

CAROLINE DE OLIVEIRA

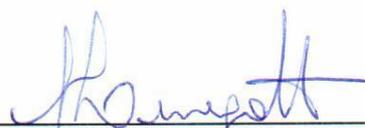
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU NA
CONFEÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PARA
PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Federal da
Fronteira sul.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Leandro Menegotto

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e
aprovado pela banca em: 04 / 12 / 2014

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Mauro Leandro Menegotto – UFFS



Prof. Dr. Roberto Carlos Pavan – UFFS



Prof. Me. Leandro Bordin - UFFS

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU NA CONFEÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Caroline de Oliveira*
Mauro Leandro Menegotto**

Resumo

No intuito de contribuir com um melhor aproveitamento dos resíduos de borracha de pneus gerados no processo de recauchutagem, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo avaliar qual a adição ideal de resíduo de borracha de pneu para a confecção de peças de concreto para pavimentação intertravada, com resíduos e agregados encontrados na região oeste do Estado de Santa Catarina. Assim, foram confeccionadas peças de concreto com adição de resíduos de borracha nas proporções de 1% e 2% em relação à massa total de agregados, as quais foram comparadas com peças moldadas de um traço de referência sem o resíduo. Amostras das peças para pavimentação de todos os traços de concreto foram submetidas a análise dimensional e ensaiadas para a determinação das propriedades de absorção de água e de resistência à compressão. Os resultados mostram influência direta do resíduo de pneu nas propriedades de absorção de água e resistência a compressão. A primeira apresentou aumento de 11,0% e 16,5%, para os traços com 1% e 2% de resíduo de pneu, respectivamente. Já a resistência à compressão apresentou diminuição de 18,0% e 26,0% com o gradativo aumento do resíduo de pneu. Contudo, o uso de resíduo de pneu não influenciou a dimensão das peças de concreto para pavimentação, uma vez que, todos apresentaram bom aspecto físico. Conclui-se, portanto, que as peças confeccionadas não são viáveis para pavimentação intertravada de ambientes com solicitação de veículos. Entretanto, para calçadas, praças, parques, ambientes destinados apenas para pedestres, a utilização dessas peças pode ser viabilizada.

Palavras-chave: Resíduos de borracha de pneu. Concreto. Pavimentação intertravada.

Introdução

Com o incentivo ao consumo e facilidades das formas de pagamento para compra de automóveis não só a frota de veículos aumentou, mas também a produção de pneus novos, e consequentemente a geração de pneus usados passíveis ou não de reforma. A legislação ambiental vigente considera que “os pneus usados devem ser preferencialmente reutilizados, reformados e reciclados antes de sua destinação final adequada” (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA, 2009). De acordo com a Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus - ABR (2013), o Brasil é o 2º mercado mundial no setor de reforma de pneus e somente no ano de 2012, foram reformados mais de 16 milhões de pneus. Ainda de acordo, com a ABR (2013) “seria necessário produzir anualmente mais 8,4 milhões de pneus novos para substituir a mesma quantidade de pneus reformados por ano, o que demandaria um aumento de consumo de 500 milhões de litro de petróleo/ano”. Dessa forma, propõe o incentivo a reforma de pneus, tendo em vista que, além dos dados mencionados, não é uma atividade poluidora e seus resíduos podem ser reciclados, ou aproveitados em outras atividades.

* Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental, UFFS/Campus Chapecó. carolinesirtoliveira@gmail.com

** Professor Adjunto do curso de Engenharia Ambiental, UFFS/Campus Chapecó. mauro.menegotto@uffs.edu.br

Um dos processos de reforma de pneus definido pela resolução CONAMA Nº 416 (2009) é o processo de recauchutagem. Fioriti (2007) relata a recauchutagem como um processo que consiste em aproveitar a estrutura resistente do pneu gasto, desde que em boas condições de conservação, e incorporar-lhe uma nova banda de rodagem, de forma a dar ao pneu outra vida. Apesar disso, vale lembrar que o processo de recauchutagem também gera resíduos, na forma de fibras ou pó de borracha, os quais desencadeiam os mesmos cuidados quanto a destinação do pneu inservível. No município de Chapecó/SC, levantou-se 19 empresas especializadas em algum segmento de reforma de pneus, sendo que uma delas estima produzir cerca de 1000 kg/mês de resíduo de pneu proveniente da recauchutagem.

O grande problema dos pneus é que se tratam de resíduos de difícil eliminação, não são biodegradáveis e seu volume torna o transporte e o armazenamento complicados. Em decorrência disso, muitas vezes, estes materiais acabam sendo dispostos de maneira inadequada gerando graves problemas ambientais e de saúde pública. Fioriti (2007) relata que a associação do significativo volume descartado com a grande durabilidade do pneu faz com que ele tenha um alto potencial de geração de impactos ambientais negativos, que precisam ser mitigados. Dentre os principais o autor relata, primeiramente, a disposição inadequada de pneus em corpos d'água ou locais abertos tornando-se também um problema de saúde ambiental, pois auxiliam na proliferação de vetores e causadores de doenças. E segundo, o descarte de pneus inteiros em aterros sanitários ocasionando a redução da vida útil e prejuízos às técnicas de controle de poluição dos mesmos. Tal descarte propicia a exposição do pneu à queima acidental ou provocada, o que libera fumaça tóxica. Quando se trata de resíduos de pneus provenientes da recauchutagem também se enfrentam problemas para disposição do mesmo. O resíduo de pneu além de apresentar decomposição muito lenta, pode desencadear efeitos nocivos e adversos quanto utilizado em incineradores domésticos. Dessa forma, é preciso apresentar alternativas de disposição final adequada tanto para pneus quanto para os seus resíduos.

Paralelamente a essa situação dos pneus, tem-se a construção civil como um ramo essencial para o desenvolvimento de uma sociedade. Graças a ela hoje dispõe-se de rodovias, hospitais, escolas, moradias, dentre outras facilidades e confortos. Porém, o consumo de recursos naturais requer atenção. Segundo Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (2012), somente em 2010, a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC) registrou cerca de 289 e 192 milhões de toneladas de areia e brita, respectivamente, produzidas pelo Brasil. Esses valores são comparáveis ao volume de produção do minério de ferro (370 milhões de toneladas), principal produto mineral brasileiro. Somente para o ano de 2014, a previsão é de que a produção de agregados alcance a margem de 529 milhões de toneladas. Se comparado com o ano de 2004, quando a produção de agregados era de 316 milhões de toneladas, em 10 anos houve um aumento na produção de agregados de 67,4%. De acordo com IBRAM (2012), o termo “agregados para construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de uso imediato na indústria da construção civil.

