

# ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA UTILIZAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E RESÍDUOS DE PNEUS INSERVÍVEIS NA CONFECÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Silvia Paula Sossai Altoé (UTFPR) silviasossai@hotmail.com  
Carlos Humberto Martins (UEM) chmartins@uem.br

**Resumo:** O aproveitamento de resíduos industriais como matéria prima no setor da construção civil vem sido discutido de forma exaustiva pelas mais diversas linhas de pesquisa, uma vez que o setor demonstra ter grande potencial para absorver os mais diferentes tipos de resíduos dos mais variados processos produtivos. Este trabalho tem como objetivo o estudo da potencialidade da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar e do resíduo de pneus inservíveis na substituição de agregado miúdo na confecção de *pavers*, sujeitos à solicitações leves. Para atingir este objetivo a metodologia adotada compreende etapas como: a caracterização dos resíduos a serem utilizados, confecção de blocos de concreto para pavimentação com diferentes teores de substituição parcial de agregado miúdo, determinação das principais características dos blocos de concreto para pavimentação (resistência à compressão, absorção de água, resistência à abrasão e micrografia eletrônica de varredura). A análise dos resultados obtidos parte do princípio da comparação entre os resultados obtidos nos ensaios do traço sem a substituição de agregado miúdo e dos diferentes traços obtidos com os teores de substituição adotados. A CBC mostrou-se um resíduo viável para a substituição do agregado miúdo na fabricação dos *pavers*, por apresentar uma melhora expressiva das características analisadas em relação a traço sem este resíduo. Já os resíduos de pneus não apresentaram resultados que justifiquem tal substituição, porém em utilização composta, ou seja, somado à CBC, os concretos obtiveram resultados satisfatórios. Mais estudos devem ser realizados visando a aplicação destes resíduos em concretos e artefatos.

**Palavras-chave:** *pavers*, cinza do bagaço de cana-de-açúcar, resíduo de pneu, reciclagem.

## POTENTIAL STUDY OF MARC USAGE ASH CANE SUGAR AND WASTE TIRES IN CONCRETE BLOCK MAKING FOR PAVING

**Abstract:** The use of industrial waste as raw material in the construction industry has been discussed exhaustively by several lines of research, as the sector shows a high potential to absorb more different types of waste from various processes. This work aims to study the potential use of sugarcane bagasse ash and waste unserviceable tires in the replacement of fine aggregate in the production of pavers, subject to minor requests. To achieve this goal the methodology includes steps such as: waste characterization to be used, construction of concrete block paving with different levels of partial replacement of fine aggregate, determination of the main characteristics of concrete block paving (compressive strength, water absorption, abrasion resistance and scanning electron micrograph). The results obtained on the principle of comparing the test results obtained trace without replacement and aggregate mixtures obtained with the various levels of substitution adopted. The CBC showed a residue viable replacement for aggregate in the manufacture of pavers, it presents a significant improvement of the characteristics analyzed for trace without this residue. Already waste tires showed no results to justify such a substitution, but composed in use, added to CBC, the concrete satisfactory results. More studies are needed in order to implement such waste in concrete and artifacts.

**Keywords:** *pavers*, sugarcane bagasse ash, waste tire recycling.

### 1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da indústria da construção civil, principalmente, nos países em desenvolvimento, é atender as necessidades da sociedade como um todo no que se refere às melhorias e ampliações do ambiente construído, seja na forma de moradia, edificações públicas e infraestrutura, com um emprego cada vez menor de recursos naturais (CHAMBERS; CHEN, 1999 apud JOHN, 2000).

Uma solução apontada por diversos pesquisadores é a reciclagem de resíduos industriais, segundo John (2000) a primeira e mais visível contribuição da reciclagem é a

preservação dos resíduos naturais. Uma vez que se estes forem substituídos por resíduos pode-se afirmar que ocorrerá uma prolongação da vida útil das reservas naturais e uma redução da destruição da paisagem, flora e fauna.

No Brasil, várias medidas legais vem sendo tomadas para incentivar a reciclagem e ao mesmo tempo punir atitudes que levem a qualquer tipo de degradação ambiental envolvendo os mais diferentes setores produtivos. O último instrumento legal aprovado foi a Lei n.º 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, sancionada em 2 de agosto de 2010. Esta lei está baseada em uma tendência mundial de não geração, no reaproveitamento, na reutilização e na reciclagem dos resíduos gerados, e dispõe sobre as diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos, as responsabilidades tanto dos geradores quanto do poder público e sobre também os instrumentos econômicos aplicáveis.

A nova legislação brasileira está pautada nos princípios de prevenção e precaução, no desenvolvimento sustentável, na eficiência e na responsabilidade compartilhada, para tanto a mesma estabelece instrumentos legais para que as práticas estabelecidas por ela sejam realmente postas em ação, além disto, são previstos incentivos à pesquisa e às atividades que possam de uma forma ou de outra contribuir para os objetivos definidos.

Juntamente com a aprovação da Lei n.º 12.305/2010 surgem mais oportunidades e incentivos às pesquisas, uma vez que esta é uma determinação legal, assim o que já vinha sendo realizado quanto ao aproveitamento de resíduos sólidos na indústria da construção civil deve ser intensificado, e esta é a proposta deste trabalho, a busca de alternativas para a utilização de resíduos sólidos de outros setores como matéria prima na construção civil. Para tanto serão utilizados dois tipos de resíduos originados de diferentes setores industriais: a cinza do bagaço da cana-de-açúcar e os resíduos de pneus inservíveis.

Este trabalho tem como objetivo o estudo da potencialidade da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) e do resíduo de pneus inservíveis na substituição de agregado miúdo na confecção de blocos de concreto para pavimentação (pavers) sujeitos à solicitações leves.

