



ANÁLISE DOS ASPECTOS DE VIABILIDADE DO USO DE CONCRETO COM RESÍDUOS DE BORRACHA PARA PASSEIOS PÚBLICOS EM MUNICÍPIO DO RIO GRANDE DO SUL

DOI: 10.19177/rgsa.v7e42018113-133

**Ethier Lauermann¹;
Ramiro Pereira Bisognin²; Robson Evaldo Bohrer³;
Eduardo Lorensi de Souza⁴; Divanilde Guerra⁵**

RESUMO

A crescente geração de resíduos e sua destinação inadequada consistem em grandes problemas ambientais. O descarte de pneus usados aumenta a cada ano no mundo, e destes aproximadamente 50% são descartados de forma incorreta, enquanto que, se reutilizados de maneira apropriada ajudariam a reduzir a pressão sobre o meio ambiente. Nesse sentido, no presente estudo objetivou-se analisar aspectos de viabilidade do uso de concreto com adição de resíduos de borracha de pneus para construção de passeios públicos em município do noroeste do Rio Grande do Sul. Para tanto, quantificou-se a área dos passeios públicos que necessitavam de recuperação, com base na planta do município, e verificou-se, por meio de revisão bibliográfica, o melhor traço de concreto com adição de borracha como agregado para tal finalidade. A avaliação da viabilidade econômica do agregado de borracha foi realizada com base nas quantidades empregadas e nos valores de mercado. Como resultado verificou-se que 62% dos passeios públicos do município precisam ser recuperados. O concreto agregado com borracha na faixa entre 10 e 15%, em proporção ao agregado fino ou miúdo, foi apontado como o mais indicado para o uso pretendido. Verificou-se que quanto maior o uso de farelo de borracha no concreto, maior será o custo do concreto em relação agregado convencional nas percentagens analisadas. Apesar da desvantagem econômica observada, recomenda-se ampliação da pesquisa, tendo em vista os benefícios ambientais associados ao reuso de materiais inservíveis na construção civil.

Palavras-chave: Reuso de resíduos. Borracha de pneu. Construção civil. Passeios públicos.

¹ Engenheiro Civil. Especialista em Gestão e Sustentabilidade Ambiental. E-mail: lauermannengenharia@yahoo.com.br

² Engenheiro Ambiental. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. Mestre em Tecnologia Ambiental. Doutor em Engenharia Civil-Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Professor da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. E-mail: ramirobisognin@yahoo.com.br

³ Engenheiro Ambiental. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. Mestre em Tecnologia Ambiental. Doutor em Engenharia Civil-Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Professor da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. E-mail: gehlen.bohrer@gmail.com

⁴ Engenheiro Agrônomo. Mestre e Doutor em Ciência do Solo. Professor da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. E-mail: elorensi@yahoo.com.br

⁵Engenheira Agrônoma. Mestre e Doutora em Fitotecnia. Professora da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. E-mail: divanildeguerra@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos nas diversas atividades humanas consiste em um dos maiores problemas ambientais da vida contemporânea. Segundo Avelar (2006), o problema vem sendo causado pelo crescimento acelerado e desordenado da população e também pela mudança nos padrões de consumo ocorridos nas últimas décadas. Por conta disso, o manejo inadequado dos resíduos tem causado significativos impactos ao meio ambiente, entre eles assoreamento e aumento da velocidade de escoamento de rios, em função da redução da seção transversal, entupimento de bueiros, alagamentos nas épocas de chuva, destruição de áreas verdes, mau-cheiro, proliferação de insetos e roedores, além de contaminação de águas subterrâneas e superficiais (AVELAR, 2006; ALVES et al., 2016). Entre os resíduos sólidos gerados, os pneumáticos quando mal armazenados constituem um problema de saúde pública, pois podem servir como abrigo para diversos vetores e, inclusive com o acúmulo de água parada, podendo desencadear focos do mosquito *Aedes Aegypti*, transmissor de doenças como dengue, chikungunya, zika vírus e febre amarela urbana (FREITAS; NÓBREGA, 2014). Para o meio ambiente, o problema causado pela disposição de pneus em aterros sanitários e lixões é grave, uma vez que eles possuem grande resistência à degradação (FRANÇA, 2004), o que pode ocorrer em tempo indeterminado (HISATUGO; JÚNIOR, 2007).

Embora seja uma prática não legalizada, a queima de pneus inservíveis ainda ocorre, liberando na atmosfera fuligem, material particulado, monóxido e dióxido de carbono, hidrocarbonetos, enxofre presente na estrutura da borracha, arsênio, entre outros gases tóxicos, bem como possui potencial de contaminar solos e lençóis

d'água (FRANÇA, 2004; ROCHA; LINS; SANTO, 2011; ALVES et al., 2016). A queima de uma tonelada de pneus representa uma emissão estimada de 2,56 toneladas de CO₂ e 26 kg de SO₂ à atmosfera (ROCHA; LINS; SANTO, 2011).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010, estabelece que os pneus inservíveis são resíduos especiais passíveis ao sistema de logística reversa, ou seja, devem ser retornados ao fabricante de forma independente ao serviço de limpeza pública e de manejo dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010). Por sua vez, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº. 416, de 30 de setembro de 2009, estabeleceu que a destinação adequada para pneus inservíveis envolvesse sua descaracterização de sua forma inicial e o seu reaproveitamento dos elementos constituintes, com vistas a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, bem como, a minimização dos impactos ambientais adversos (BRASIL, 2009).

