



AVALIAÇÃO MECÂNICA DE CONCRETO COM BORRACHA DE PNEU POR MEIO DO ENSAIO DE PLACA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.VII-002>

Joel Carlos Moizinho*, Rebeca Martins dos Santos, Arthur Henrique Moizinho
Universidade Federal de Roraima, joel.moizinho@ufr.br

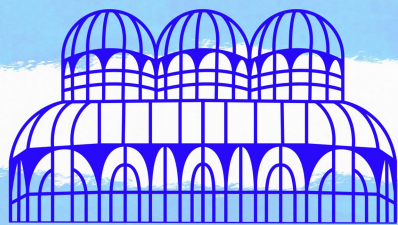
O setor da construção civil é responsável por consumir grandes volumes de matérias-primas, sobretudo os agregados, gerando assim um grande impacto ao meio ambiente. Nesse contexto, surgem várias pesquisas utilizando materiais alternativos em busca de minimizar os impactos ambientais provocados pela construção. O aproveitamento de partículas de pneus inservíveis no concreto tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores. Este trabalho trata da análise das propriedades mecânicas do concreto de cimento Portland, elaborado a partir da substituição de parte do agregado miúdo por diferentes percentagens, em peso, de borracha de pneu inservíveis e triturado. Foram realizados testes de resistência ao impacto sobre placas de concreto confeccionadas em quatro traços: 1) concreto sem borracha, denominado na presente pesquisa por concreto de referência; 2) concreto com 5% borracha, 3) concreto com 10% borracha e 4) concreto com 15% borracha. Os resultados obtidos mostram que a adição de borracha provoca redução na resistência mecânica do concreto, o que pode reduzir as aplicações deste novo material. Com relação ao teste de impacto as amostras demonstraram melhor capacidade de absorção de energia. De um modo geral os concretos com adição até 10% de borracha apresentaram características satisfatórias para uso em pistas de ciclovias, calçadas, construção de meios fios etc. A vantagem da aplicação da borracha de pneu no concreto é que contribui na reciclagem de um material poluente e que normalmente é descartado no meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto não estrutural, Resíduos de pneu, Resistência à compressão, Resistência ao impacto.

ABSTRACT

The construction sector is responsible for consuming large volumes of raw materials, especially aggregates, thus generating a significant impact on the environment. In this context, various research efforts are emerging to utilize alternative materials in order to minimize the environmental impacts caused by construction. The utilization of particles from unusable tires in concrete has been the subject of study by several researchers. This work focuses on the analysis of the mechanical properties of Portland cement concrete, produced by replacing part of the fine aggregate with different percentages, by weight, of shredded and unusable tire rubber. Impact resistance tests were conducted on concrete slabs prepared in four mix proportions: 1) concrete without rubber, referred to in this study as reference concrete; 2) concrete with 5% rubber; 3) concrete with 10% rubber; and 4) concrete with 15% rubber. The results obtained indicate that the addition of rubber reduces the mechanical strength of the concrete, which may limit the applications of this new material. However, regarding the impact test, the samples demonstrated improved energy absorption capacity. Overall, concretes with up to 10% rubber addition exhibited satisfactory characteristics for use in bike lanes, sidewalks, curb construction, etc. The advantage of incorporating tire rubber into concrete is that it contributes to the recycling of a polluting material that is typically discarded in the environment.

KEY WORDS: Non-Structural Concrete, Tire Waste, Compression Resistance, Impact Resistance concrete.



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

INTRODUÇÃO

No Brasil, anualmente, são descartados mais de 30 milhões de pneus, dos quais a maior parte é disposta em locais inadequados (IPT/CEMPRE, 2008). Os pneus quando se tornam inservíveis, acarretam uma série de problemas sanitários e ambientais, dentre eles: servem como local para procriação de mosquitos e outros vetores de doenças; representam um risco constante de incêndio; quando queimados contaminam o ar com uma fumaça altamente tóxica e deixa como resíduo um óleo que se infiltra e contamina o lençol freático; quando depositados em aterros sanitários dificultam a compactação, reduzindo significativamente a vida útil dos aterros.