Ainda no ramo da construção civil vem crescendo a utilização de pavimentação intertravada devido à sua praticidade e confiabilidade de execução. De acordo com Fioriti (2007), as peças de concreto para pavimentação são também chamadas de “*pavers*” e nada mais são que peças de concreto maciço, que permitem pavimentar, através do intertravamento, uma via completa. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP - (2012), o uso de pavimentação intertravada é predominante em países europeus, com destaque para a Alemanha onde são aplicados anualmente cerca de 80 milhões de metros quadrados de *pavers* em diversas áreas. Já no Brasil, ABCP (2012) salienta que, “seja pela beleza estética, pela durabilidade ou pela pouca necessidade de manutenção, nos últimos anos houve um significativo aumento na aplicação da técnica na região Sul”.

Muitas pesquisas já foram realizadas com o intuito de apresentar alternativas de reutilização de resíduos de borracha de pneu, bem como de pneus inservíveis, uma vez que dar uma disposição final para os mesmos é um problema muito complexo por motivos já evidenciados. Pedro, Brito e Veiga (2012) pesquisaram a influência da incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus em argamassas. Os resultados demonstraram que a incorporação de partículas de borracha permite as argamassas adquirirem um melhor desempenho quanto a deformabilidade, o que pode também melhorar o comportamento à fendilhação. Por outro lado, houve uma significativa redução de sua resistência.

O trabalho realizado por Mellone, Santos e Shibao (2013) caracteriza-se como estudo teórico-descritivo, onde foi realizado um levantamento de tecnologias utilizadas no Brasil para a reutilização, reciclagem e valorização energética ligadas aos pneus, mas com ênfase na tecnologia do ligante asfáltico modificado com borracha de pneu. O resultado foi que, apesar de algumas desvantagens, o ligante asfalto-borracha mostrou-se uma alternativa ambientalmente adequada.

Já o artigo de Sellito, Kadel e Borchardt (2013) estudou o coprocessamento de resíduos sólidos em forno de clínquer, apoiada por logística reversa integrada aos fluxos diretos de transporte, com pesquisa de campo principalmente qualitativa. Os principais resultados foram econômicos e ambientais. Como resultado econômico, houve redução de mais de 30% o custo médio mensal de transporte. Como ganho ambiental, houve expressiva redução absoluta, em toneladas, de combustível fóssil demandado pela operação.

Fioriti, Ino e Akasaki (2007) avaliaram a adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus para confecção de peças de concreto para pavimentação intertravada. As peças de concreto foram confeccionadas com adição de resíduo de borracha de pneu nas proporções 8%, 10% e 12%, em volume. Nos ensaios de resistência a compressão, o resultado que eles obtiveram foi que as peças com incorporação de resíduos de borracha apresentaram valores mais baixos em comparação com as peças sem resíduo. Porém, nenhuma das dosagens das peças atingiu o valor mínimo de 35 MPa prescrito na NBR 9781 (ABNT, 1997) para ambientes com solicitações de veículos comerciais de linha. Nos ensaios de absorção de água por imersão, o resultado foi que as peças apresentaram índices abaixo do limite típico estipulado pelas normas internacionais, que é de 6%. Já nos ensaios de resistência ao impacto, o comportamento de ruptura das peças com adição de resíduo de borracha, demonstrou significativa participação física dos resíduos de borracha na contenção do seccionamento das peças. Porém, eles não conseguiram quantificar essa participação. Por fim, eles concluíram que o uso de peças 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.

Porém, o resíduo de pneu não é o único a ser objeto de pesquisas, muitos estudos também foram desenvolvidos no intuito de buscar materiais alternativos para produção de peças de concreto para pavimentação. Souza, Oliveira e Cabral (2010) desenvolveram a pesquisa cujo objetivo era produzir unidades de peças de concreto para pavimentação voltadas ao aproveitamento de resíduos de borracha proveniente do processo de desemborrachamento de pistas de pouso e decolagens de aeronaves, em substituição ao agregado miúdo (areia). O resíduo foi adicionado nas peças em substituição ao agregado miúdo nas proporções de 100%, 75%, 50%, 25% e 0%, a fim de identificar a melhor proporção a ser utilizada. O resultado encontrado aponta a proporção de 25% como a melhor para se produzir as peças.

Mattos e Ramires (2013) estudaram a “adição de resíduo de indústria petroquímica na fabricação de peça de concreto intertravada para pavimentação”. Os autores apresentaram resultados de ensaios a compressão onde compararam corpos-de-prova de argamassa do grupo controle com grupos com diferentes quantidades de substituição de agregado miúdo (areia)

por resíduo. O objetivo dos autores era substituir a maior quantidade de resíduo sem haver perda de capacidade de compressão, para isso eles ensaiaram corpos de prova de argamassa com os seguintes índices de substituição de agregado miúdo por resíduo: 0%, 30% e 60%, onde concluíram que o índice buscado estaria entre 0% e 30%. Posteriormente, o ensaio foi repetido com corpos de prova em argamassa com os seguintes índices de substituição: 10%, 15% e 20%. Confirmando o índice ótimo em 15%.

Em estudo realizado por Santos (2012), o autor avaliou a utilização de rejeito de carvão na fabricação de peças de concreto para pavimentação em substituição ao agregado miúdo natural. Para isso, foi preciso beneficiar o rejeito bruto, de forma a produzir um agregado miúdo reciclado de rejeitos de carvão (AMR). Os resultados obtidos pelo autor foram positivos, uma vez que, concluíram ser possível aproveitar 44% do rejeito bruto em AMR, e é possível sim aproveitar o AMR como agregado miúdo para produção de peças de concreto para pavimentação.

A possível utilização de resíduos de borracha de pneu como matéria-prima para os processos de construção civil parece ser uma alternativa viável para ambos os setores, pois diminui o impacto ambiental causado na extração de matérias primas e usufrui melhor as propriedades dos materiais disponíveis. Porém, é preciso aprofundar os estudos acerca dessa viabilidade e é de encontro a essa ideia que o presente trabalho visa estudar a viabilidade técnica da confecção de peças de concreto para pavimentação intertravada com a utilização de borracha proveniente da recauchutagem de pneus, em complementação parcial dos agregados, e materiais encontrados na região oeste do Estado de Santa Catarina. Para isso, o estudo almeja caracterizar, por meio de ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária, os agregados naturais e o resíduo de borracha de pneus. Então, a partir do traço utilizado pela empresa, desenvolver um traço de referência sem a borracha e identificar qual a adição ideal de resíduos que apresenta melhor desempenho e aproveitamento da borracha de pneu, de acordo com as especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Materiais e Métodos

A primeira atividade consistiu na coleta do resíduo de borracha de pneu em uma recuperadora de pneus localizada no município de Chapecó/SC. Para garantir a uniformidade das partículas de pneu e para remoção de impurezas, o primeiro tratamento realizado nos resíduos de borracha de pneu foi o peneiramento do material na peneira de abertura 1,2mm. Com o material passante realizou-se a caracterização por meio do ensaio de granulometria, ensaio de massa específica e de massa unitária.