Mundialmente, estima-se que todos os anos bilhões de pneus sejam descartados, sendo 50% deles de forma incorreta (THOMAS et al., 2016). Esses, quando depositados em aterros, reduzem a vida útil das células devido ao seu volume (ALVES et al., 2016). Segundo os autores, o Brasil possuía em 2014, conforme dados do Departamento de Trânsito do Estado de São Paulo (DETRAN-SP), 86,7 milhões de veículos registrados o que denota a dimensão do problema.

Segundo Klein et al. (2016), diversos pesquisadores vêm estudando soluções para a destinação adequada de resíduos sólidos e o foco têm sido o reaproveitamento dos resíduos para gerar novos materiais. Para os autores, a incorporação de elementos reciclados a obras de engenharia civil é uma prática bastante comum em países desenvolvidos e gera ganhos ambientais, sociais e econômicos. Esta prática também inclui pneus inservíveis, uma vez que estudos têm avaliado a possibilidade de agregação da borracha desses pneus na produção do concreto, como forma de aproveitar os resíduos, reduzir o uso de agregados miúdos naturais, bem como modificar as propriedades do concreto que podem ser benéficas para certos usos. Tais propriedades envolvem maior capacidade de deformação e maior resistência a fraturas (ALBUQUERQUE, 2009; FREITAS et al., 2009; ROMUALDO et al., 2011; SILVEIRA et al., 2016; THOMAS et al., 2016).

De acordo com Thomas et al. (2016), a adição de borracha ao concreto promove redução da resistência à compressão, o que limita a aplicabilidade do material em edifícios estruturais. Contudo, havendo resistência à abrasão, o concreto com adição de borracha pode ser aplicado em pavimentos, pisos, rodovias, estruturas hidráulicas, ou em outras superfícies em que são aplicadas forças abrasivas durante o uso. Segundo Freitas et al. (2009), apesar da diminuição da resistência à compressão, o emprego de concreto com adição de borracha é um caso típico de compósito com desempenho melhorado em algumas das propriedades originais, tal como no aumento da capacidade de deformação sem o aparecimento de fissuras. A perda indesejada da resistência pode ser compensada pelo efeito benéfico das propriedades visco elástico da borracha, ou seja, o concreto se torna mais dúctil e com melhor capacidade de absorção de energia de impacto do que o concreto convencional (SILVEIRA et al., 2016).

A técnica de incorporação de borracha de pneus inservíveis ao concreto, em substituição a agregados miúdos, apresenta grande potencial para minimização de impactos ambientais e aplicação em diferentes usos que não requerem as propriedades convencionais do concreto, como no caso de passeios públicos. No Brasil, é comum encontrar nas cidades, principalmente nas áreas não centrais, diversos problemas em calçadas, tais como: buracos, pedras e pisos soltos, degraus, desníveis ou saliências, piso escorregadio, irregular ou trepidante, raízes expostas de árvores, materiais de construção, entulho, lixo, vendedores ambulantes, ou ainda equipamentos urbanos mal localizados (SERAFIM, 2010).

Considerando os estudos já realizados com a incorporação de borracha ao concreto, a necessidade de se buscar uma solução que atenuie os problemas relacionados ao descarte inadequado de pneus inservíveis, que reduza a exploração de recursos naturais, e que ainda possibilite melhorias às condições de acessibilidade e mobilidade urbana, este estudo objetivou analisar a possibilidade de uso de concreto com adição de borracha para construção de passeios públicos em um município do noroeste do Rio Grande do Sul.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização do Município de estudo

O Município de Bom Progresso localiza-se na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (RS), sob coordenadas geográficas: 27°32'37" de latitude sul e 53°51'57" de longitude oeste, com altitude de 435 metros, e população total de 2.328 habitantes. Destes, apenas 1.146 residem em área urbana conforme último censo (IBGE, 2010).

O Município foi emancipado em 1992 e possui área total de 90 km², sendo a zona urbana composta por 2,5 Km² (BOM PROGRESSO, 2013). A coleta dos resíduos sólidos urbanos é realizada periodicamente por caminhões e funcionários do próprio município, sendo coletados aproximadamente 20 toneladas por mês. Os resíduos são destinados ao Consórcio Intermunicipal de Gestão Multifuncional (CITEGEM), o qual é formado por doze municípios da região, localizado dentro do território de Bom Progresso, distante três quilômetros da sede, onde parte dos resíduos sólidos são segregados e os rejeitos dispostos em aterro sanitário (BOM PROGRESSO, 2013).