Pesquisadores em todo mundo, vem buscando formas alternativas do reaproveitamento de pneus inservíveis, sejam em concreto asfáltico, concreto de cimento, muros de contenção, dentre outros. Atualmente, com o surgimento de novas tecnologias e a otimização dos recursos utilizados, a construção civil permite elaborar e executar projetos que sigam as diretrizes da sustentabilidade.

A composição e a produção dos blocos de concreto também passam por um processo de avanço significativo, inclusive com a possibilidade de adição de resíduos de construção e demolição (RCD) e de resíduos de borracha de pneu, os quais são utilizados em substituição parcial ou total do agregado miúdo ou graúdo. Esta substituição é feita em função das possibilidades e da finalidade do produto a ser obtido.

Uma boa forma de aproveitamento dos resíduos de pneus, como agregado miúdo, seria na fabricação de calçadas para pedestre, ciclovias, sarjetas e na confecção de peças pré-moldadas tipo meio fio, uma vez garantida a resistência mínima especificada por normas para esses materiais de construção.

Por outro lado, a necessidade de compatibilizar o concreto convencional para receber a modificação, por meio da adição de determinados aditivos e o custo industrial da modificação podem onerar o custo do concreto borracha em relação ao preço do convencional em curto prazo. Mas este custo a mais é plenamente justificável perante o seu benefício.

Segundo Turatsinze e Garros (2008), o concreto produzido com borracha reciclada melhora algumas propriedades, incluindo melhor isolamento térmico e acústico, baixa densidade e aumento na durabilidade do concreto.

Neste sentido, objetiva-se neste trabalho avaliar a possibilidade de utilização de resíduos de borracha na composição do concreto para a confecção de blocos de concreto. Finalmente espera-se que os resultados apresentados nesse estudo possam fazer com que a sociedade se conscientize do elevado custo ambiental da destinação inadequada dos pneus inservíveis, acelerando ainda mais a implantação de projetos de peças em concretos com a adição de resíduos de borracha de pneus, ajudando a solucionar os graves problemas causados pela disposição inadequada de pneus usados.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

USO DOS PNEUS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A borracha de pneus já tem sido usada em diversos estudos.

Selung (2012), confeccionou blocos de vibro prensados com substituição parcial de brita por resíduos de borracha de pneu (RBP) nas proporções de 6%, 10% e 14% em massa, constatando uma redução da resistência à compressão dos blocos e na redução da massa, quanto maior o acréscimo do resíduo de borracha. A autora também concluiu que, somente no traço com substituição de 6% de borracha a resistência característica dos blocos de concreto satisfaz o valor mínimo para blocos da classe D ($f_{bk,esta} = 2,59$ MPA) de acordo com NBR 6136/2007. Constatou-se então que o bloco poderia ser utilizado para fins não estruturais acima do solo.

Cintra (2008), em seu estudo substituiu areia fina por pneu moído na proporção de 10% e 5% para fabricação de telhas de concreto. Constatando que, o traço de 5% atende os requisitos exigidos pela Norma Brasileira ABNT 13858-2 para Telhas de Concreto.

Romualdo et. al. (2011), verificaram que o concreto com substituição de 5% da areia, em massa, por fibras de pneu apesar de perder em resistência ganhou em flexibilidade satisfazendo o uso para pavimentação de calçadas.

Boudaoud e Beddar (2012), também constataram uma diminuição na resistência mecânica com a incorporação dos RBP. Os autores substituíram parte do volume do agregado graúdo por pedaços de borrachas de tamanhos variando entre duas classes: 10 mm/12 mm (substituição volumétrica de 1%, 5% e 15 %) e 16mm/20 mm (substituição



volumétrica de 10%,20% e 30%). Concluíram que, a redução da resistência ocorreu com o aumento da porcentagem de agregados de borracha. No entanto, afirmaram que os concretos mantiveram uma resistência compatível com um possível uso, por exemplo, no setor de construção rodoviária.

