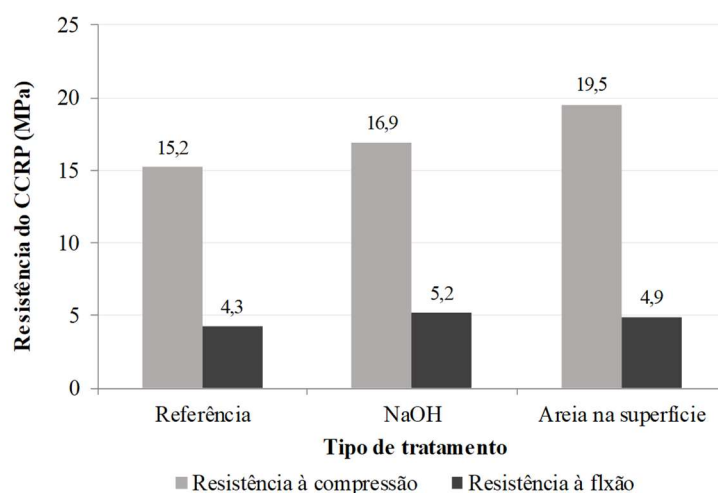


Figura 7 – Resultados obtidos por MEDDAH; BEDDAR e BALI (2014)

4 Conclusões

Ao longo deste artigo foram apresentadas opções de tratamento superficial da borracha, com intuito de inserção no concreto e melhoria da interface entre o agregado reciclado de borracha e a matriz cimentícia. A literatura indicou que os tratamentos mais comuns são solução de NaOH, recobrimento com aditivo de base polimérica e adesão de material de fina granulometria.

Entre as pesquisas elencadas nesse artigo, é possível realizar um comparativo geral entre os tipos de tratamentos utilizados. No entanto, a comparação não pode ser generalizada, uma vez que os pesquisadores utilizam diferentes proporções nas misturas de concreto, diferentes insumos, bem como diferentes granulometrias do agregado reciclado de borracha. Mesmo assim, é possível observar os resultados coletados e formular um panorama geral acerca dessa temática.

Os melhores resultados frente à resistência à compressão, quando o agregado reciclado de borracha é inserido no concreto, são obtidos com baixos percentuais de substituição de agregado miúdo, em geral inferior ao teor de 10% (ALBUQUERQUE et al, 2006; YOUSSEF et al., 2014; ONUAGULUCHI; PANESAR, 2014).

Em relação ao tipo de tratamento aplicado, se observa que o recobrimento com aditivo a base polimérica proporcionou acréscimo de resistência à compressão de até 25% (ALBUQUERQUE et al., 2006). Já com o envolvimento de material de fina granulometria, ao redor das partículas de borracha, foi possível atingir até 29% de acréscimo de resistência à compressão (MEDDAH; BEDDAR; BALI, 2014).

A análise micrográfica realizada por ONUAGULUCHI e PANESAR (2014) indica que o envolvimento do agregado reciclado de borracha com material fino pode ser um tratamento promissor, sendo efetivamente comprovada a melhoria na interface entre a partícula de borracha e a matriz cimentícia.

Por fim, além do estudo de tratamentos superficiais do agregado reciclado de borracha, é sugestivo que outras estratégias de mitigação de perda de resistência sejam exploradas, de maneira a não afetar de forma significativa as propriedades mecânicas dessas matrizes cimentícias com inclusão de borracha.

5 Referências

ABDELALEEM, B. H.; ISMAIL, M. K.; HASSAN, A. A. A. **The combined effect of crumb rubber and synthetic fibers on impact resistance of self-consolidating concrete.** Construction and Building Materials, v. 162, p. 816–829, 2018.

AIELLO, M. A.; LEUZZI, F. **Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state.** Waste Management, v. 30, n. 8–9, p. 1696–1704, 2010.

ALBANO, C. et al. Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing. **Composite Structures**, v. 71, n. 3–4, p. 439–446, dez. 2005.

ALBUQUERQUE, A. C.; ANDRADE, W. P.; HASPARYK, N. P.; AANDRADE, M.A.S.; BITTENCOURT, R. M. **Adição de borracha de pneu ao concreto convencional e compactado com rolo.** ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais...Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006.

ALBUQUERQUE, A. C. DE. **Estudo das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneu.** 2009. 162 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, RS, Brasil, 2009.

BALAHA, M. M.; BADAWY, A. A. M.; HASHISH, M. Effect of using ground waste tire rubber as fine aggregate on the behaviour of concrete mixes. **Indian Journal of Engineering and Materials Sciences**, v. 14, n. December, p. 427–435, 2007.

BAUER, A. L. **Avaliação das propriedades do concreto com inserção de resíduos oriundos de borracha de pneu inservível.** 2018. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso –

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Curso de Engenharia Civil. São Leopoldo, RS, Brasil, 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução No 416 de 30 de setembro de 2009**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 01 de outubro de 2009. Seção 1, p. 64-65., 2009.