2.2 Mensuração da Área de Passeios Públicos a serem recuperados

Para o cálculo das áreas de passeios públicos de Bom Progresso foi utilizado o mapa oficial do município. A mensuração foi realizada através do *software* AutoCad 2010, com base na Lei Municipal nº. 1250/2015, que define a largura de 1,50 e 2,50 metros para os passeios das Ruas e Avenidas da cidade, respectivamente. Diante das informações, elaborou-se uma planilha com a identificação das Ruas e Avenidas, seu comprimento, e, conforme a Lei, a sua respectiva largura. Com uso destes dados chegou-se a área total de passeios no município. Em seguida realizou-se a medição da área dos passeios que possuem revestimento. Estabeleceu-se como critério de revestimento qualquer tipo de material que cobre o passeio, exceto grama e solo.

O levantamento das condições dos passeios públicos na área urbana do município foi realizado em vistorias no período de julho a setembro de 2017 de forma quantitativa, mensurando a área dos passeios em metros quadrados, e qualitativa, analisando os locais onde havia trafegabilidade de pedestres. A partir

das incursões a campo delimitou-se o traçado dos passeios no mapa da área urbana do Município (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de identificação das quadras com a delimitação dos passeios no Município de Bom Progresso - RS



Fonte: Autores (2017).

2.3 Identificação de Traços de Concreto Convencional e com adição de borracha

A identificação dos traços de concreto com adição de borracha foi realizada a partir de levantamento bibliográfico (ALBUQUERQUE, 2009; FREITAS et al., 2009; TRENTIN, 2014; ORTEGA et al., 2015; THOMAS e GUPTA, 2016; SILVEIRA et al., 2016 e THOMAS et al., 2016). Foram priorizadas as pesquisas realizadas no Brasil, tendo em vista as características da borracha dos pneus comercializados no país, bem como as condições climáticas nacionais e regionais, que podem interferir na qualidade do concreto testado, uma vez que em condições extremas de temperatura a água incorporada ao concreto poderá sofrer alterações físicas que implicarão na modificação das propriedades do concreto produzido.

O traço de concreto convencional utilizado para comparativo no estudo foi fornecido pelo setor de engenharia da prefeitura municipal de Bom Progresso (Tabela 2, item 3.2), que utiliza esta dosagem para suas obras.

2.4 Comparativo de custos do Concreto Convencional e do Concreto com adição de borracha

Para composição do orçamento utilizou-se as planilhas empregados pelo município de Bom Progresso seus projetos de construção civil, a qual especifica os materiais, sua unidade, quantidades e custos unitário e total. A brita nº 1, a areia e a borracha triturada foram cotadas em volume e kg, enquanto que o cimento foi cotado em sacas de 50 kg.

A cotação de preços foi realizada na região Noroeste do Rio Grande do Sul, exceto para a borracha triturada, a qual foi cotada em outras regiões do Estado por não haver pontos de distribuição próximos ao município de estudo. No total, foram realizadas cotações em cinco fábricas de recapagem de pneus, a mais próxima a 110 km e a mais distante a 250 km. O valor utilizado foi à média das cotações. Em relação a areia, brita e cimento foram considerados valores praticados na região de estudo.

Para o comparativo de custos foram considerados os materiais necessários ao preparo do concreto convencional e com adição de borracha em diferentes

percentuais, considerando as densidades dos materiais para manutenção da proporção, como segue: borracha 352 kg/m³, brita 1.700 kg/m³ e areia 1.300 kg/m³.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Área de Passeios Públicos a serem recuperadas no Município

Através das vistorias realizadas percebeu-se que os passeios públicos apresentam, predominantemente, más condições de conservação. As melhores condições foram observadas na avenida principal da cidade (Castelo Branco). Contudo, nesta existem trechos sem pavimentação, assim como nas demais (Tabela 1). Em geral é comum encontrar nos passeios problemas como obstruções, pontos sem revestimentos e revestimentos danificados.

Tabela 1 – Identificação das ruas, dimensões e situação do passeio público no município de Bom Progresso/RS

Nome	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)	Percentual pavimentado (%)	Área pavimentada (m ²)
Rua Um	314,00	1,50	471,00	30,00	141,30
Rua Trinta	174,00	1,50	261,00	20,00	52,20
Rua Vinte e Sete	417,00	1,50	625,50	5,00	31,28
Av. Castelo Branco	3502,50	2,50	8756,25	65,00	5691,56
Avenida A	2433,00	2,50	6082,50	30,00	1824,75
Travessa Dois	185,00	1,50	277,50	60,00	166,50
Travessa Um	150,00	1,50	225,00	10,00	22,50
Rua Dezenove	410,00	1,50	615,00	0,00	0,00
Rua Treze	224,00	1,50	336,00	40,00	134,40
Rua Vinte	388,00	1,50	582,00	30,00	174,60
Rua Vinte e Um	380,00	1,50	570,00	50,00	285,00
Rua Doze	238,00	1,50	357,00	0,00	0,00
Rua Vinte e Dois	358,00	1,50	537,00	20,00	107,40
Rua Onze	232,00	1,50	348,00	0,00	0,00
Rua Vinte e Três	210,00	1,50	315,00	30,00	94,50
Alameda Zero	150,00	1,50	225,00	10,00	22,50
Rua Dez	779,00	1,50	1168,50	40,00	467,40
Rua Nove	589,00	1,50	883,50	30,00	265,05
Rua Oito	280,00	1,50	420,00	15,00	63,00
Rua e Vinte e Cinco	230,00	1,50	345,00	0,00	0,00

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 4, p.113-133, out/dez. 2018.