Silva et.al. (2017), utilizaram os resíduos de pneus inservíveis na produção de blocos ecológicos, constatando que os blocos com borracha em sua composição apresentaram: menor densidade, maior taxa de absorção de água à medida que se aumentava a quantidade de resíduos e ensaios de resistência à compressão decrescentes, ou seja, tendem a diminuir, quanto maior o teor de resíduos de pneus utilizado. Todavia, os autores concluíram que, os corpos de prova que absorveram mais água ainda assim não sugaram mais que os tijolos cerâmicos maciços da região de Catalão, Goiás. Apontaram ainda que, os resultados das resistências à compressão dos blocos atingiram valores acima do exigido pela ABNT NBR 8492:2012: Tijolo maciço de solo cimento - Determinação da resistência a compressão e da absorção de água. Além disso, perceberam que os blocos com os resíduos apresentaram melhor desempenho que o tijolo cerâmico maciço.

Galvão et.al. (2008), testaram o desempenho físico-químico e mecânico do concreto com borracha de estireno-butadieno reciclado de pneus com estudo de caso para aplicação do resíduo como material de reparo (MR) da superfície do vertedouro da Usina Hidroelétrica Mourão. Foram dosados traços para o concreto referência e com adição em peso de 5% (CAB 5), 10% (CAB 10) e 15% (CAB 15) de borracha. Os autores conseguiram averiguar que, a adição do resíduo em substituição à massa de areia diminui a trabalhabilidade do concreto resultante, atribuindo tal fator à borracha na forma de fibras e nas quantidades adicionadas. Observaram também a redução na massa unitária, aumento no teor de ar aprisionado e perdas na resistência mecânica à compressão. Constataram que a resistência a tração na flexão diminuiu, sendo uma vantagem na redução da fissuração resultante, com necessidade de aplicação de um esforço extra para a ruptura total do corpo de prova. Concluíram que, para o uso em superfície hidráulica de barragens o CAB 5 é a melhor opção, com $22,1 \pm 0.6$ MPA.

Albuquerque et. al. (2004), estudaram a adição de borracha de pneu no concreto convencional (CCV) e no concreto compactado com rolo (CCR). Foram testadas amostras de CCV e CCR com adição de borracha de três diferentes granulometrias, em teores de 5% a 25% submetidas ou não ao tratamento superficial com aditivos. Para o CCV averiguaram que os tratamentos realizados com os aditivos de base polimérica proporcionaram melhor desempenho dos concretos, quando comparados com os contendo borracha sem tratamento superficial. Porém, os autores destacaram que, fibras de borracha com até 10 mm de comprimento e os grânulos com 1.5 mm e 0,42 mm de diâmetro quando incorporados ao concreto em teores de até 10% não causaram prejuízo na resistência à compressão dos corpos sem tratamento superficial. Para o CCR os autores observaram que, durante a realização das dosagens necessitou-se de uma crescente quantidade de aditivo plastificante à medida que se aumentava o teor de borracha e diminuía-se o tamanho das partículas. Notaram também que, a trabalhabilidade do CCR diminuiu com o aumento do teor de borracha e com a redução do tamanho das partículas. A resistência à compressão também diminuiu com o aumento do teor da borracha, sendo de aproximadamente 30% em relação à referência para 5% de borracha. Os autores concluíram que a queda da resistência mecânica do CCR com borracha pode ser minimizada pelo tratamento das partículas de borracha com aditivo polimérico à base de estireno-butadieno.

Fioriti e Akasaki (2004) usaram RBP na fabricação de blocos estruturais e concluíram que, para a produção do bloco a quantidade suficiente de resíduos na composição do concreto deve ser de 13% para que não venha a perder a resistência e ao mesmo tempo consumir o limite máximo de cimento (300 kg/m^3).