Tanto a cinza do bagaço da cana-de-açúcar quanto o resíduos de pneus inservíveis são resíduos que tem tempo de decomposição lenta, e que normalmente ocupam grande volume em aterros, ou ainda, são lançados inadequadamente e de forma indiscriminada no ambiente, contaminando o solo, o ar e a água, além de trazer sérios riscos à saúde da população. Anualmente grandes quantidades destes resíduos são geradas, conforme números mostrados a seguir:

Segundo a ANIP - Associação Nacional das Indústrias Pneumáticas (2011) cerca de 22 milhões de pneus são trocados anualmente no país. Desse montante, 46,8% são pneus usados que podem retornar ao mercado para serem ainda utilizados nos veículos ou submetidos a algum tipo de reforma, e 53,2% são pneus inservíveis, que não têm mais utilização veicular. Com relação aos pneus inservíveis, 26,5% têm destinação ambientalmente adequada e regulamentada, transformando-se em combustível de fábricas de cimento, solados de sapatos e tapetes para carros, restando assim cerca de 2,9 milhões de pneus, ou seja, aproximadamente 42 toneladas de resíduos de pneus, destinados de forma inadequada.

No processo de beneficiamento da cana-de-açúcar o maior subproduto gerado é o bagaço da cana-de-açúcar, utilizado em larga escala como combustível em caldeiras para geração de energia que resulta em uma cinza pesada e volante. Se for levado em consideração que a se for levado em consideração a safra 2012/2013 com um montante de 588,915 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, e que todo o bagaço seria utilizado como fonte de energia

seriam, então, produzidas aproximadamente 3,6 milhões de toneladas de cinza. O estado do Paraná é responsável por aproximadamente 7% desta produção, processadas em 30 usinas e destilarias de açúcar e álcool (CONAB, 2012).

A utilização de resíduos na construção civil vem ao encontro da necessidade do setor de diminuir os impactos ambientais por ele causados, segundo John (2000), atualmente se estima que a indústria da construção civil, seja responsável por 20 a 50% do consumo dos recursos naturais extraídos do planeta. Contudo, pesquisas apontam que a utilização de diferentes resíduos como matéria prima na construção civil pode vir a reduzir a quantidade de recursos naturais extraídos anualmente. No caso da proposta apresentada o resíduo é reaproveitado através substituição parcial da areia empregada na confecção de concretos, o que contribuiria para diminuição da extração deste material de forma irregular nos rios, evitando assim a degradação do ecossistema local, devido ao assoreamento causado durante o processo.

Do ponto de vista técnico várias pesquisas já foram realizadas com ambos resíduos obtendo grande sucesso e mostrando assim a viabilidade da aplicação destes como matéria prima para o setor da construção civil, como por exemplo:

- A substituição de cimento em torno de 20% por cinza de bagaço de cana-de-açúcar, queimada em temperaturas inferiores a 700°C, em concretos é perfeitamente viável, uma vez que a mesma não apresenta nenhum efeito adverso às propriedades do concreto, além disto, algumas vantagens específicas podem ser enumeradas: o desenvolvimento de alta resistência inicial, redução à permeabilidade da água e uma considerável resistência à permeabilidade e difusão de cloretos. Porcentagens inferiores apresentam um aumento da resistência à compressão em relação ao traço referência, principalmente nas primeiras idades. Este comportamento se deve à presença de sílica amorfa e ao tamanho das partículas da cinza (GANESAN, RAJAGOPAL E THANGAVEL, 2007)

- A cinza do bagaço da cana-de-açúcar, quando adicionada ao concreto em substituição da areia, em porcentagens em torno de 25%, contribui para o aumento da resistência à compressão do concreto, além disto, devido ao grande teor de finos a mesma proporciona um concreto menos permeável, o que aumenta a expectativa de sua vida útil (MARTINS E MACHADO 2010)

- O resíduo de pneu tem se mostrado viável na aplicação de concretos com baixas resistências, normalmente aplicados em elementos de pavimentação. Isto se dá pela redução da resistência a compressão observada em várias pesquisas (GRANZOTTO, 2010).

- A utilização de borracha de pneu em blocos intertravados para pavimentos é bastante discutida, os resultados obtidos nas experimentações indicam que o uso de blocos intertravados com resíduos de pneus pode ser feito em ambientes com solicitações leves, como, por exemplo, em calçadas, praças, ciclovias e condomínios residenciais. Tem-se como indicativo de melhores resultados, avaliando-se todos os ensaios, o percentual de 8 a 12% de resíduos a ser adicionado no concreto dos blocos intertravados, com consumo de cimento em torno de 325 kg/m<sup>3</sup> (FIORITI, INO E AKASAKI, 2010).

Um ponto comum das diferentes pesquisas é que a cinza do bagaço da cana-de-açúcar quando utilizada em substituição parcial do agregado miúdo faz com que o concreto ou argamassa tenha um ganho significativo na resistência à compressão, em contrapartida uma das desvantagens apresentadas pelo resíduo de pneu inservível quando empregado em concretos e argamassa é justamente a redução da resistência à compressão. Portanto, na tentativa de causar um efeito compensatório, a proposta deste trabalho é a utilização dos dois

resíduos juntos, melhorando assim as propriedades do produto final, tornando-o mais atrativo para posteriores aplicações.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

#### 2.1.1. Aglomerante

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o CP V ARI, da marca Cauê, já que este é o mais utilizado pelos fabricantes de pavers. As características obtidas junto ao fabricante constam da Tabela 01 e atendem as normas brasileiras com relação ao limite mínimo de qualidade.