Rua Sete	300,00	1,50	450,00	40,00	180,00
Rua Vinte e Quatro	370,00	1,50	555,00	0,00	0,00
Rua Vinte e Seis	156,00	1,50	234,00	0,00	0,00
Rua Seis	195,00	1,50	292,50	0,00	0,00
Rua Cinco	240,00	1,50	360,00	10,00	36,00
Rua Vinte e Oito	60,00	1,50	90,00	0,00	0,00
Rua Quatro	121,00	1,50	181,50	0,00	0,00
Rua Três	90,00	1,50	135,00	0,00	0,00
TOTAL			25.698,75		9.759,94

Fonte: Autores (2017).

Com base no levantamento realizado constatou-se que aproximadamente 62% dos passeios do município não possuem revestimento, o que corresponde a uma área de 15.938,8 m². Como esperado, as ruas mais distantes do centro apresentaram os percentuais mais baixos de ruas pavimentadas. Segundo Serafim (2010), é comum encontrar nas cidades brasileiras situações semelhantes, principalmente nas áreas não centrais.



3.2 Traços de Concreto com adição de borracha e resistência compatível para uso em passeios públicos

A NBR 12.655/2006, da Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT), especifica requisitos para as propriedades do concreto de cimento Portland¹ fresco, no que se refere ao endurecimento, composição, preparo, controle e recebimento do concreto. De acordo com a norma, a composição do concreto e a escolha dos materiais componentes devem satisfazer as exigências técnicas para concreto fresco e endurecido, observando: consistência, massa específica, resistência, durabilidade, proteção das barras de aço quanto à corrosão e o sistema construtivo escolhido para a obra (ABNT, 2006).

Por sua vez, a NBR 7.211/2009 especifica os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de

¹ Material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água) (ABNT, 2006).

concretos de cimento Portland. Essa norma não contempla a utilização de materiais reciclados como agregados ao concreto, apenas permite a incorporação de agregados recuperados de concreto fresco por lavagem para a preparação de um novo concreto se forem do mesmo tipo do agregado primário, bem como define que “agregados recuperados não subdivididos quanto a sua granulometria não devem ser adicionados em quantidades maiores do que 5% do total de agregados no concreto” (ABNT, 2009, p.1).

Analisando as especificações expressas nas NBRs percebe-se que não há orientação técnica padronizada para a utilização de materiais inservíveis como agregados ao concreto, o que reforça a importância dos estudos desenvolvidos para verificar as características e a viabilidade de uso de concreto com adição de borracha de pneu. Destaca-se, ainda, que a incorporação de elementos reciclados a obras de engenharia civil é uma prática bastante comum em países desenvolvidos (KLEIN et al., 2016).

Com base na metodologia proposta foram considerados os resultados obtidos por cinco pesquisadores brasileiros e três estrangeiros. A seguir é apresentada uma síntese dos estudos pesquisados que avaliaram a incorporação de borracha em concreto sob diferentes condições.

Silveira et al. (2016) analisaram as alterações do comportamento do concreto elaborado a partir da substituição de 10% do volume de areia (agregado miúdo) por borracha de pneu triturado. Os resultados mostraram que para uma menor relação de tensão, o concreto sem borracha apresentou um número maior de ciclos antes da ruptura do que o concreto com borracha. Com o aumento dos níveis da relação de tensões, o concreto com borracha, com o mesmo consumo de cimento que o concreto convencional, apresentou melhor desempenho médio. Por outro lado, nos testes realizados houve redução do módulo de elasticidade, o que é bastante desejável em situações que envolvem ações de impacto e vibrações.

Segundo Freitas et al. (2009), a adição do resíduo de borracha em substituição à massa de areia no concreto fresco diminuiu a trabalhabilidade do concreto resultante. As adições de borracha em substituição à areia foram feitas com dosagens de 5, 10 e 15%, tendo sido observado, pelos pesquisadores, perdas na resistência mecânica à compressão. O resultado da resistência à tração na flexão

diminuiu cerca de 30%, trazendo, como vantagem, a redução na fissuração resultante com necessidade de aplicação de um esforço extra para a sua ruptura total. As fibras de borracha mantiveram as duas interfaces unidas após a ruptura. O estudo apontou ainda que os desgastes abrasivos, medidos nos sistemas com concreto com adição de borracha, ficaram menores que o do próprio concreto convencional. Segundo Freitas et al. (2009), a adição da borracha trouxe melhoria no desempenho final do concreto, com vantagens ambientais, a exemplo da redução da disposição irregular de pneus e o menor uso de areia como agregado.