Em outro estudo, Fioriti et. al. (2007) avaliaram o uso de RBP em blocos de concreto para pavimentação intertravada. Observaram que os blocos com resíduos de borracha, identificados aqui como (BCR), tiveram menores capacidades de resistência à compressão comparados aos blocos sem resíduos, identificados aqui como (BSR). No entanto, relataram que os BCR não apresentaram ruptura frágil como os BSR que praticamente se fragmentaram em vários pedaços enquanto os BCR preservaram em parte seu formato original. Perceberam que esse comportamento indica maior capacidade de absorção de energia por parte de concreto com resíduos de borracha. Os autores concluíram que, os resultados obtidos no trabalho indicam que o uso de blocos de concreto com resíduos de borracha na pavimentação intertravada pode ser feito em ambientes com solicitações leves, como, por exemplo, em calçadas, praças, ciclovias e condomínios residenciais.

Silva Júnior (2014), em seu estudo verificou que há uma tendência à diminuição da massa específica aparente para os concretos com aumentos de incrementos de RBP bem como a redução de resistência a compressão. O autor completou que, a introdução dos RBP, embora gere uma redução de resistência, causa uma maior capacidade de deformação sem ruptura para os concretos com brita calcária, concluindo que, assim há uma produção de um concreto menos frágeis e com poucas trincas após a ruptura.

Moreira et.al (2014), em seu trabalho relataram suas experiências do uso de borracha originada do picotamento de pneus automotivos na construção da ciclovia encontrada às Margens do Rio Uberabinha, Uberlândia-MG. Foi utilizado um concreto com adição de RBP, em substituição ao agregado miúdo. Conforme os autores, à medida que se aumentava o conteúdo de borracha ao concreto a trabalhabilidade diminuía. Foi observada a mesma situação em relação à resistência à compressão. Além disso, alegaram que os corpos de prova de concreto com borracha quando rompidos não desagregaram da mesma maneira como o ocorrido com o concreto sem borracha. Verificaram também a queda na massa final do concreto com RBP, afirmando que fica mais leve em relação ao concreto sem borracha. Concluíram que o uso de RBP em substituição ao agregado miúdo do concreto, tanto na produção quanto na aplicação do concreto na obra, possui resultados satisfatórios. Ao mesmo tempo, afirmam que para a proposta de pavimentação de ciclovia, a aplicação do concreto com RBP demonstrou-se aceitável, pelo fato desse tipo de obra não exigir resistência elevada à compressão.

MATERIAIS

O agregado miúdo empregado na pesquisa foi a areia natural do rio, sendo proveniente do município de Boa Vista-RR, extraída do rio Branco, adquirida no comércio local e devidamente estocada no laboratório do NUPENG/UFRR. O agregado graúdo utilizado foi o de origem granítica, comercializado como brita 1 com dimensões características de 9.5 mm a 19 mm. A brita foi adquirida no comércio local e devidamente estocada no laboratório do NUPENG/UFRR. Os resíduos de borracha de pneus foram adquiridos através da empresa Rio Limpo, sediada em Manaus/AM e o cimento usado foi do tipo CP IV 32. A Figura 1 mostra o RBP (Resíduo de Borracha de Pneus), oriundos da recapagem de pneus inservíveis, triturados, sem nylon e fios de aço.



Figura 1: Resíduo de pneu triturado. Fonte: Santos, R.M (2018)

MÉTODOS

Foram dosados concretos pelo método IBRACON, com duas características diferentes: concreto convencional ou referência e com adição de fibras de borracha. Antes de realizar a dosagem do concreto foram definidos primeiro alguns parâmetros importantes que deveriam ser mantidos constantes durante a execução do experimento. São eles:

- Resistência à compressão: Mínima de 25 MPa, aos 28 dias de idade, tanto para o concreto convencional quanto para os concretos com resíduos.
- Idade do concreto: Foram estabelecidas como padrão para o estudo da resistência à compressão as idades de 3, 7, 28 dias;
- Trabalhabilidade (“slump-test”): foi determinada que a trabalhabilidade, através do teste de abatimento de tronco de cone, seria fixa entre os valores de 10 ± 2 cm para os traços pilotos: traço padrão, traço rico e traço pobre.
- Porcentagens de incorporação dos resíduos de borracha em 5%,10% e 15% (em massa com relação à areia). Os valores foram baseados de acordo com pesquisas realizadas por diferentes autores.