Tabela 01 – Características do Cimento CP V ARI

Item de Controle	Unidade	Dados do Fabricante	NBR 5737/ NBR 5733
Resistência 24 horas	MPa	28	> 14
Resistência 3 dias	MPa	39	> 24
Resistência 7 dias	MPa	44	> 34
Resistência 28 dias	MPa	51	-
Blaine	cm <sup>2</sup> /g	5100	> 3000
Início de pega	Min	160	> 60
Fim de pega	Min	270	< 600

Fonte: Cauê, 2011

#### 2.1.2. Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia média proveniente de fornecedores da região de Maringá. Para uma primeira caracterização pode-se dizer que o material tem origem de quartzo.

#### 2.1.3. Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado na confecção dos blocos é proveniente da região de Maringá. Para uma primeira caracterização este material é definido como brita zero granítica, com diâmetro entre 4,8 e 9,5 mm, comercialmente conhecido como Pedrisco.

#### 2.1.4. Água

Para o amassamento do concreto foi adicionada à mistura água potável, proveniente da rede de abastecimento de água da cidade de Maringá, fornecida pela Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR.

#### 2.1.5. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC)

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar utilizada na pesquisa é proveniente da usina termoeletrica da COCAMAR Cooperativa Agroindustrial localizada cidade de Maringá, com temperatura de queima de 850°C.

#### 2.1.6. Resíduos de Pneus Inservíveis

Os resíduos de pneus inservíveis utilizados na pesquisa foram fornecidos pela empresa Borrachas SS, localizada na cidade de Maringá, que recebe pneus inservíveis de toda a região. Na pesquisa foram utilizados resíduos na forma de pó de pneu, proveniente da raspagem de carcaças de pneus de caminhões, este resíduo já é fornecido nesta granulometria, uma vez

que, na empresa fabricante os pneus inservíveis passam por um processo de separação, trituração e peneiração, onde a borracha é separada dos demais componentes dos pneu.

## 2.2. Método

### 2.2.1. Caracterização dos resíduos

#### 2.2.1.1. CBC

A CBC foi caracterizada de acordo com os seguintes parâmetros:

- Análise Granulométrica - ANBT NBR 7181:1984,
- Massa Específica e Teor de Umidade - ABNT NBR 6508:1984,
- Lixiviação, Solubilização e Classificação do resíduo - ABNT NBR 10005:2004, ABNT 10006:2004, ABNT NBR 10004:2004.

#### 2.2.1.2. Resíduo de Pneus Inservíveis

Os resíduos de pneus foram caracterizados de acordo com os seguintes parâmetros:

- Análise Granulométrica – ABNT NBR NM 248:200,
- Massa específica e Teor de Umidade - ABNT NBR 6508:1984,
- Massa Unitária - ABNT NBR NM 45:2006,
- Lixiviação, Solubilização e Classificação do resíduo - ABNT NBR 10005:2004, ABNT 10006:2004, ABNT NBR 10004:2004.

### 2.2.2. Dosagem e moldagem dos pavers

Os pavers foram fabricados de acordo com o traço desenvolvido por Amadei (2011), para chegar ao traço ótimo foi utilizado o Método IPT/EPUSP adaptado por Helene e Terzian (1992) para concretos secos. O traço utilizado é da ordem de 1:4, com consumo de cimento de 437 kg/m<sup>3</sup>, fator a/c 0,42. Os teores de substituição constam da Tabela 02.

Tabela 02 – Teores de Substituição

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO (%)			
TRAÇO	PNEU	CBC	
T0	0%	0%	0%
T1	5%	0%	5%
T2	5%	5%	0%
T3	10%	0%	10%
T4	10%	5%	5%
T5	10%	10%	0%
T6	15%	0%	15%
T7	15%	5%	10%
T8	15%	10%	5%
T9	20%	0%	20%
T10	20%	5%	15%
T11	20%	10%	10%
T12	25%	0%	25%
T13	25%	5%	20%
T14	25%	10%	15%

A moldagem dos pavers foi realizada na Fábrica de Artefatos de Concreto da Universidade Estadual de Maringá, utilizando uma vibro-prensa pneumática. As dimensões das peça são (195x95x8)mm, condicionadas pelas fôrmas utilizadas na fábrica.

### *2.2.3. Propriedades dos Pavers*

#### *2.2.3.1. Resistência Mecânica*

Conforme previsto na ABNT NBR 9781:2013 e seguindo a metodologia estabelecida na ABNT NBR 9780:1987 os pavers fabricados com diferentes teores de substituição foram ensaiados à compressão, a fim de determinar a resistência característica estimada à compressão de cada traço. Para o ensaio de resistência à compressão foram fabricados 12 pavers, 6 para cada uma das idades, 7e 28 dias, para cada traço definido, totalizando 180 pavers.

#### *2.2.3.2. Absorção de água*

O ensaio realizado baseou-se na ABNT NBR 9781:2013, uma vez que não existe um ensaio específico para pavers. Para o ensaio foram utilizados 3 pavers para cada traço na idade de 28 dias.

#### *2.2.3.3. Ensaio de resistência à abrasão*

O método utilizado para a determinação da abrasão dos pavers, foi o Método CIENTEC, disponibilizado no Rio Grande do Sul. Foram ensaiados 1 paver para cada traço com idade de 28 dias.

#### *2.3.3.4. Micrografia Eletrônica de Varredura.*

Com o objetivo de analisar a microestrutura do concreto nos diferentes traços fabricados foram coletadas amostras de superfície de fratura dos pavers rompidos nos ensaios de resistência à compressão com idade de 28 dias para serem submetidas à microscopia de varredura eletrônica (MEV). O ensaio foi realizado no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da Universidade Estadual de Maringá.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1. Caracterização dos Resíduos**

#### *3.1.1. CBC*

Quanto a classificação granulométrica a CBC de acordo com a ABNT NBR 6502:1995 se enquadra nas areias médias, ou seja, mais de 50% da cinza ficou retida na peneira 0,200 mm. A massa específica do material é de 2,66 g/cm<sup>3</sup>, muito próxima da areia utilizada para a fabricação dos pavers.