Por sua vez, Albuquerque (2009) averiguou de que forma a adição de partículas de borracha de pneus afeta as propriedades mecânicas, térmicas e viscoelásticas do concreto massa, com intuito de verificar a possibilidade de obter um compósito menos suscetível aos riscos de fissuração devido a efeitos térmicos. Os resultados indicaram que o máximo aproveitamento da borracha de pneu no concreto, sem prejuízo considerável das propriedades mecânicas ocorre para o teor de 10% de partículas de borracha de 1,5 mm e 4,8 mm em substituição parcial ao volume de areia (ALBUQUERQUE, 2009).

Por meio de ensaios de compressão diametral, Trentin (2014) concluiu que a incorporação do resíduo de borracha de pneu em tubos de concreto armado é uma alternativa estruturalmente viável, uma vez que, no ensaio de compressão diametral, os tubos de concreto com borracha de pneus e os tubos de concreto convencional tiveram resistências semelhantes. É importante destacar que durante o estudo não houve substituição do agregado de areia, e sim incorporação da borracha de pneu. De acordo com os resultados do ensaio de compressão diametral obtidos por esse mesmo autor, a adição de resíduo de borracha de pneu contribui em termos de durabilidade da estrutura tubular, pois fez com que o tubo tivesse menor número de fissuras, reduzindo assim, a entrada de agentes corrosivos que pudessem comprometer a utilização do conduto em seu uso cotidiano.

No estudo realizado por Thomas et al. (2016) foi analisado o potencial de resíduos de partículas de borracha de pneu como substituto parcial de agregados finos. Os autores testaram a resistência à abrasão do concreto produzido. As dosagens de borracha testadas substituíram a areia como agregado na faixa de 0 a 20%, em múltiplos de 2,5%. Conforme análise estatística, os resultados indicaram

que o uso de partículas de borracha de pneu pode melhorar a resistência à abrasão do concreto, e isso pode garantir sua aplicação em pavimentos, calçadas e estradas de concreto, ou em locais onde há forças abrasivas entre superfícies e objetos em movimento. Os autores relataram que todas as amostras de concreto com adição de borracha foram mais resistentes à abrasão do que o concreto convencional, uma vez que as partículas de borracha projetaram-se além da superfície lisa do concreto, restringindo a moagem e atrito do pó abrasivo do próprio concreto.

Em estudo semelhante, Ortega et al. (2015) examinaram o uso de borracha em pó como agregado em argamassas de mistura seca para produzir blocos longos de borracha e tijolos usando máquinas automatizadas. Na ocasião, a produção de tijolos de borracha apresentou melhor desempenho do que blocos longos ocos em testes de fábrica. Os testes mostraram deformações importantes e redução drástica da resistência à compressão, especialmente para percentagens de borracha, em grão, superiores a 20%.

Segundo resultados de Thomas e Gupta (2016), a borracha substituiu o agregado fino natural de 0% a 20% em múltiplos de 2,5%. Os pesquisadores observaram que a resistência à compressão, à tração em flexão, a força de tração e a profundidade da penetração de água no concreto emborrachado foram menores do que a da mistura convencional, enquanto a resistência à abrasão e a absorção de água apresentaram melhores resultados do que o concreto de mistura convencional. Dessa forma, os autores indicam que o concreto com adição de borracha pode ser usado em estruturas onde há poucas chances de falha e indicam ainda que a borracha em pó seja utilizada em concreto de alta resistência como substituto parcial do agregado fino em até 12,5% em peso.

A partir dos estudos mencionados, utilizou-se como referência nesta pesquisa a composição que apresenta as melhores condições para o uso proposto, que variou entre 10% e 15% de adição de borracha como agregado fino ao concreto, entre 1,55 mm e 3,50 mm (ABNT, 2005, p. 5). Contudo, ressalta-se que a substituição de areia por farelo de borracha em 15% promoveu a redução da resistência à compressão para corpos-de-prova cilíndricos manufaturados em até 70%, em estudo realizado por Romualdo et al. (2011), motivo pelo qual os autores recomendaram a adição em percentual de 5% para a mesma finalidade proposta. No entanto, o mesmo estudo

indicou ganho em outras propriedades mecânicas com a substituição da areia por borracha. O estudo de Thomas e Gupta (2016) corrobora essa informação, no qual a profundidade de abrasão em blocos de concreto com 5% de borracha não diferiu estatisticamente de blocos com 10% de borracha, tendo sido constatado baixa redução dessa profundidade em blocos com 15% de borracha. Em outro estudo, realizado por Silveira et al. (2016), os autores não observaram diferença significativa na resistência a compressão para concretos com adição de borracha entre 5 e 15%.

Por esses motivos, na Tabela 2 estão apresentados os traços indicados com substituição da areia por farelo de borracha em 10 e 15%, bem como o traço convencional para resistência à compressão de 25 MPa.