Dessa forma, efetuou-se primeiro a dosagem para os traços: padrão (TPA), rico (TRI) e pobre (TPO) e depois as dosagens de concreto com a incorporação dos resíduos de borracha. Já com substituição parcial de areia por resíduos de borrachas que foram convencionalmente denominados de TCRB5%, TCRB10% e TCRB15%. A Tabela 1 apresenta a composição dos traços estabelecidos na pesquisa.

Tabela 1. Dosagem dos traços de concreto. Fonte: Santos, R.M (2018).

Identificação do traço	Proporções do material				
	Cimento	Areia	Brita	Água	Borracha
TPA	1	2,00	3,00	0,57	0
TPO	1	2,75	3,75	0,74	0
TRI	1	1,25	2,25	0,47	0
TCRB5%	1	1.9	3.00	0,57	0.1
TCRB10%	1	1.8	3.00	0,57	0.2
TCRB15%	1	1.7	3.00	0,57	0.3

Placas

Para o ensaio de resistência ao impacto, foram moldados corpos de prova prismáticos (placas) de 40 cm x 40 cm x 3 cm confeccionadas em madeira reciclável. As dimensões adotadas seguiram as mínimas explicitadas pela ABCP (2009) no Manual de Placas de Concreto. Os moldes para as placas de concreto foram fixados sobre chapa de compensado (tapumes de madeiras) de forma que no momento do adensamento não houvesse deslocamento dos moldes. As fôrmas e fundo do tapume também foram devidamente untadas com o óleo para facilitar a retirada após secagem.

Resistência ao impacto de corpo duro

Quanto à determinação da resistência ao impacto, seguiram-se as especificações da ABNT NBR 15845-8. O ensaio baseou-se na queda livre de uma esfera com massa conhecida sobre o centro de um corpo de prova de concreto colocado em uma caixa de areia padronizada. O aparato do ensaio de resistência ao impacto é composto por um tubo-guia que possui perfurações transversais ao longo do seu eixo distanciadas de 5 cm, pelas quais, mediante a introdução ou retirada de um pino metálico, se determina a altura e restringe-se ou induz-se a queda livre de uma esfera metálica de 1 kg.

Primeiramente foram feitos o nivelamento e a contenção do bloco de concreto na caixa de areia colocada abaixo do tubo-guia. Em seguida, posicionou-se a esfera metálica à altura inicial de 0,20 m da superfície do bloco de concreto e retirou-se o pino metálico para a queda livre da esfera. A partir da altura inicial, repetiu-se o procedimento para intervalos crescentes de altura de 5 cm até que se ocorresse a fissuração e a ruptura da placa. Ao longo dessas repetições observou-se se ocorria na superfície da placa de concreto o surgimento da primeira fissura, quando ocorrido, anotava-se a altura à qual surgia a primeira fissura. Na sequência prosseguia-se ao ensaio, o qual foi interrompido apenas quando acontecia a ruptura da placa. A energia de esmagamento é expressa em Joules e calculada pela Equação 1 a seguir

$$E = h * m * g \quad \text{Equação 1}$$

A resistência ao impacto foi determinada através do somatório de energia para o surgimento da primeira fissura na face superior/ou ruptura do corpo de prova.

Importante ressaltar que, a norma preconiza que os corpos de prova para o ensaio de impacto tenham dimensões de 200 mm x 200 mm cortados a partir das placas com acabamento e espessura de uso. Assim, depois 28 dias de cura, as placas foram cortadas, com auxílio de serra (Makita), para realização dos ensaios. As figuras 2 e 3 mostram respectivamente o aparato usado na pesquisa e as placas cortadas para ensaios.

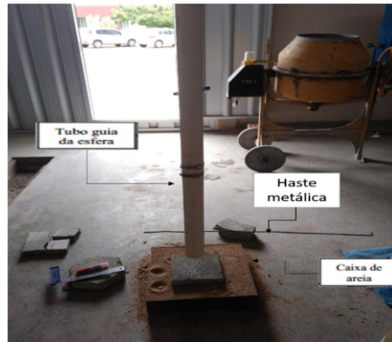


Figura 2: Aparato para ensaio de impacto. Fonte: Santos, R.M (2018).