Os agregados de areia natural, inicialmente denominados de areia 1 e areia 2, e de areia artificial foram coletados em uma indústria de pisos localizada no município de Chapecó, empresa que também realizou a moldagem das peças de concreto. As amostras de areia natural, bem como a de areia artificial, foram secas em estufa previamente e então, foram realizados os ensaios de granulometria e massa específica. Para o cimento, verificou-se que a indústria de pisos utiliza o CP V-ARI RS, da marca Votoran. Com essas informações foi possível obter a ficha técnica do mesmo junto ao fabricante.

A determinação da composição granulométrica dos agregados foi realizada conforme a NBR 248 (ABNT, 2003) que dispõe sobre o método para determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto. O ensaio consiste em formar uma amostra de aproximadamente 500g e passá-la por um conjunto de peneiras sucessivas com as aberturas de malha estabelecidas conforme série normal da ABNT. O ensaio foi realizado em duplicata e o resultado final foi obtido através de média aritmética das porcentagens passantes em cada peneira.

A determinação da massa específica dos agregados e do resíduo se deu conforme a NBR 9776 (ABNT, 1987). Elucidando que foram necessárias algumas adequações para realização do ensaio, como a substituição de água por álcool etílico 70%, exclusivamente para o resíduo de pneu, e a substituição do frasco de Chapman por uma proveta de vidro de 500 ml. A utilização de água para realizar a determinação de massa específica do resíduo de pneu não é possível, pois o pneu não sedimenta. A substituição da água por álcool etílico deve-se ao fato que o álcool possui uma densidade inferior à da água, além de ser economicamente mais viável que os demais combustíveis de baixa densidade e de possuir menor periculosidade para manuseio. O ensaio foi realizado em duplicata e o resultado final foi obtido através de média aritmética.

Os valores de massa unitária dos agregados utilizados neste trabalho foram obtidos de Selung et al. (2013), que ensaiaram materiais semelhantes coletados na mesma região.

A indústria do piso colaboradora desta pesquisa possui um traço que utiliza na moldagem das peças de concreto. Este traço foi analisado por Oliveira e Menegotto (2014), porém conforme os resultados obtidos, as peças de concreto para pavimentação confeccionadas não atenderam as especificações das normas regulamentadoras. Um dos motivos identificados para justificar esses resultados, foi o proporcionamento incorreto dos materiais constituintes do traço de referência utilizado pela empresa. Para esta pesquisa, observou-se que o traço referência da empresa mantinha uma proporção de 1:9,4 (cimento: agregados, respectivamente). Objetivando um aumento do consumo de cimento nos traços, essa proporção foi diminuída para 1:6,5. Essa proporção foi a base para a reelaboração do traço desta empresa.

Para a determinação de um traço de concreto é preciso mesclar os agregados necessários. Para tanto, é preciso conhecer a porcentagem ideal de cada um, de modo que a mescla desenvolva uma distribuição granulométrica aproximada de uma função sigmoide. Cada agregado possui uma distribuição granulométrica distinta, e é preciso que, ao mesclá-los a distribuição granulométrica do traço atenda aos limites propostos pela NBR 7211 (ABNT, 2009), apresentados na Tabela 1. Com isso, buscou-se o melhor ajuste na porcentagem de cada tipo de agregado para a composição granulométrica do traço, de modo a obter a melhor composição da curva granulométrica para o traço de referência para as peças, dentro dos limites propostos.

Tabela 1: Limites da distribuição granulométrica dos agregados

Abertura das peneiras (mm)	Porcentagem retida acumulada (em massa)			
	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Zona útil	Zona ótima	Zona ótima	Zona útil
9,5	0	0	0	0
4,8	0	0	5	10
2,4	0	10	20	25
1,2	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009)

Determinada a porcentagem de cada agregado no traço a mesma foi multiplicada pelo fator 6,5, para dar continuidade a proporção de 1:6,5 (cimento: agregados) proposta. Assim,

pode-se elaborar o traço de referência para as peças de concreto e, a partir deste, os traços com 1% e 2% de resíduo de pneu, em massa.

Para análise das peças de concreto confeccionadas, com e sem resíduo de pneu, foram realizados três ensaios: Análise dimensional, Absorção de água e Resistência à compressão. A análise dimensional das peças de concreto para pavimentação foi realizada para verificação das exigências da norma NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação (ABNT, 1987). Esta norma fixa as condições exigíveis para aceitação de peças pré-moldadas de concreto, destinadas à pavimentação de vias urbanas, pátios de estacionamento e similares. Dessa forma, para verificar se todas as peças atenderam às essas condições mínimas foi preciso medir cada uma com auxílio de um paquímetro. Foram realizadas três medidas de altura, comprimento e largura para cada peça e calculadas as dimensões médias.

Posteriormente foram realizados os ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005). O primeiro procedimento realizado foi secar as amostras em estufa por 72 horas. Após a retirada das amostras da estufa, esperou-se o resfriamento e registrou-se a massa seca de cada uma. O passo seguinte, foi imergir as amostras em água por 72 horas à uma temperatura de 23°C, aproximadamente. Passado este período, as amostras foram colocadas em um recipiente cheio de água, a qual foi progressivamente levada à ebulição e mantida por 5 horas. Ao final do processo e após resfriar naturalmente, determinou-se a massa das amostras saturada em água após fervura e a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura. O ensaio foi realizado com três amostras de cada traço.

Para análise da qualidade das peças de concreto confeccionadas, realizou-se o ensaio de resistência à compressão de peças de concreto para pavimentação conforme NBR 9780 (ABNT, 1987). Para realização desse ensaio, a referida norma prescreve que é necessário um preparo dos corpos de prova através do capeamento das superfícies de carregamento e saturação das peças. O capeamento previsto foi realizado com nata de cimento, com espessura de aproximadamente 2 mm. Três dias antes da realização do ensaio, as amostras foram imersas em água. As peças foram ensaiadas em prensa para rompimento dos corpos de prova e a carga de ruptura foi fornecida por uma célula de carga. Foram rompidas seis amostras de cada traço.

Resultados e Discussão

Nos ensaios de granulometria dos agregados empregados na confecção das peças de concreto obtiveram-se as curvas granulométricas apresentadas na Figura 1.