Tabela 2 – Traços para produção de concreto convencional e com substituição de agregado miúdo por borracha em 10 e 15%

Material	Traços dos concretos		
	Convencional	Adição de borracha 10%	Adição de borracha 15%
Brita 1 (kg)	1038	1038	1038
Areia Seca (kg)	744	669,6	632,4
Borracha (kg)	-	74,4	111,6
Cimento (kg)	355	355	355
Água (kg ou L)	212	212	212
Fator água/cimento	0,6	0,6	0,6

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos percentuais estudados por Albuquerque (2009); Freitas et al. (2009); Trentin (2014); Ortega et al. (2015); Thomas e Gupta (2016); Silveira et al. (2016) e Thomas et al. (2016).

Através dos estudos verificados não é possível precisar se o melhor desempenho do concreto se dá apenas pela adição de borracha ou pela substituição do agregado convencional pela borracha.

É importante destacar, também, que tanto o concreto estrutural convencional como àquele com adição de borracha são adequados para o uso em passeios públicos, uma vez que os passeios estão restritos à circulação de pedestres, exceto pelo(s) acesso(s) à(s) garagem(s), onde há circulação de veículos, e exigência de resistência à compressão de concreto superior a 20 MPa. Nestas áreas ocorre utilização de concreto com armadura, que pode ser entendido como o concreto com capacidade de sustentação reforçada, e/ou índices inferiores de adição de borracha (5%) ou até mesmo a utilização de concreto convencional. Entretanto, para

aplicação prática é necessário que este estudo seja ampliado e que esta variável seja testada para a finalidade proposta.

3.3 Comparativo de custos do Concreto Convencional e do Concreto com Substituição de areia

Através da metodologia proposta e utilizando-se os traços apresentados na Tabela 2, têm-se os comparativos de custos na Tabela 3, conforme valores praticados na região do estudo, em novembro de 2017.

Tabela 3 – Comparativo entre o custo do concreto convencional e com substituição parcial do agregado miúdo por borracha em 10 e 15%

Material	Convencional		Adição de borracha 10%		Adição de borracha 15%	
	Qntd (kg)	Custo (R\$)	Qntd (kg)	Custo (R\$)	Qntd (kg)	Custo (R\$)
Brita 1	1037	39,65	1037	39,65	1037	39,65
Areia Seca	741	62,70	666,9	56,43	629,85	53,30
Cimento	350	206,50	350	206,50	350	206,50
Borracha	-	-	74,10	11,05	111,15	16,58
Água	212	0,00	212	0,00	212	0,00
		Total: 308,85		Total: 313,63		Total: 316,03

Nota: O custo da água não foi contabilizado neste estudo, pois o volume necessário aos diferentes traços é o mesmo.

Fonte: Autores (2017).

Considerando os valores da Tabela 3 percebe-se que a substituição do agregado miúdo pela adição de 10% e 15% de borracha ao concreto representou uma elevação dos custos em relação ao concreto convencional. Esse aumento ocorreu devido o custo da borracha ser superior ao da areia seca. As recicladoras de pneus contatadas atribuíram valor ao farelo de borracha em virtude da procura desse material, tanto por parte das empresas que trabalham no ramo da construção civil, como também por empresas que utilizam o material em gramados sintéticos.

Salienta-se que, conforme os métodos apresentados foram utilizados para comparação de custos o valor médio do farelo de borracha, que variou de R\$ 50,00/m³ em distribuidora a 110,00 km do município de estudo, a R\$ 55,00/m³ para a distribuidora distante a 250,00 km de Bom Progresso, sendo estabelecido o valor

médio de R\$ 52,50/m³ ou R\$ 0,149/kg. Para a cotação do valor do cimento foi realizada uma pesquisa de preços nos estabelecimentos comerciais da região chegando-se ao preço médio de R\$ 29,50 a saca de 50 kg. O valor da brita foi pesquisado diretamente nas pedreiras e o valor médio foi de R\$ 65,00 o m³. A cotação da areia ocorreu nas casas de materiais de construção, onde o valor final foi de R\$ 110,00 o m³.

Considerando uma espessura de 6,0 cm de concreto e a necessidade de reconstituição dos 15.938,8 m² de passeios públicos no município de Bom Progresso (item 3.1), tem-se uma demanda de 956,33 m³ de concreto. Com o concreto convencional isto representaria um custo de R\$ 295.362,52, enquanto que se fosse realizado com concreto contendo adição de 10% de borracha esse custo seria de R\$ 299.933,78, representando um acréscimo de 1,53%, enquanto que para a substituição de areia por farelo de borracha em 15%, o custo passaria para R\$ 302.228,97, representando um acréscimo de 2,27% em relação ao valor do concreto convencional.

Reitera-se que para verificação do melhor percentual de borracha a ser agregado ao concreto, para o uso proposto, seria necessária a ampliação deste estudo através de verificações práticas. Uma importante variável a ser testada é verificar se o melhor desempenho do concreto se dará pela adição do farelo de borracha ao traço convencional, ou se a substituição da areia, por igual teor de borracha, confere melhor desempenho, uma vez que através da revisão de literatura encontrou-se resultados positivos para ambas as situações.

Em estudo, Silveira et al. (2016) obtiveram resultado semelhante ao observar que a adição de 10% de borracha ao concreto, em substituição ao agregado miúdo. Os pesquisadores mantiveram a mesma quantidade de cimento e desta forma a redução nos custos ficou limitada a redução de agregado miúdo.