Os valores do ensaio do extrato lixiviado se mantiveram dentro dos parâmetros estabelecidos pelo Anexo F da ABNT NBR 10004:2004, classificado assim a CBC como um resíduos “NÃO PERIGOSO”. Alguns dos resultados para solubilização, encontrarem-se acima do permitido pela NBR 10004:2004 em seu Anexo F, por isto, este resíduo é enquadrado na classe dos não-inertes. Dessa forma, de acordo com a NBR 10004, todas as amostras de CBC analisadas podem ser classificadas, pelos parâmetros ora apresentados, como “Resíduo Não perigoso – Classe II A – Não inerte”. Os resíduos com tal classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

#### *3.1.2. Resíduos de Pneus Inservíveis*

A classificação granulométrica dos resíduos de pneus de acordo com a ABNT NBR 7211:2009 é enquadrada nas areias médias, com diâmetro máximo de 1,2mm. A massa específica do material é de 0,43 g/cm<sup>3</sup>, o que justifica o baixo peso das peças produzidas com este resíduo.

Os valores do ensaio do extrato lixiviado se mantiveram dentro dos parâmetros estabelecidos pelo Anexo F da ABNT NBR 10004:2004, classificado assim a CBC como um resíduo “NÃO PERIGOSO”. Alguns dos resultados para solubilização, encontram-se acima do permitido pela NBR 10004:2004 em seu Anexo F, por isto, este resíduo é enquadrado na classe dos não-inertes. Dessa forma, de acordo com a NBR 10004, todas as amostras do Resíduo de Pneus Inservíveis analisadas podem ser classificadas, pelos parâmetros ora apresentados, como “Resíduo Não perigoso – Classe II A – Não inerte”. Os resíduos com tal classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água

### 3.2. Propriedade dos Pavers

#### 3.2.1. Resistência à compressão

A Tabela 03 traz os resultados dos ensaios de resistência à compressão.

Tabela 031– Resistência à Compressão média e característica

TRAÇO	7 DIAS		28 DIAS	
	Fp (MPa)	Fpk (MPa)	Fp (MPa)	Fpk (MPa)
T0	28,9	27,73	36,8	31,23
T1	25,03	23,45	32,46	30,83
T2	11,8	10,64	17,51	14,82
T3	29,98	27,53	37,77	36,11
T4	20,99	19,71	25,07	23,27
T5	5,84	4,99	7,92	6,86
T6	22,42	19,45	38,11	35,94
T7	18,34	17,64	21,64	20,47
T8	12,01	11,28	15,33	14,23
T9	24,46	21,09	38,46	37,70
T10	15,09	14,49	20,94	15,17
T11	7,49	7,13	12,42	10,31
T12	34,8	34,2	39,53	39,09
T13	11,72	11,96	15,87	15,12
T14	9,59	8,78	12,9	12,21

Os resultados dos pavers fabricados somente com CBC indicam que com o aumento do teor de substituição ocorre um aumento significativo na resistência à compressão (Figura 01). Conforme pode ser observado na Tabela 03 o traço que apresentou melhor resultado de resistência característica estimada à compressão foi o Traço T12, com 25% de substituição da areia por CBC, com valor de 39,09 MPa. Este traço apresentou um acréscimo de resistência de 25,17% em relação ao traço referência. É importante ressaltar que os traços T3, T6, T9 e

T12, alcançaram valores superiores ao exigido na ABNT NBR 9781:2013, permitindo assim a sua utilização em vias onde trafegam veículos comerciais de linha.

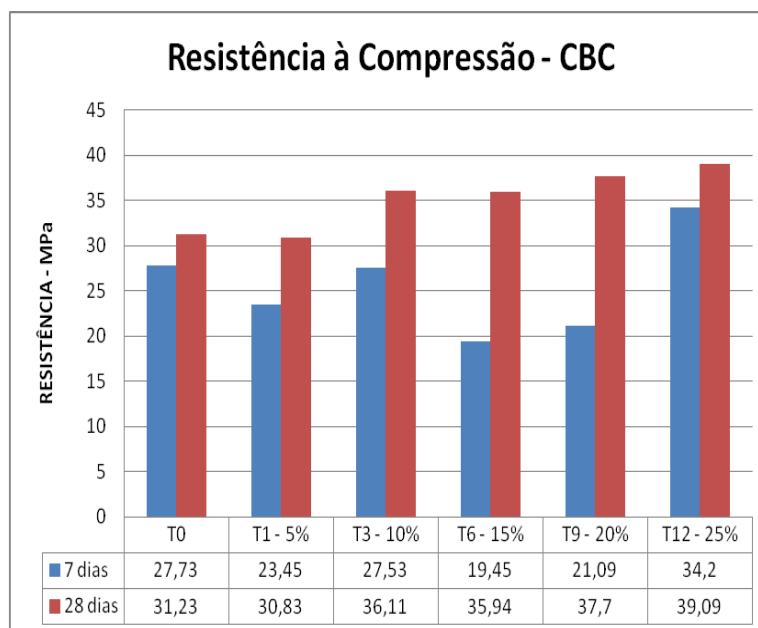


Figura 01 – Gráfico de Resistência à compressão – CBC

Os traços contendo somente resíduo de pneu inservível apresentaram uma queda significativa na resistência à compressão (Figura 02). O menor valor de resistência característica estimada é referente ao traço T5, com substituição da areia por 10% de resíduo de pneu, com valor de 6,86 MPa, ou seja, com uma redução de 78,03% da resistência em relação ao traço referência.