Através do método de classificação disposto na NBR 7211 (ABNT, 1983), cada agregado foi classificado a partir de sua curva granulométrica. A areia artificial apresentou uma granulometria que se aproxima da brita 0. A areia 1 foi classificada como areia fina, enquanto que a areia 2 classificou-se como areia fina a média, pois enquadra-se no intervalo de transição da classificação de agregado miúdo fino e médio. Já o resíduo de pneu classificou-se como agregado miúdo médio.

Além disso, a análise granulométrica fornece a dimensão máxima característica e o módulo de finura de cada agregado, ambos sintetizados na Tabela 2, que também apresenta os resultados dos ensaios de massa específica e massa unitária. Os valores de massa unitária para as areias 1 e 2 e para areia artificial utilizados neste trabalho são os apresentados por Selung et al. (2013).

Figura 1: Análise Granulométrica dos Agregados Naturais e Artificial

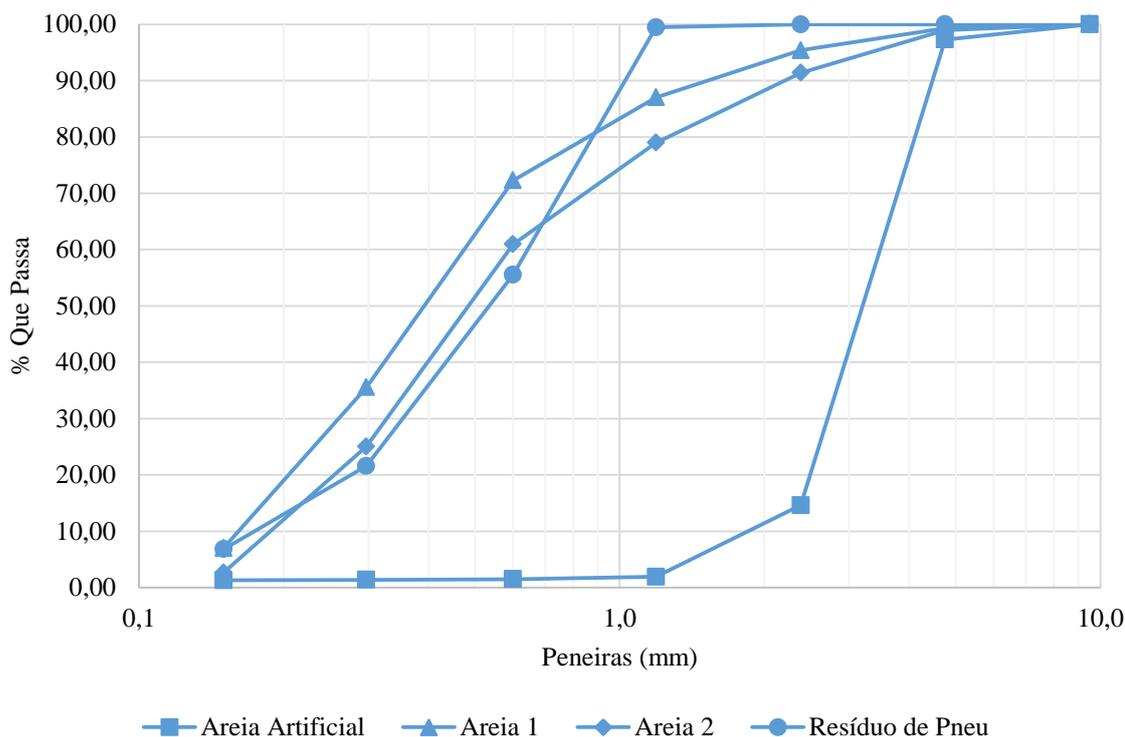


Tabela 2: Resultado dos ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária

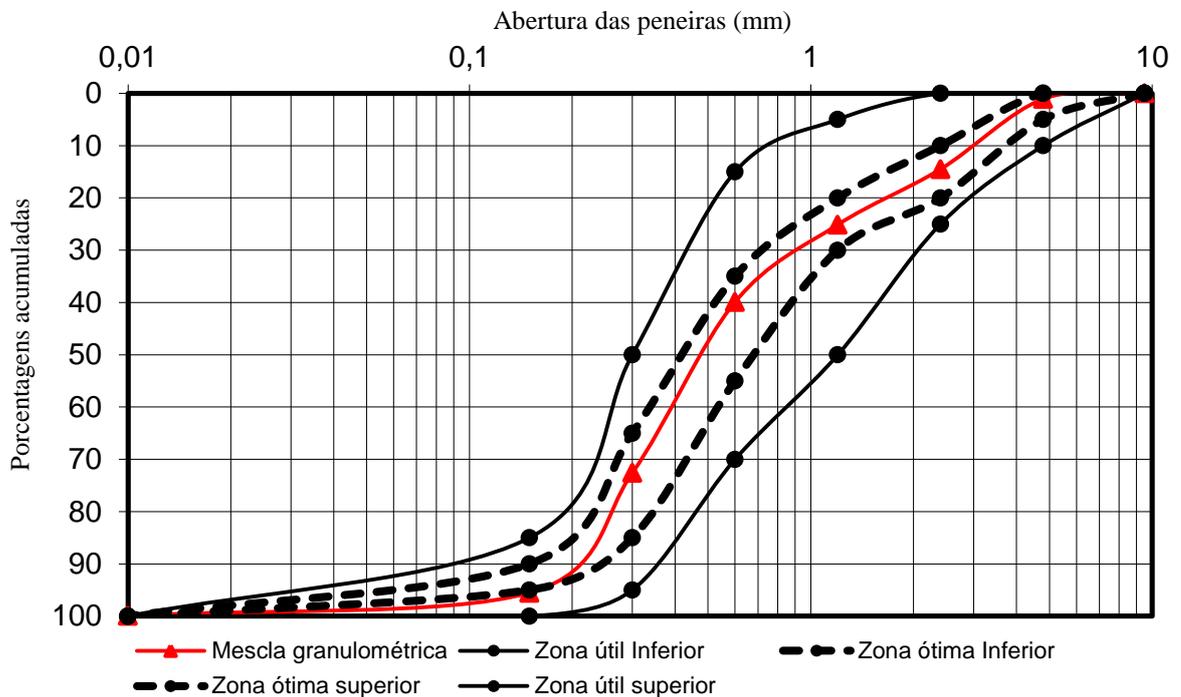
Agregado	Módulo de Finura	Dimensão Máxima Característica	Massa Específica (kg.dm ⁻³)	Massa Unitária (kg.dm ⁻³)
Areia Artificial	4,82	4,75	2,83	1,50
Areia 1	2,03	2,38	2,58	1,52
Areia 2	2,42	4,75	2,57	1,52
Resíduo de Pneu	2,17	1,19	1,20	0,46

Analisando os resultados encontrados para o resíduo de pneu, observa-se que estão coerentes com outras pesquisas realizadas. Santos e Borja (2005), por exemplo, encontraram valores de 0,41 kg.dm⁻³ e 1,61 kg.dm⁻³, de massa unitária e massa específica, respectivamente. Já Fioriti, Ino e Akasaki (2007) obtiveram valores de massa unitária e massa específica de, respectivamente, 0,348 kg. dm⁻³ e 1,09 kg.dm⁻³.