Salienta-se que neste estudo não foram considerados os valores de concreto usinado, fornecidos por usinas, uma vez que há diferença na sua composição devido a misturas químicas, que alterariam o traço de análise, apresentado na Tabela 2. A análise comparativa de viabilidade de uso do concreto usinado, com e sem adição de farelo de borracha nos percentuais indicados na literatura, apenas seria possível caso o estudo fosse aplicado aos traços executados pelas usinas de concreto.

3.4 Benefícios Ambientais da adição de Borracha triturada de pneus na composição do concreto

A reutilização de materiais inservíveis consiste em uma estratégia importante no gerenciamento dos resíduos sólidos. Reutilizar é a terceira recomendação expressa na ordem prioritária de gerenciamento de resíduos, segundo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, que consiste na não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Entende-se que o maior ganho em virtude da reutilização de materiais inservíveis consiste em evitar o dano associado ao descarte dos materiais. Segundo Alves et al. (2016), o principal impacto sanitário ocasionado pela má destinação dos pneus é a proliferação de vetores de patógenos ao ser humano e em especial à dengue, uma vez que pneus mal acondicionados servem como berçário para multiplicação de transmissores de doenças, como é o caso, em especial, do mosquito *Aedes aegypti*.

Reaproveitar pneus inservíveis também implica em evitar que o destino final dos mesmos seja a queima. Ao entrar em combustão o pneu libera gases contendo substâncias tóxicas como monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis, além de dioxinas, furanos, ácido clorídrico e benzeno (SILVIA; PACHECO, 2004). Todos esses compostos químicos sem tratamento e em meio atmosférico afetam de forma agressiva a qualidade do ar e a saúde de todos os expostos. Os maiores riscos de contaminação ambiental na queima de pneus são os subprodutos: óleo pirolítico e as cinzas (ALVES et al., 2016). Por conta da diminuição do oxigênio do ar e das altas temperaturas, ocorrem reações de pirólise, produzindo o óleo pirolítico e nas cinzas ocorre a presença de metais pesados.

Segundo Freitas e Nóbrega (2014), a reutilização de pneus inservíveis também pode implicar em benefícios sociais. Esse ganho viria a ocorrer uma vez que o pneu poderia ser inserido na lista de itens procurados por catadores de materiais recicláveis, implicando em um aumento de sua renda mensal. De forma concomitante, a quantidade de pneus dispostos de forma irregular nas cidades seria reduzida.

A substituição do agregado convencional por um resíduo representa a redução da utilização de recursos naturais para a produção do agregado (FREITAS et al., 2009). Ou seja, por meio da retirada dos pneus inservíveis dispostos inadequadamente atinge-se ganhos ambientais como a imobilização dos resíduos de borracha em obras civis e preservação indireta do meio ambiente, uma vez que ocorre a diminuição do volume de extração de areia natural, que é caracterizada por severos impactos ambientais no meio físico e biótico, como redução da qualidade das águas, incidência de processos erosivos, alterações na geomorfologia e no regime hidrológico, entre outros (FREITAS et al., 2009).

Destaca-se, por fim, que o uso de materiais inservíveis em substituição aos materiais convencionais é uma tendência em países desenvolvidos e a ampliação deste estudo e de outros relacionados ao aproveitamento de materiais inservíveis é caminho para a realização de obras civis mais sustentáveis.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além do mal estado de conservação e dos problemas de obstruções nos passeios públicos do município de Bom Progresso, verificou-se que aproximadamente 62% dos passeios do município não possuem pavimentação ou revestimento, e necessitam ser recuperados.

Por terem uso restrito à circulação de pedestres, com exceção do acesso à garagem, os passeios públicos podem receber revestimento de concreto convencional, sem reforço estrutural. Verificou-se que a substituição de agregado fino ou miúdo por farelo de borracha pode ser avaliada em passeios públicos numa faixa de 10 a 15% em relação ao agregado convencional, considerando a redução da resistência à compressão.

Contudo, a viabilidade técnica de uso do concreto com adição de borracha estará condicionada a ensaios para a sua utilização, principalmente quanto ao desgaste e segregação do material. Quanto aos ganhos ambientais, sua viabilidade é incontestável. A comparação do custo de produção entre o concreto convencional e com substituição parcial de areia por farelo de borracha demonstrou que quanto

maior o uso de farelo de borracha no concreto, maior o custo do mesmo nos percentuais estudados.

Apesar da demonstração da pequena desvantagem econômica apresentada, a adição da borracha no concreto requerer um estudo mais aprofundado sobre os benefícios técnicos. No entanto os benefícios ambientais são relevantes, e devem fomentar a discussão para possíveis estudos práticos e/ou aplicados.