DI MUNDO, R.; PETRELLA, A.; NOTARNICOLA, M. **Surface and bulk hydrophobic cement composites by tyre rubber addition**. Construction and Building Materials, v. 172, p. 176–184, 2018.

FREITAS, A. **FISPQ Hidróxido de Sódio – Perigos, cuidados e EPIs**. 2018. Disponível em: <<https://cmcenter.com.br/pt-br/fispq/fispq-hidroxido-de-sodio/>>. Acesso em: 07 de jun. 2020.

GOBBI, A. J. D. **Reaproveitamento de pneus inservíveis como fonte de energia e matéria-prima**. 2002. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.

GRIPPI, S. **Lixo: reciclagem e sua história: guia para as prefeituras brasileiras**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

KASHANI, A. et al. **A sustainable application of recycled tyre crumbs as insulator in lightweight cellular concrete**. Journal of Cleaner Production, v. 149, p. 925–935, 2017.

LAGARINHOS, C. A. F. **Reciclagem de pneus: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa**. 2011. 293 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, SP, Brasil, 2011.

LI, B. et al. **Microscopic properties of hydrogen peroxide activated crumb rubber and its influence on the rheological properties of crumb rubber modified asphalt**. Materials, v. 12, n. 9, 2019.

MARQUES, A. C.; NIRSCHL, G. C.; AKASAKI, J. L. **Propriedades mecânicas do concreto adicionado com borracha de pneus**. HOLOS Environment, v. 6, n. 1, p. 31–41, 2006.

MEDDAH, A.; BEDDAR, M.; BALI, A. **Use of shredded rubber tire aggregates for roller compacted concrete pavement**. Journal of Cleaner Production, v. 72, p. 187–192, 2014.



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

MICHELIN. **Quando devo trocar os pneus do meu carro?** Disponível em: <<https://www.michelin.com.br/auto/dicas-e-conselhos/dicas-para-o-carro/quando-devo-trocar-os-pneus-do-meu-carro>>. Acesso em: 07 de jun. 2020.

ONUAGULUCHI, O. **Effects of surface pre-coating and silica fume on crumb rubber-cement matrix interface and cement mortar properties.** Journal of Cleaner Production, v. 104, p. 339–345, 2015.

ONUAGULUCHI, O.; PANESAR, D. K. **Hardened properties of concrete mixtures containing pre-coated crumb rubber and silica fume.** Journal of Cleaner Production, v. 82, p. 125–131, 2014.

PINHEIRO, I. DE C. et al. **Estudo comportamental de concreto de cimento Portland produzido com resíduos de pneu.** 59º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais...Bento Gonçalves, RS: Instituto Brasileiro do Concreto, 2017.

RECICLANIP. **Volume de pneus destinados.** Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/destinados/>>. Acesso em: 07 de jun. 2020.

RECITIRES - COMÉRCIO E RECICLAGEM DE PRODUTOS DE BORRACHA LTDA. **Produtos.** Disponível em: <<https://www.reciclamais.net.br/produtos>>. Acesso em: 07 de jun. 2020.

REIS, L. C.; DUARTE, M. C. R.; SILVA, A. J. P. **Análise do concreto adicionado com raspas de pneus.** 52º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais...Fortaleza, CE: Instituto Brasileiro do Concreto, 2010.

SCHIMELFENIG, B. et al. **Estudo da utilização de agregado reciclado de borracha de pneus como substituição da areia natural em concretos convencionais.** 59º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais...Bento Gonçalves, RS: Instituto Brasileiro do Concreto, 2017.

SEGRE, N. C. **Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento.** 1999. 104 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Química. Campinas, SP, Brasil, 1999.

SEST SENAT. SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE E SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO TRANSPORTE. **Cerca de 450 mil toneladas de pneus são descartados por ano no Brasil 2019.** Disponível em: <<https://www.sestsenat.org.br/imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil>>. Acesso em: 07 de jun. 2020.

SILVA, S. K. M. et al. **Estudo de concretos produzidos com substituição de agregado miúdo natural por agregado de borracha vulcanizada, proveniente da recapagem de**
ANAIS DO 62º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2020 – 62CBC2020



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

pneus. 59º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais...Bento Gonçalves, RS: Instituto Brasileiro do Concreto, 2017.

SOUSA, F. S. et al. **Análise da morfologia de fratura do concreto com resíduos de pneus inservíveis.** 59º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais...Bento Gonçalves, RS: Instituto Brasileiro do Concreto, 2017.

THOMAS, B. S.; GUPTA, R. C. **A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 54, p. 1323–1333, 2016.

TORNELLI, A. F. A importância da reforma de pneus no combate à dengue. **Pneus&Cia**, v. 8, n. 51, p. 12–16, 2016.

XUE, G.; LIU, J. X.; CAO, M. L. **A Study of the Impact Resistance of Rubber Concrete at Low Temperatures (-30°C).** Advances in Civil Engineering, v. 2019, 2019.

YOUSSEF, O. et al. **An experimental investigation of crumb rubber concrete confined by fibre reinforced polymer tubes.** Construction and Building Materials, v. 53, p. 522–532, 2014.