Figura 3: Placas para ensaio impacto: (a) Cortes das placas, (b) placas com teor 15% de borracha cortadas e identificadas Fonte: Santos, R.M (2018).

RESULTADOS

As propriedades consideradas no estado fresco do concreto foi a trabalhabilidade. De acordo com Neville (1997), os agregados interferem indiretamente nas propriedades mecânicas e de forma direta nas durabilidades do concreto (NEVILLE,1997). Convém lembrar que, a trabalhabilidade do traço padrão atingiu a meta determinada como base para o estudo estando entre 10±2 cm depois de acrescentado mais água e cimento no compósito. Porém, isso não ocorreu quando à incorporação do agregado de borracha, que diminuiu a trabalhabilidade do concreto. Não foram acrescentadas água no processo de amassamento com o intuito de manter a relação água cimento do concreto convencional com o concreto possuindo resíduos de borracha. A Tabela 2 a seguir ilustra os valores do ensaio de abatimento do cone para os diferentes concretos produzidos.

Tabela 2. Resultado ensaio Slump test. Fonte: Santos, R.M (2018).

Concreto	Slump (cm)
CP	11
CRB5%	10
CRB10%	7,8
CRB15%	4,6

Verificou-se que ocorreu uma perda de trabalhabilidade quanto maior o percentual de borracha, confirmando as análises encontradas nas literaturas.

Resistência ao impacto

Na Tabela 3 são apresentadas as médias dos resultados provenientes dos ensaios de resistência ao impacto nas placas de concreto. Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 são apresentados os valores individuais de cada placa dos concretos: Padrão, CRB5%, CRB10% e CRB15% respectivamente.

Tabela 3. Média dos valores do ensaio à resistência ao impacto. Fonte: Santos, R.M (2018).

Concreto	Primeira Fissura Observada			Ruptura da Placa	
	Altura de Queda (m)	Energia de Impacto (J)	Espessura (mm)	Altura de Queda (m)	Energia de Impacto (J)
Padrão	0,53	24,22	30	0,65	39,81
CRB5%	0,53	24,76	30	0,68	43,15
CRB10%	0,58	31,38	30	0,77	56,55
CRB15%	0,53	25,99	30	0,68	44,29

Tabela 4. Valores de resistência ao impacto. Fonte: Santos, R.M (2018).

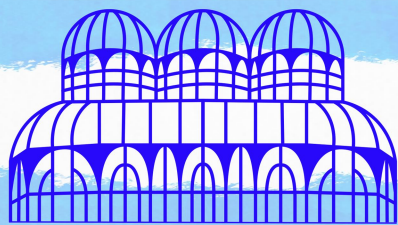
N. Placas	Primeira Fissura Observada				Ruptura da Placa		
	Número de impactos	Altura de Queda (m)	Resistência ao Impacto (J)	Espessura (mm)	Número de impactos	Altura de Queda (m)	Resistência ao Impacto (J)
1	6	0,50	22,06	30	9	0,65	39,72
2	6	0,50	22,06	30	10	0,7	46,58
3	7	0,55	27,46	30	8	0,6	33,34
4	7	0,55	27,46	30	9	0,65	39,72
5	7	0,55	27,46	30	9	0,65	39,72

Tabela 5. Valores resistência ao impacto CRB5%. Fonte: Santos, R.M (2018).

Placas	Primeira Fissura Observada				Ruptura da Placa		
	Número de impactos	Altura de Queda (m)	Resistência ao Impacto (J)	Espessura (mm)	Número de impactos	Altura de Queda (m)	Resistência ao Impacto (J)
1	7	0,55	27,46	30	10	0,7	46,58
2	7	0,55	27,46	30	10	0,7	46,58
3	6	0,5	22,06	30	10	0,7	46,58
4	7	0,55	27,46	30	9	0,65	39,72
5	6	0,5	22,06	30	9	0,65	39,72
6	6	0,5	22,06	30	9	0,65	39,72

Tabela 6. Valores resistência ao impacto CRB10%%. Fonte: Santos, R.M (2018).