O cimento utilizado na confecção das peças de concreto para pavimentação foi o cimento CP V-ARI RS, da marca Votoran. De acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ (NBR 14725-4:2009), fornecido pelo fabricante, a massa específica absoluta do cimento varia de 2,8 à 3,2 kg.dm⁻³ enquanto que a massa específica aparente pode apresentar variação de 0,9 a 1,2 kg.dm⁻³, ambos à 20°C.

Conforme método descrito anteriormente, desenvolveu um traço referência para esta pesquisa. A proporção dos agregados ideal resultou em 45% para areia 1, 45% para a areia 2 e 10% para areia artificial. A curva granulométrica teórica desta mistura está representada na Figura 2.

Figura 2: Curva Granulométrica Teórica do traço referência



Desta forma, para a moldagem das peças de concreto foram utilizados os traços representados na Tabela 3. O resíduo de pneu foi acrescentado em substituição à areia 1, devido à proximidade da distribuição granulométrica de ambos os agregados. Portanto, à medida que o resíduo foi adicionado ao traço consequentemente a proporção de areia 1 diminuiu.

Tabela 3: Traços utilizados para moldagem das peças de concreto

Traço	Resíduo de pneu (%)	Traço					Água	Consumo de Cimento ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Teor de Umidade (%)
		Cimento	Areia 1	Areia 2	Areia Artificial	Resíduo de pneu			
T0	0	1	2,93	2,93	0,65	0	0,5	299,86	3,81
TI	1,0	1	2,86	2,93	0,65	0,065	0,5	297,34	4,14
TII	2,0	1	2,80	2,93	0,65	0,130	0,5	294,80	3,88

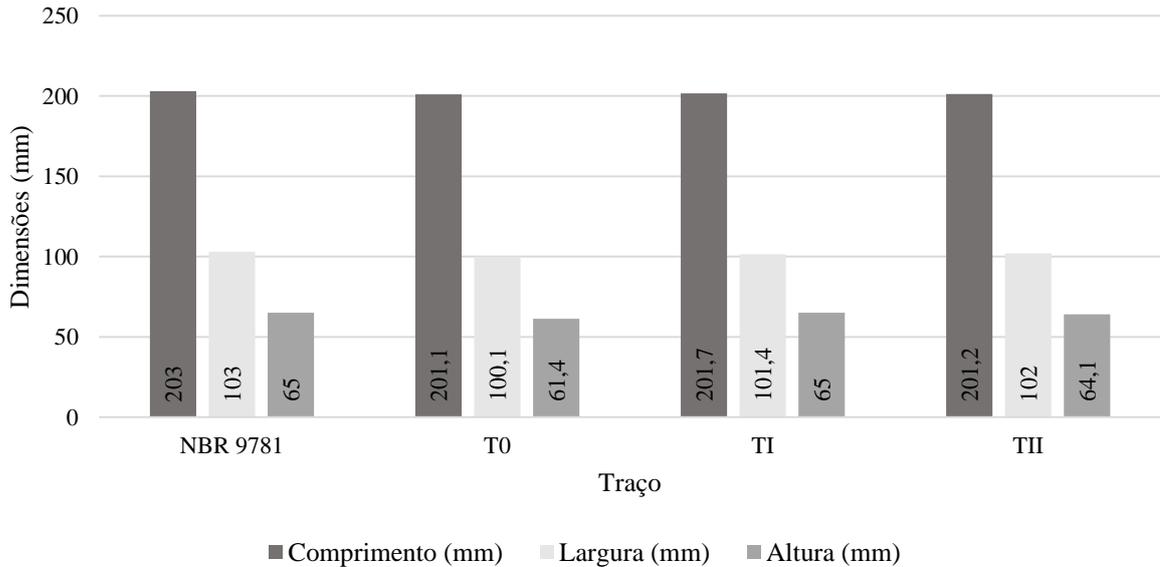
A análise dimensional das peças de concreto para pavimentação demonstrou que todas as peças estão em acordo com as exigências da NBR 9781, (ABNT, 1987). O resultado médio encontra-se sintetizado na Tabela 4.

Tabela 4: Análise dimensional das peças de concreto

Traço	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
NBR 9781	200 ± 3	100 ± 3	60 ± 5
T0	199,7	100,1	61,4
TI	199,9	100,1	62,2
TII	199,9	100,2	60,0

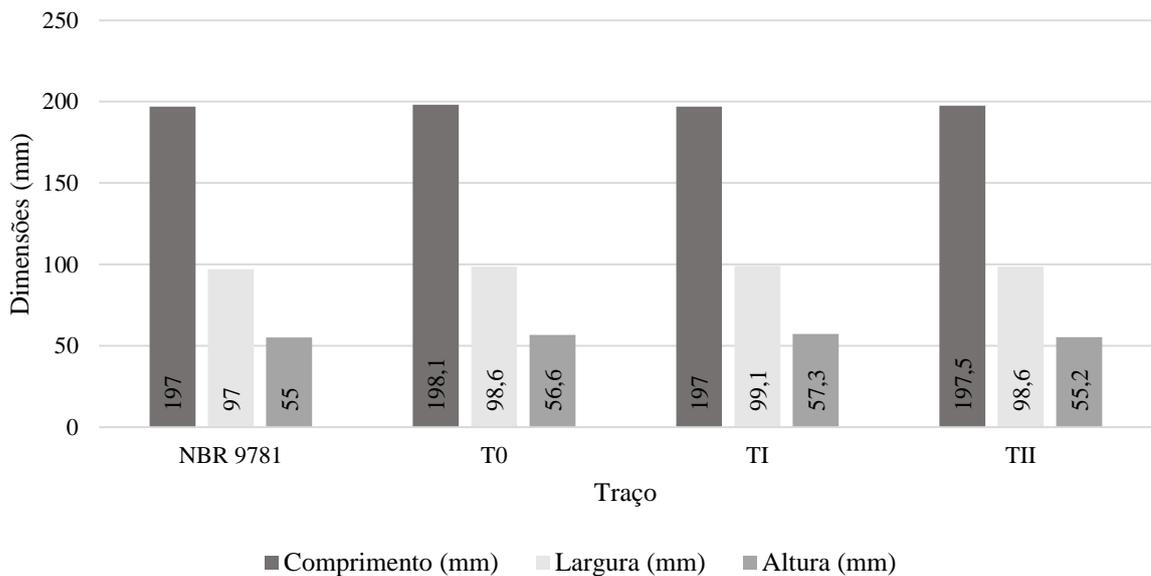
Ainda conforme a NBR 9781 (ABNT, 1987) mesmo considerando as dimensões máximas medidas nos traços (Figura 3), não houve nenhum traço em desconformidade com os valores admissíveis da norma. Todos estão dentro dos padrões estabelecidos e apresentam uniformidade nas medidas. Porém, no quesito largura o traço II destaca-se, pois obteve a média mais próxima ao limite estabelecido em norma, distanciando-se apenas 1 mm do valor admitido pela norma. E ainda em termos de altura, os traços I e II obtiveram resultados que se igualaram e aproximam-se, respectivamente dos valores admissíveis pela norma.