Em sua pesquisa Fioriti, Ino e Akasaki (2011) afirmaram que a resistência à compressão de 15 MPa foi satisfatória, pois as solicitações de passeios públicos são inferiores a este valor. O autor ainda propõe que os valores exigidos nas normas brasileiras deveriam ser reduzidos considerando a aplicação do material. Neste contexto, o Traço T2 apresentou uma resistência próxima ao sugerido pelo autor, podendo ser aplicado em locais com solicitações menores que as vias públicas contempladas na ABNT NBR 9781:2013, como por exemplo, em passeios, praças e ciclovias.

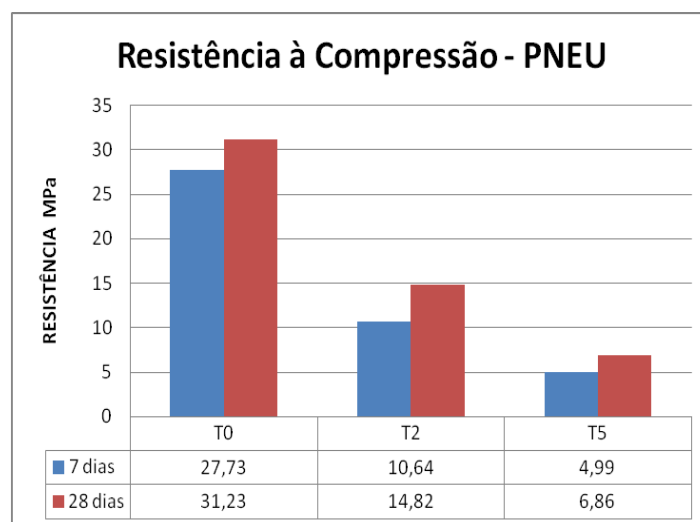


Figura 02 – Gráfico Resistência à compressão – PNEU



Já para os traços compostos com substituição conjunta de CBC e resíduo de pneu inservível houve uma melhora na característica de resistência mecânica, em comparação com os pavers fabricados somente com resisudos de pneus. Esta afirmação pode ser comprovada através das Figuras 03 e 04.

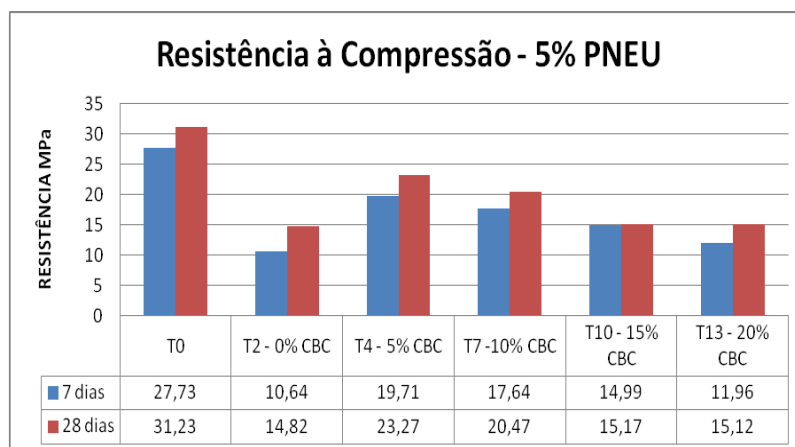


Figura 03 – Resistência à compressão – CBC + 5% de Pneu

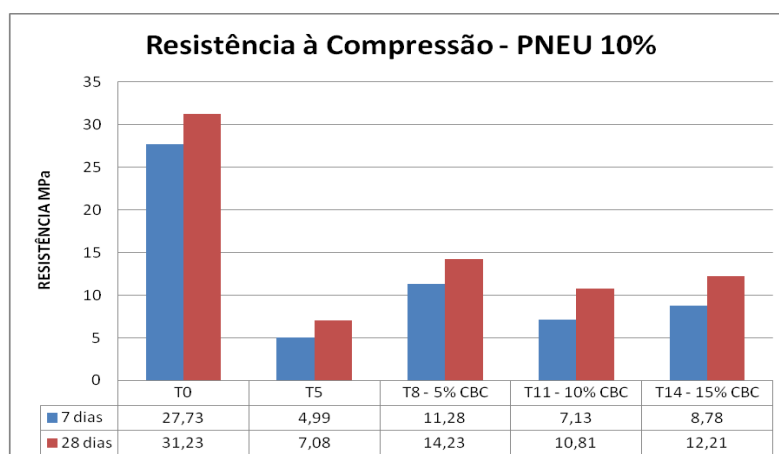


Figura 04 – Resistência à compressão – CBC + 10% de pneu.

Um ponto em comum dos traços onde foram utilizados resíduos de pneus e CBC em conjunto é que os melhores resultados de resistência, tanto para os concretos com 5% ou 10% de resíduos de pneus, foram obtidos com o teor de substituição de CBC igual a 5%. Em geral o aumento se deve a um melhor envolvimento dos agregados e dos resíduos de pneus pela pasta com CBC, já que esta causa um melhor empacotamento dos grãos, devido ao efeito filler.

### 3.2.2. Absorção de água

Os resultados obtidos nos ensaios constam da Tabela 4.

Tabela 4 – Índice de Absorção de Água

TRAÇO	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
T0	5,48
T1	4,46
T2	4,30
T3	5,18
T4	4,57
T5	6,64
T6	3,86
T7	5,00
T8	6,09
T9	3,40
T10	6,57
T11	5,29
T12	3,42
T13	3,06
T14	4,70

Os resultados dos ensaios para determinação do índice de absorção, na maioria os traços confeccionados este índice ficou abaixo do máximo permitido pela ABNT NBR 9781:2013 que é de 6%, atendo assim as normas internacionais que tamb'em determinam este indice de absorção.