Primeira Fissura Observada				Ruptura da Placa			
----------------------------	--	--	--	------------------	--	--	--



Placas	Número de impactos	Altura de Queda (m)	Resistência ao Impacto (J)	Espessura (mm)	Número de impactos	Altura de Queda (m)	Resistência ao Impacto (J)
1	7	0,55	27,46	30	11	0,75	53,94
2	7	0,55	27,46	30	11	0,75	53,94
3	8	0,60	33,34	30	12	0,8	61,78
4	8	0,60	33,34	30	12	0,8	61,78
5	8	0,60	33,34	30	11	0,75	53,94
6	8	0,60	33,34	30	11	0,75	53,94

Tabela 7. Valores resistência ao impacto CRB15%%. Fonte: Santos, R.M (2018).

Placas	Primeira Fissura Observada				Ruptura da Placa		
	Número de impactos	Altura de Queda (m)	Resistência ao Impacto (J)	Espessura (mm)	Número de impactos	Altura de Queda (m)	Resistência ao Impacto (J)
1	5	0,45	17,16	30	9	0,65	39,72
2	8	0,6	33,34	30	10	0,7	46,58
3	7	0,55	27,46	30	10	0,7	46,58
4	8	0,6	33,34	30	10	0,7	46,58
5	5	0,45	17,16	30	9	0,65	39,72
6	7	0,55	27,46	30	10	0,7	46,58

De acordo com os dados das Tabelas de 3 a 7, verifica-se que foi necessário menor número de impactos e, conseqüentemente, menor energia para a observação da primeira fissura das placas de concreto sem resíduos, em relação às fissuras iniciais das placas com adição de resíduos de borracha. De maneira geral, as placas de concreto contendo resíduos de borracha suportaram bem a absorção de energia antes do seccionamento, se comparados com as sem resíduos. Sendo que o melhor resultado ocorreu em placas com teores de 10% de resíduos de borracha. As placas com teor de 5% não obtiveram valores distintos para a observação da primeira fissura em relação às fissuras iniciais das placas padrão. No entanto, alcançaram uma energia de ruptura um pouco maior, apontando que os resíduos de borracha contribuem para uma maior absorção de energia.

Observou-se durante os ensaios que, as placas sem resíduos apresentaram seccionamento total dos corpos de prova, enquanto as placas com resíduos não ocorreram esse seccionamento. As placas com resíduos se rompiam, mas não separavam por partes. Analisando os resultados, ao que tudo indica, as placas com borracha possuem bom potencial para aplicação em ambientes que exijam baixa resistência mecânica, como, por exemplo, calçadas e praças.

As Figuras 4a e 4b, mostram as placas no momento de ruptura total. Analisando os resultados, ao que tudo indica, as placas com borracha possuem bom potencial para aplicação em ambientes que exijam baixa resistência mecânica, como, por exemplo, calçadas e praças.



(a)

(b)

Figura 0: Placas após ruptura: (a) sem resíduos (b) com 15% de resíduos de borracha

CONCLUSÕES

Quanto à trabalhabilidade do concreto, pôde-se observar que a houve redução, com o incremento de borracha, induzindo a incorporação de água para atingir o slump convencional. Ao se comparar o traço referência, para os concretos com adição, não se conseguiu a trabalhabilidade desejada.

Foram constatadas reduções no peso dos corpos de prova contendo adições de resíduos indicando que, concretos com os resíduos de borracha podem gerar estruturas ligeiramente mais leves.

Quanto ao comportamento de ruptura resultante dos ensaios de impacto, os concretos com adição de borracha apresentaram melhores resultados, observado pelo aumento da capacidade de absorção de energia, quando comparado aos concretos sem adição de borracha.

Constatou-se que o uso de concretos com adições de borracha de pneu pode ser uma alternativa para minimizar o risco do surgimento de fissuras, quando comparados a um concreto convencional.

Do ponto de vista ambiental, constatou-se que é possível reaproveitar os pneus ao término de sua vida útil, reduzindo assim o número de pneus no meio ambiente e proporcionando um fim mais adequado a esses resíduos.