Figura 3: Dimensões máximas das peças de concreto



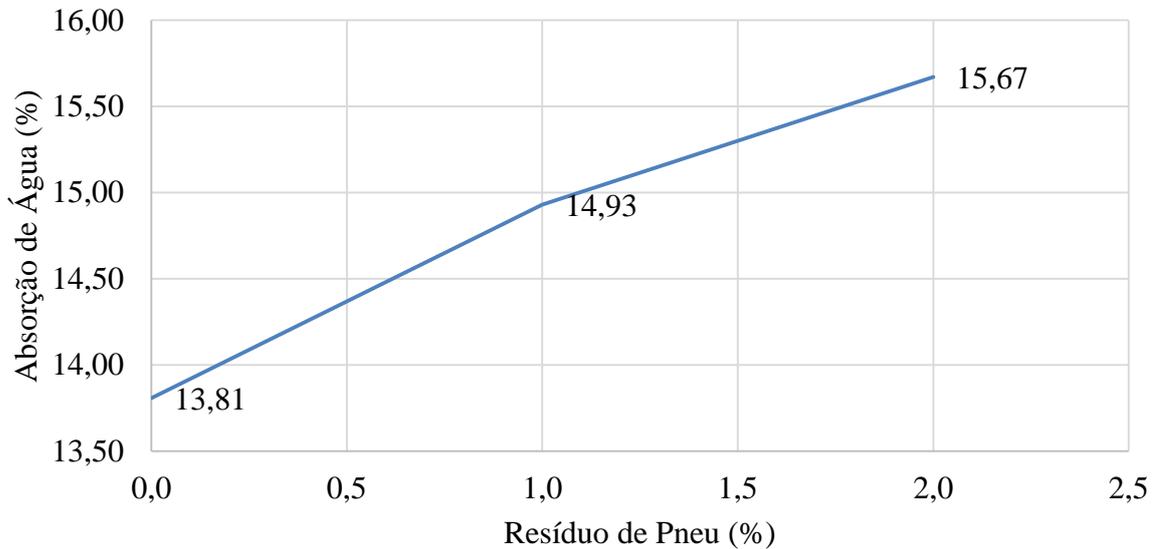
Já analisando as dimensões mínimas medidas nos traços (Figura 4), observa-se que no quesito altura, apesar de ainda estar dentro do limite mínimo, o traço II apresenta resultados de altura preocupantes, pois difere-se do limite em 0,2 mm. No comprimento, o traço I apresentou amostras com comprimento igual ao limite estabelecido.

Figura 4: Dimensões Mínimas das peças de concreto



Os resultados do ensaio de absorção estão representados na Figura 5. A tabela completa do ensaio encontra-se no Apêndice I neste trabalho. Os resultados demonstram que quanto maior a porcentagem de resíduo de borracha adicionada maior é a porcentagem de umidade absorvida.

Figura 5: Absorção de água das peças de concreto



Confirmando-se o esperado, a adição de resíduo de pneu foi responsável pelo aumento da absorção de água, uma vez que, o agregado é responsável por uma pior qualidade de compactação e maior teor de ar incorporado. Em relação ao traço referência T0 (sem adição de resíduo de pneu) os traços TI e TII apresentam um aumento na absorção de água de 8,1% e 13,5%, respectivamente. O aumento súbito da absorção de água do TI em relação ao T0 pode estar relacionado ao maior teor de umidade do traço TI, identificado na Tabela 3. A umidade relaciona-se com o número de poros permeáveis e impermeáveis, influenciando diretamente o ensaio de absorção. A influência do resíduo de pneu evidencia-se também no aumento do índice de vazios apresentado na Tabela 5, onde sintetizam-se também os demais resultados do ensaio de absorção.

Tabela 5: Índice de vazios e massa específica dos traços

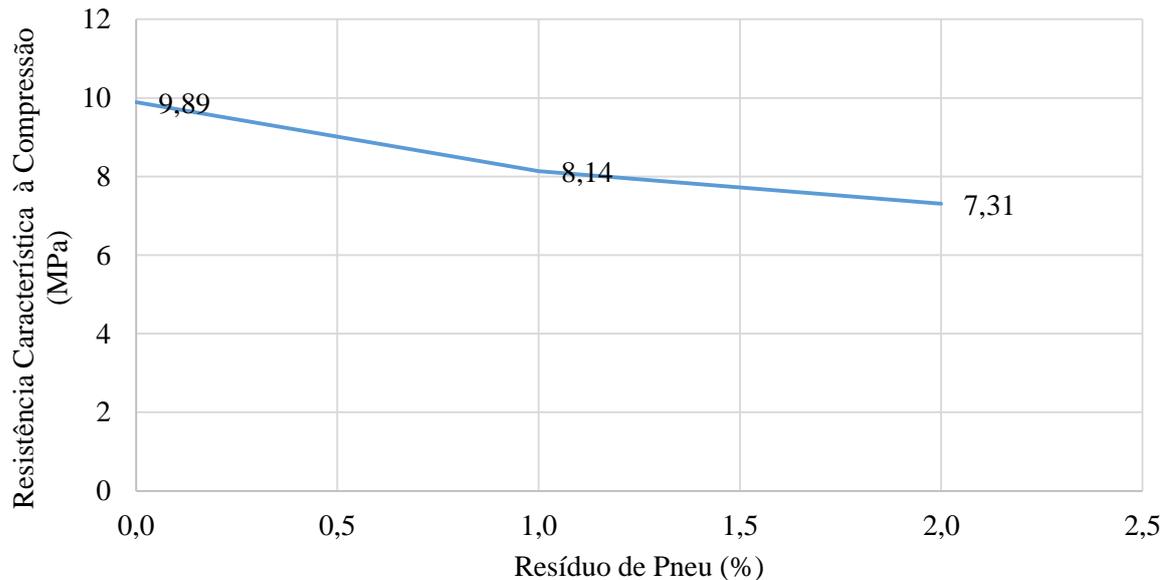
Traço	Índice de Vazios	Massa Específica da Amostra Seca (g.cm ⁻³)	Massa Específica da Amostra Saturada (g.cm ⁻³)	Massa Específica Real (g.cm ⁻³)
T0	27,03	1,96	2,23	2,68
TI	28,86	1,93	2,22	2,72
TII	29,72	1,90	2,19	2,70

A norma brasileira de peças de concreto para pavimentação não traz nenhuma especificação para a propriedade de absorção de água. Portanto, para fins de análise dessa propriedade foi utilizada a norma elaborada pela European Committee for Standardization (CEN), identificada como BS EN-1338 (2003): Concrete paving blocks – Requirement and tests methods. De acordo com as especificações da norma, a propriedade de absorção deve ter

um limite máximo de 6%. Dessa forma, nenhum dos traços confeccionados situou-se abaixo do limite máximo especificado, portanto não se enquadraram na especificação.