Os resultados alcançados confirmam a informação que a CBC diminui a permeabilidade dos concret os quando utilizada em substituição de cimento, sendo que os melhores resultados são para substituições de 30% em massa. Segundo Chusilp, Jatutapitakkul e Kiattikomol (2010) a permeabilidade diminui com o aumento do teor de substituição, porém após o índice de 30% não há um crescimento expressivo que justifique sua utilização.

As peças confeccionadas somente com resíduos de pneus para o primeiro traço observa-se uma queda na absorção, enquanto para o traço com maior porcentagem a absorção cresce, com valores acima do traço referência. Isto pode ser explicado pelo aumento da porosidade destes pavers.

### 3.2.3. Abrasão

O ensaio de resistência à abrasão foi realizado para todos os teores de substituição incluindo o traço referência, sendo utilizado um exemplar para cada traço. De cada exemplar foram retiradas duas amostras, e os resultados obtidos constam da Tabela 5.

Tabela 5 – Índice de desgaste – Resistência à Abrasão (mm)

TRAÇO			INDICE DE DESGASTE (mm)
Traço	CBC	Pneu	
T0	0%	0%	7,42
T1	5%	0%	8,04
T2	0%	5%	13,39
T3	10%	0%	8,76
T4	5%	5%	7,93
T5	0%	10%	12,42
T6	15%	0%	8,69
T7	10%	5%	7,42
T8	5%	10%	8,88
T9	20%	0%	9,48
T10	15%	5%	9,05
T11	10%	10%	9,38
T12	25%	0%	8,02
T13	20%	5%	13,88
T14	15%	10%	12,48

A resistência à abrasão não apresentou grandes variações para os traços confeccionados somente com CBC, isto demonstra que este resíduo não influencia nesta característica de forma negativa.

Os pavers confeccionado com teores de 5 e 10% por resíduos de pneus. Os resultados mostram um aumento significativo do desgaste em mm nestes dois traços, porém os resultados obtidos ainda são compatíveis com os índices de desgaste encontrados por Amadei (2010).

Quando se faz a substituição conjunta de 5% e 10% de resíduo de pneu e CBC em porcentagens variadas observa-se um aumento de resistência à abrasão, ou seja, uma diminuição no índice de desgaste das peças. Isto pode ser explicado pelo maior envolvimento das partículas de resíduos de pneus pela matriz cimentícia, devido ai efeito filler que a CBC causa nos concretos e argamassas.

#### 3.2.4. Micrografia eletrônica de varredura

Nas imagens obtidas (Figura 05, 06 e 07) para os traços confeccionados somente com a substituição do agregado miúdo por CBC um aspecto que chamou a atenção para todos os traços foi a grande quantidade de cristais de C-H-S, que segundo Mehta e Monteiro (2006) é o principal responsável pelas propriedades mecânicas da pasta.

Nestes traços também chamou a atenção a pequena ocorrência de cristais do tipo portlandita e etringita, característicos da zona de transição da matriz, o que pode indicar baixa porosidade destas amostras (MEHTA E MONTEIRO, 2006), o que pode ser observado também nos ensaios de absorção, uma vez que houve uma redução desta característica quando do aumento do teor de substituição do agregado miúdo por CBC. A baixa porosidade também

é indicativo de um concreto mais denso e com isto mais resistente, o que também foi comprovado pelos ensaios de resistência à compressão.

O aumento da resistência à compressão também pode ser explicada pela grande ocorrência de cristais de Silicato de Cálcio Hidratado, fator que pode ser explicado pela reatividade da CBC somada a do cimento Portland.

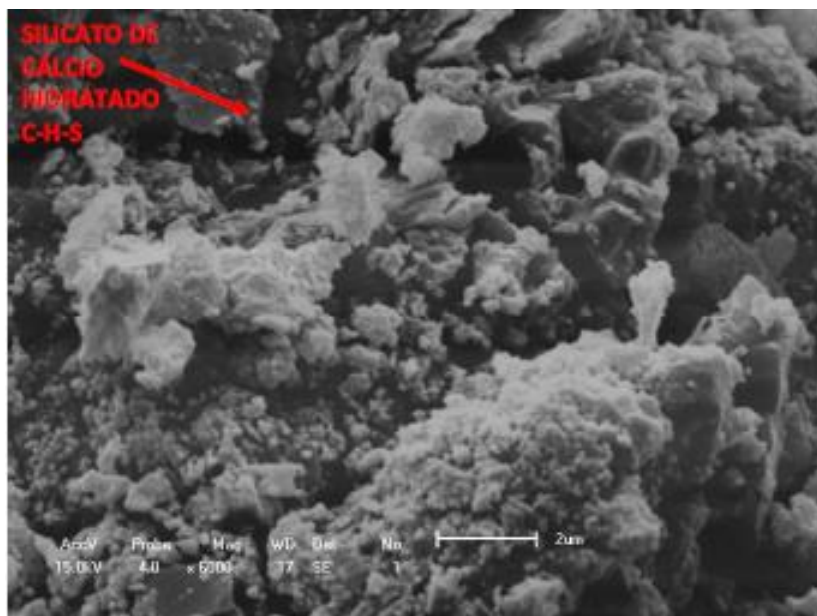


Figura 05 – Micrografia Traço T1 (6000x)