FEASIBILITY STUDY ON THE USE OF CONCRETE WITH THE ADDITION OF RUBBER WASTE FROM TIRES TO SIDEWALK IN MUNICIPALITY OF THE NORTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT

The growing generation of waste and its inadequate disposal are a major environmental problem. Disposal of used tires increases every year around the world, and about 50% of these are disposed of incorrectly, whereas they could be reused, reducing pressure on the environment. In this sense, the present study aimed to analyze feasibility aspects of the use of concrete with the addition of tire rubber waste for the construction of public sidewalks in a municipality in the northwest of Rio Grande do Sul. For this, the area of the public roads that needed recovery was quantified based on the municipal plan and verified, through a bibliographic review, the best concrete trait with addition of rubber as an aggregate for this purpose. The assessment of the economic viability of the rubber aggregate was made based on the quantities used and the market values. As a result it was verified that 62% of the public walks of the municipality need to be recovered. The concrete aggregated with rubber in the range between 10 and 15%, in proportion to the fine aggregate or kid, was pointed as the most suitable for the intended use. It was verified that the greater the use of rubber meal in the concrete, the greater the cost of the concrete in conventional aggregate relation in the analyzed percentages. Despite the economic disadvantage observed, it is recommended to expand the research, considering the environmental benefits associated with the reuse of unserviceable materials in civil construction.

Keywords: Waste reuse. Tire rubber. Construction. Sidewalk.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. C. **Estudo das Propriedades do Concreto Massa com Adição de Partículas de Borracha de Pneu**. Tese de Doutorado em Engenharia – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre/RS. 2009.

ALVES, V. E. S. et al. Impacto ambiental provocado pela destinação incorreta de pneus. **ENIAC Pesquisa**, Guarulhos (SP), v. 5, n. 1, 2016.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

AVELAR, S. A. **Avaliação do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de Coronel Fabriciano – MG**. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado. Centro Universitário de Caratinga. Caratinga: 2006.

BOM PROGRESSO. **Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Pág. 16-19. Elaborado por técnicos municipais. Bom Progresso. Março: 2013.

BRASIL. **Resolução CONAMA n°. 416, de 30 de setembro de 2009**. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Brasília: 30 set. 2009.

BRASIL. **Lei n°. 12.305, de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Brasília: 2 ago. 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contagem da População (2010)**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/bom-progresso/panorama>. Acesso em: 20 set 2017.

KLEIN, L. L. et. al. **Uso de Resíduos de Pneumáticos Inservíveis na Produção de Concreto Para Blocos: uma simulação computacional.** Sustentabilidade em Debate - Brasília, v. 7, n. 1, p. 121-139, jan/abr 2016.

FRANÇA, V. H. **Aderência Aço-Concreto – Uma análise do comportamento do concreto fabricado com resíduos de borracha.** Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Ilha Solteira – SP. Ago, 2004.

FREITAS, C. et al. Desempenho físico-químico e mecânico de concreto de cimento Portland com borracha de estireno-butadieno reciclada de pneus. **Química Nova**, v. 32, n. 4, Curitiba – PR, 2009.

FREITAS, S. S.; NÓBREGA, C. C. Os benefícios do coprocessamento de pneus inservíveis para a indústria cimenteira. **Eng Sanit Ambient.**, v.19 n.3 p. 293-300, 2014.

HISATUGO, E.; JUNIOR, O. M. Coleta seletiva e reciclagem como instrumentos para conservação ambiental: um estudo de caso em Uberlândia, MG. **Sociedade & Natureza**, v. 19, n. 2, 205-2016, 2007.

ORTEGA, E. S. et al. Evaluation of crumb rubber as aggregate for automated manufacturing of rubberized long hollow blocks and bricks. **Construction and Building Materials**, v. 106, p. 305-316. Elsevier Ltd. 2015.

ROCHA, S. D. F.; LINS, V. F. C.; SANTO, B. C. E. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. **Eng Sanit Ambient.**, v.16, n.1, p. 1-10, 2011.

ROMUALDO, A. C. A et al. Pneus inservíveis como agregados na composição de concreto para calçadas de borracha. In: **3º International Workshop Advances in Cleaner Production.** Cleaner Production Initiatives and Challenges for a Sustainable World. Brasil. São Paulo: 18 a 20 de maio de 2011.

SERAFIM, M. A. **Estudo e proposição de formas de pavers intertravados para áreas e passeios públicos.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista como exigência para obtenção do título de Mestre em Design. Bauru – SP. 2010

SILVA, V. J. M. da; PACHECO, E. B. A. V. Degradação Térmica de pneus inservíveis. **Jornal de plásticos**, v. 1103, 14 p., 2004.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 4, p.113-133, out/dez. 2018.

SILVEIRA, P. M. et. al. Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu. **Revista Matéria**, v. 21, n. 2. p. 416-428, 2016.

THOMAS, S. B. et. al. Abrasion resistance of sustainable green concrete containing waste tire rubber particles. **Construction and Building Materials**, v. 124, p. 906-909, 2016.

THOMAS, S. B.; GUPTA, R. C. Properties of high strength concrete containing scrap tire rubber. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 86-92, 2016.

TRENTIN, T. F. S. **Análise estrutural de tubos de concreto armado com resíduo de borracha de pneu**. 105 f. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Ilha da Solteira-SP. 2014.