O ensaio de resistência à compressão também se comportou como esperado e já encontrado em outras pesquisas semelhantes. A adição do resíduo de pneu traz como consequência uma diminuição da resistência característica à compressão em relação ao traço referência T0 (Figura 6). A tabela completa com os resultados do ensaio de resistência à compressão encontra-se no Apêndice II neste trabalho.

Figura 6: Resistência à compressão das peças de concreto



Para os traços TI e TII, essa diminuição foi de 18% e 26%, respectivamente, na resistência à compressão em relação ao T0. A NBR 9781 estabelece que peças de concreto para pavimentação tenham resistência característica à compressão mínima de 35 MPa para solicitações de veículos comerciais de linha. Como se observa na Figura 6, não foi possível atingir a resistência mínima exigida, nem mesmo para o traço referência. Dessa forma, os valores inferiores de resistência à compressão obtidos impossibilitam o uso dessas peças de concreto para pavimentação, divergindo com resultados de outras pesquisas. Entretanto, vale ressaltar que a forma, a textura, a granulometria dos agregados e o processo de moldagem podem também exercer influência sobre a resistência à compressão.

Considerações Finais

Apesar das mais diversas pesquisas na área, ainda é possível afirmar que é preciso desenvolver melhor os conhecimentos acerca do comportamento dos resíduos de pneu incorporados na produção de peças de concreto para pavimentação. Esse trabalho buscou estudar a viabilidade técnica da confecção de peças de concreto para pavimentação intertravada com a utilização de borracha proveniente da recauchutagem de pneus, em substituição parcial dos agregados, e materiais encontrados na região oeste do Estado de Santa Catarina. Diferentes teores de resíduo de pneu foram adicionados às peças de concreto, sendo construídos traços com 1% e 2% de resíduo de pneu, em massa.

De modo geral conclui-se que as peças de concreto confeccionadas a partir do traço elaborado não possuem viabilidade técnica para pavimentação de vias com solicitações de

veículos. Por outro lado, as mesmas poderiam ser utilizadas em pavimentos para circulação de pedestres.

O objetivo esperado desse trabalho era contribuir com uma disposição final desse resíduo poluidor que é o resíduo de pneu, e que muitas vezes não tem alternativas de disposição final adequadas. O intuito era aliar uma disposição final adequada ao resíduo e diminuição da extração de agregados naturais para construção civil, dois problemas ambientais que ainda precisam ser alvos de muitos estudos e pesquisas para minimizá-los, afim de que se possa haver um desenvolvimento econômico sustentável.

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização do ensaio de lixiviação das peças de concreto, a fim de garantir que o material não será um eventual poluidor. Além disso, sugere-se a realização de estudos dos efeitos de diferentes tipos de cura nas propriedades mecânicas e de durabilidade das peças de concreto para pavimentação com resíduo de pneu. Adicionalmente, sugere-se a realização de um estudo de viabilidade econômica da utilização de resíduos de pneus para confecção de peças de concreto para pavimentação, uma vez que, o fator econômico pode ser decisivo para a produção industrial do produto.

USE OF WASTE RUBBER TIRE IN THE MANUFACTURE OF CONCRETE BLOCKS FOR INTERSPERSED PAVING

Abstract

In order to contribute to a better utilization of rubber waste tires generated in the retreading process, this work was developed with the aim to evaluate which the addition of waste rubber ideal for making parts for concrete interlocking paving tire using waste and aggregates found in the western region of the State of Santa Catarina. Thus, were made concrete blocks with addition of waste rubber in proportions of 1 % and 2 % relative to the total mass of aggregates, which were compared to molded parts with a reference mark were made without residue. Samples of parts for all paving concrete mixtures were subjected to dimensional and assayed for the determination of the water absorption and resistance to compression analysis. The results show the direct influence of waste tires on the properties of water absorption and resistance to compression. The first showed an increase of 11.0 % and 16.5 % for traces with 1 % and 2 % of waste tires, respectively. Since the compressive strength has decreased from 18.0 % to 26.0 % with a gradual increase in waste tires. However, the use of waste tires did not influence the size of the pieces of concrete paving, since all showed good physical appearance.

Keywords: Waste tire rubber. Concrete. Interlocking paving.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Conteúdo. Imprensa. Banco de Pautas. Pavimento Intertravado alia durabilidade e estética. 2012. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pavimento-intertravado-alia-durabilidade-e-estetica#.U6tzmvldWX8>>. Acesso em: 20 maio 2014.

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

_____. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 7211: Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005 – Corrigida em 2009

_____. NBR 9780: Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência à compressão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO SEGMENTO DE REFORMA DE PNEUS (ABR). Dados do segmento. 2013. Disponível em: <<http://www.abr.org.br/dados.html>>. Acesso em: 26 maio 2014.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução N° 416, de 01 de Outubro de 2009. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>>. Acesso em: 15 maio

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). BS EN-1338: Concrete paving blocks – Requirement and tests methods. 2003.

FIORITI, Cesar Fabiano. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneu como material alternativo. 2007. Tese (Título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-27092007-184727/pt-br.php>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

FIORITI, Cesar Fabiano; INO, Akemi; AKASAKI, Jorge Luis. Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. **Revista online da ANTAC: AC – Ambiente Construído**, v. 7, n.4, 2007. Disponível em:

<<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3753/2106>>. Acesso em: 03 abr. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). Estatísticas. Economia Mineral Brasileira. Informações e análises da economia mineral Brasileira. 7 ed. 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/>>. Acesso em: 15 maio 2014.