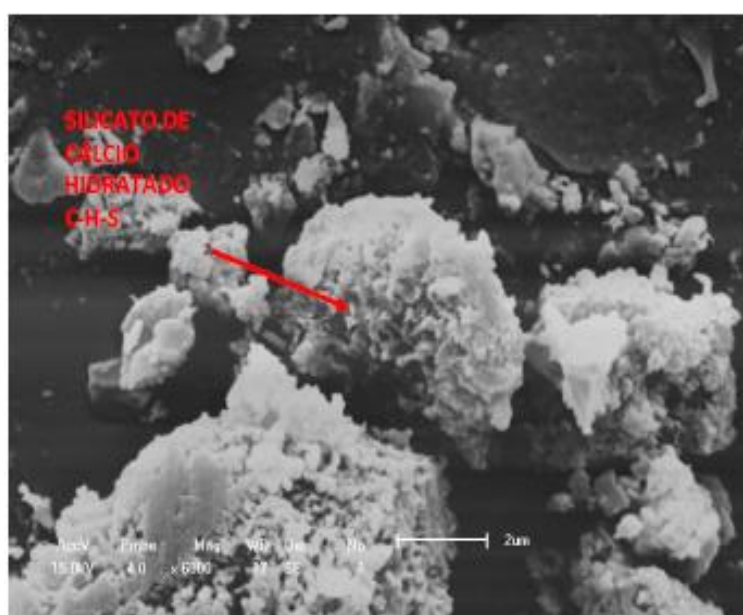


Figura 06 – Micrografia Traço T6 (6000x)

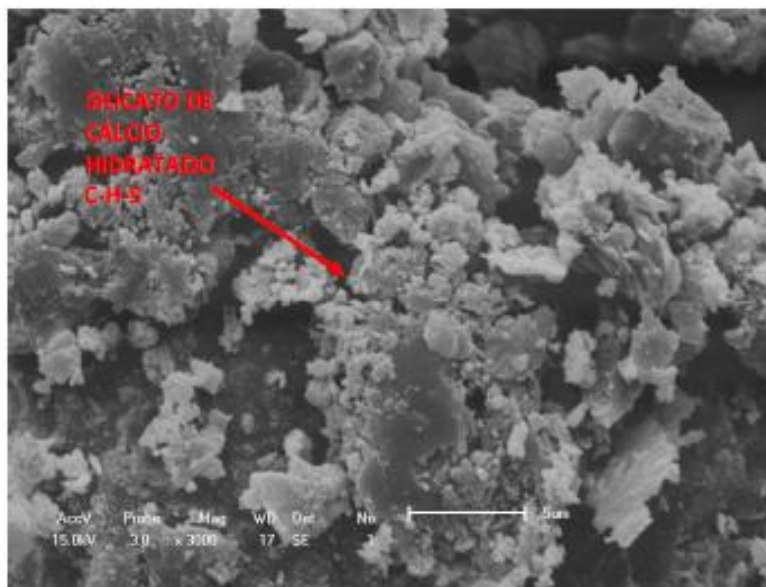


Figura 07 – Micrografia Traço T12 (3000x)

Para as peças fabricadas somente com resíduos de pneus as imagens obtidas mostram a ocorrência de etringita e portlandita na proximidade das partículas de resíduos de pneus, estes compostos são encontrados principalmente nas zonas de transição da matriz, o que segundo Mehta e Monteiro (2006) representa a parte mais fraca do concreto.

Outro aspecto interessante é a baixa incidência de cristais de Silicato de Cálcio Hidratado na proximidade dos resíduos de pneus, o que pode ser visto nas Figuras 08 e 09, onde a partícula está praticamente “limpa” de cristais.

Estes dados auxiliam a entender os resultados tanto da diminuição da resistência à compressão como o aumento da absorção de água para o Traço T5, que tem teor de substituição de 10%. Com a zona de transição tão pronunciada e com pouca aderência entre a pasta e o resíduo a resistência à compressão tende a diminuir e a absorção a aumentar.