REFERÊNCIAS

1. Albuquerque, A. C.; Andrade, M.A.S.; Andrade, W. P.; Silva, O. C.; Martins, W. **Adição da borracha de pneu ao concreto compactado com rolo**. In: 46º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis, 2004. 87-100 p.
2. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: [s.n.], 2014. 120 p.
3. Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP. **Manual de placas de concreto: Passeio Público**. São Paulo:[s.n.], 2009. 32 p.
4. Boudaoud, Zeineddine; Beddar, Miloud. **Effects of Recycled Tires Rubber Aggregates on the Characteristics of Cement Concrete**. Open Journal of civil Engineering, vol.2, No.4, 2012. p.193-197. Disponível em: <http://file.scirp.org/Html/1-1880065_25236.htm>. Acesso em: 15 agosto. 2017.
5. Cintra, Adriana Duarte, **Utilização de pneu moído e resíduo da construção na fabricação de telhas de concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2008. 77 p.



6. Fioriti, Cesar Fabiano. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002. 134 p.
7. Fioriti, Cesar Fabiano.; AKASAKI, Jorge Luis. Fabricação de blocos estruturais de concreto com resíduos de borracha de pneus. **Holos environment**, Rio Claro, SP, v. 4, n 2. 145 p, nov. 2004. Disponível em: < <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/349/315>>. Acesso em: 5 ago. 2017.
8. Galvão, et.al. Desempenho físico-químico e mecânico de concreto de cimento com Borracha de estireno-Butadieno reciclada de Pneus. **Química Nova**, São Paulo, vol. 32, n, 4. p. 913-918, junho 2008. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000400016&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 10 ago. 2017.
9. Moreira, Franklin J.; Fidelis, Vanessa R.P.; Dias, João F. Concreto com borracha de Pneus Aplicado em Ciclovias. **Holos Environment**, São Paulo, vol. 14. n. 2, 2014. Disponível em: <<https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/8141>>. Acesso: 25 ago. 2017.
10. Norma Brasileira - **NBR 15845-8**: Rochas para Revestimento Parte 8: Determinação da Resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro, 2015. 4 p.
11. **Norma Brasileira - NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para Alvenaria. Rio de Janeiro, 2016. 10 p.
12. Neville, A. M. **Properties of concrete**. 5.ed. Longman Group, Londres, 2011.
13. Romualdo, A. C. A.; Santos, D. E.; Castro, L. M.; Menezes, W.P.; Pasqualetto, A.; Santos, O. R. **Pneus Inservíveis como Agregados na Composição de Concreto para Calçadas de Borracha**. 3 rd International Workshop Advances in Cleaner Production – Cleaner Production Initiatives and Challenges for A Sustainable World – São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6A/7/Romualdo_ACA%20-%20Paper%20-%206A7.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2017.
14. Selung, Catiane Sebben. **Estudo do uso de borracha de pneu em concreto para confecção de blocos vibro prensados**. Monografia, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2012. 85 p. Disponível em: < <https://www.unochapeco.edu.br/publicacoes-cientificas/detalhes/192653>>. Acesso em: 12 ago. 2017.
15. Silva, T. D. et.al. **Uso de granulado de borracha em substituição parcial do agregado miúdo na produção de tijolos ecológicos**. Revista Matéria, vol. 22, n. 4, Abril, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v22n4/1517-7076-rmat-S1517-7076201700040239.pdf>> Acesso em: 25 set. 2017.
16. Silva Júnior, Francisco Alves da. **Avaliação do efeito da adição de resíduo de borracha de pneu e brita calcária na formulação de compósitos cimentícios**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. 184 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12867>>. 18 ago. 2017
17. TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. Dosagem dos Concretos de cimento Portland. **IBRACON**, São Paulo, v. 2, p. 439-471, 2011. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/le56.pdf>> Acesso: 23 set. 2017.
18. Turatsinze, A.; Garros, M. On the modulus of elasticity and strain capacity of self-compacting concrete incorporating rubber aggregates. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 52, p. 1209-1215, 2008.