MATTOS, Guilherme Bender Cunha; RAMIRES, Marcus Vinicius Veleda. Adição de resíduo de indústria petroquímica na fabricação de bloco de concreto intertravado para pavimentação. In: XXV SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS, 2013, Porto Alegre. **Anais...** . Porto Alegre: UFRGS, 2013. Disponível em:

<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/91300/Resumo_29020.pdf?sequence=1>. Acesso em: 7 maio 2014.

MELLONE, G.; SANTOS, M.R; SHIBAO, F.Y. Pavimentação de rodovias com a utilização de resíduos de pneus inservíveis. **Revista Eletrônica Gestão e Serviços**, vol. 3, n.2/v.4 n.1. Jan/Jun 2013. Disponível em: <<https://www.metodista.br/revistas/revistas-metodista/index.php/REGS/article/view/3547/3547>>. Acesso em 30 abr. 2014.

OLIVEIRA, Caroline de; MENEGOTTO, Mauro Leandro. Utilização de resíduos de borracha de pneu para confecção de blocos de concreto para pavimentação. Anais do SEPE – Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFFS, vol. IV, 2014. Disponível em:<<https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/SEPE-UFFS/article/view/1445/1401>>. Acesso em: 28 set. 2014.

PEDRO, Diogo; BRITO, Jorge; VEIGA, Rosário. Argamassas fabricadas com materiais finos provenientes da trituração de pneus. **Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 19. Editora Dunas, 2012. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art6_N19.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2014.

SANTOS, Ana L. T. Plano de Gerenciamento do pneu-resíduo: Metodologia. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000294957>>. Acesso em: 19 set. 2014.

SANTOS, Cassiano Rossi dos. **Estudo da utilização de rejeitos de carvão mineral na fabricação de blocos de concreto para pavimentação em substituição ao agregado miúdo natural**. 2012. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/75760>>. Acesso em: 7 maio 2014.

SANTOS, Eylisson A; BORJA, Edilberto Vitorino. Investigação experimental de traços para blocos de concreto para alvenaria de vedação com adição de resíduos de pneus reciclados. **Revista HOLOS**. v. 1, 2005. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/57/63>>. Acesso em: 03 Abr. 2014.

SELLITO, M.A; KADEL JR, N; BORCHARDT, M. et al. Coprocessamento de cascas de arroz e pneus inservíveis e logística reversa na fabricação de cimento. **Ambiente e sociedade**, vol. XVI, n. 1. São Paulo. Jan/mar/2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v16n1/a09v16n1.pdf>>. Acesso em 30 maio 2014.

SELUNG, Catiane et al. Avaliação de blocos de concreto para alvenaria com adição de resíduos de borracha de pneu. **HOLOS Environment (Online)**, v. 13, n. 2, 2013. ISSN: 1519-8634 (ON-LINE). Qualis-anais: B4 (nacional). Disponível em: <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/holos/article/view/6518/5704>>. Acesso em: 19 set. 2014.

SOUSA, Maressa Soares de; OLIVEIRA, Iara Silvia Rodrigues de; CABRAL, Adeildo da Silva. Utilização do resíduo de desemborrachamento de pistas de aeronaves na produção de blocos de concreto para pavimentação. In: Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólidos, 2., 2010, João Pessoa. **Anais...** . João Pessoa: UFPB, 2010. p. 1 - 8. Disponível em: <[http://www.redisa.uji.es/artSim2010/Gestao/Utilização do resíduo de desemborrachamento](http://www.redisa.uji.es/artSim2010/Gestao/Utilizacao%20do%20residuo%20de%20desemborrachamento)>

de pistas de aeronaves na produção de blocos de concreto para pavimentação.pdf>. Acesso em: 07 maio 2014.

VOTORANTIN CIMENTOS. Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico – FISPQ. Disponível em: <<http://www.vcimentos.com.br/htms-ptb/Produtos/FISPQ.htm>>. Acesso em 30 out. 2014.

APÊNDICE I – RESULTADO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

% Pneu	AMOSTRA	Massa Seca (g)	Massa imersa (g)	Massa saturada (g)	Absorção (%)		Índice de Vazios		Massa Específica da Amostra Seca (g/cm ³)		Massa Específica da Amostra Saturada (g/cm ³)		Massa Específica Real (g/cm ³)	
0	T0 1	2367,8	1471,04	2695,12	13,82	13,81	26,74	27,03	1,93	1,96	2,20	2,23	2,64	2,68
	T0 2	2363,05	1495,01	2687,55	13,73		27,21		1,98		2,25		2,72	
	T0 3	2110,4	1325,4	2403,01	13,87		27,15		1,96		2,23		2,69	
1	TI 1	2264,42	1430,8	2596,58	14,67	14,93	28,49	28,86	1,94	1,93	2,23	2,22	2,72	2,72
	TI 2	2095,31	1324,9	2409,76	15,01		28,99		1,93		2,22		2,72	
	TI 3	2254,03	1423,73	2594,62	15,11		29,09		1,93		2,22		2,71	
2	TII 1	2086	1313,16	2409,41	15,50	15,67	29,50	29,72	1,90	1,90	2,20	2,19	2,70	2,70
	TII 2	2148,6	1351,57	2476,54	15,26		29,15		1,91		2,20		2,70	
	TII 3	2016,8	1269,79	2344,63	16,25		30,50		1,88		2,18		2,70	

APÊNDICE II – RESULTADO DO ENSAIO DE RESITÊNCIA À COMPRESSÃO

Amostras	Carga de Ruptura (N)	Área (m ²)	Fator Multiplicativo Devido à Altura	Resistência à Compressão (MPa)	Média	Desvio Padrão	t (n=6)	Resistência Característica à Compressão (MPa)
T0 1	68620	0,0063617	0,95	10,2471	10,8080	0,9954	0,9200	9,89
T0 2	77310	0,0063617	0,95	11,5447				
T0 3	81760	0,0063617	0,95	12,2093				
T0 4	66370	0,0063617	0,95	9,9111				
T0 5	65140	0,0063617	0,95	9,7274				
T0 6	75060	0,0063617	0,95	11,2087				
TI 1	68810	0,0063617	0,95	10,2754	9,7082	1,7051	0,9200	8,14
TI 2	80700	0,0063617	0,95	12,0510				
TI 3	53090	0,0063617	0,95	7,9280				
TI 4	55070	0,0063617	0,95	8,2236				
TI 5	57610	0,0063617	0,95	8,6029				
TI 6	74790	0,0063617	0,95	11,1684				
TII 1	53220	0,0063617	0,95	7,9474	8,1564	0,9167	0,9200	7,31
TII 2	64170	0,0063617	0,95	9,5825				
TII 3	57830	0,0063617	0,95	8,6358				
TII 4	54580	0,0063617	0,95	8,1505				
TII 5	45730	0,0063617	0,95	6,8289				
TII 6	52190	0,0063617	0,95	7,7936				