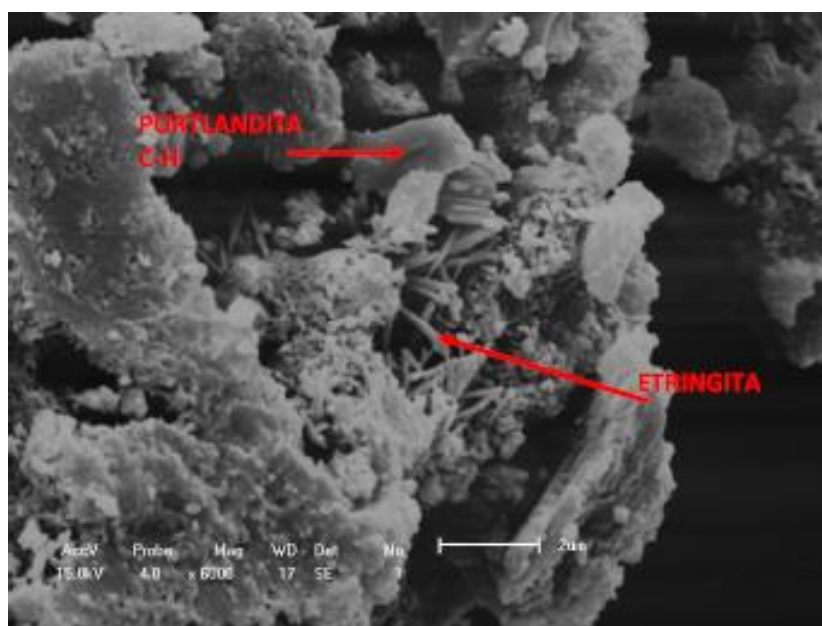


Figura 081 – Micrografia Traço T2

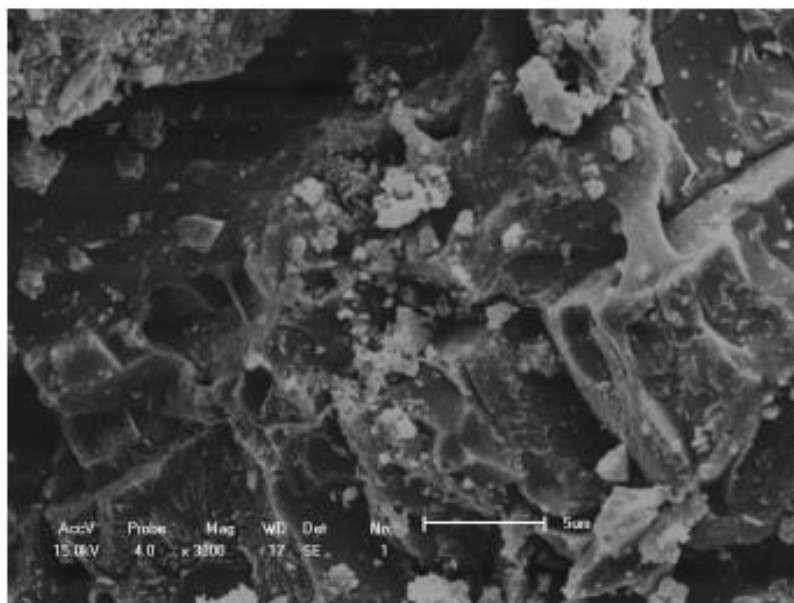


Figura09 – Micrografia Traço T5

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização da CBC em substituição parcial ao agregado miúdo mostrou-se viável em todas as características analisadas. Na resistência à compressão os pavers produzidos com este resíduo, apresentaram um aumento significativo em relação ao traço referência, para os teores de 10%, 15%, 20% e 25%, apresentando resistências superiores ao exigido pela norma que é de 35MPa. O melhor resultado de resistência à compressão foi obtido com 25% de substituição (T12), com um acréscimo de 25,17% em relação ao T0. O aumento do teor de substituição também contribuiu para a redução da absorção de água, alcançando notáveis 3,4% para o teor de 20% e 3,42% para o teor de 25%. A CBC não influenciou a resistência à abrasão, os resultados obtidos apresentaram um índice de desgaste compatível ao traço referência. A melhora das características foram também confirmadas pelo MEV, que apontou uma grande incidência de cristais de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) na matriz cimentícia, responsável pelas características mecânicas do concreto, e pouca incidência de cristais comuns à zona de transição.

O melhor teor de substituição de agregado miúdo por CBC foi de 25%, com este teor de substituição também foram confeccionados pavers com consumos de cimento abaixo do adotado inicialmente, e estes também apresentaram melhora nas propriedades de resistência à compressão e absorção de água em relação ao traço referência. Apesar de não atingir a resistência mínima exigida pela norma, os pavers confeccionados tem resistência superior a 15 MPa, que segundo vários pesquisadores, é o suficiente para locais com solicitações leves de tráfego.

Nos pavers produzidos com resíduos de pneu a resistência à compressão foi muito inferior à do traço referência, o que já era esperado pelo levantamento bibliográfico realizado, porém atingiu uma resistência próxima ao indicado para locais de solicitações leves. A absorção de água e o índice de desgaste também foram influenciadas pela adição dos resíduos de pneu, em ambos experimentos os resultados obtidos são superiores ao do traço referência.

Com base nos experimentos, enfatizando-se que para o traço e consumo de cimento utilizado, o resíduo de pneu interferiu de forma negativa nas características mecânicas e de durabilidade, porém isto não implicaria na utilização dos pavers em locais de baixas solicitações, como calçadas, praças e canteiros. Através das micrografias realizadas os resultados podem ser explicados pela evidência de uma zona de transição mais pronunciada, o

que indica uma maior porosidade das amostras, além disto, foi observada também uma redução na aderência entre a pasta e o resíduo.

Para a combinação de CBC e resíduos de pneu os resultados dos ensaios demonstram que a CBC contribui para a melhora das características dos pavers, tanto nas propriedades mecânicas quanto nas de durabilidade. Para as peças confeccionadas com teores de 5% e 10% de resíduos de pneus com a combinação de 5% e 10% de CBC, houve uma melhora significativa da resistência à compressão. Ressaltando que para as peças com 5% de resíduo de pneu e teores variáveis de CBC a resistência obtida foi superior a 15MPa, podendo ser utilizadas para execução de pavimentos sujeitos à solicitações leves. Observou-se também uma redução na absorção e água, principalmente para os traços com 10% de resíduos de pneus. A CBC também contribui para um aumento na resistência à abrasão, sendo esta característica mais evidenciada para teores de 5% e 10% de CBC.

A melhora das características dos pavers fabricados com resíduo de pneu e CBC pode ser explicada, assim como para os pavers fabricados somente com CBC, pelo efeito filler da CBC nos concretos, envolvendo melhor as partículas e reduzindo os vazios entre a pasta e os agregados. Além disto, apesar de não possuir uma reatividade significativa que a classifique como pozolana, a CBC mesmo quando queimada em altas temperaturas contribui de forma determinante para o aumento da resistência mecânica.

Baseado no exposto acima a CBC pode ser utilizada em substituição o agregado miúdo na confecção de pavers sem comprometer as características exigidas para este material. Cabe ressaltar que, tanto os resultados expostos como as conclusões tiradas a partir destes, têm como referência os materiais, equipamentos, técnicas e condições disponíveis locais.

Do ponto de ambiental a utilização destes resíduos contribui para a redução da extração de recursos naturais e também promove uma destinação adequada dos mesmos. No que se refere a CBC esta também pode contribuir para a redução do consumo do cimento na confecção de pavers que hoje, visando atender às resistências exigidas pela norma, são fabricados com traços muito ricos em cimento

## REFERÊNCIAS

**AKASAKI, J. L.; INO, A.; FIORITI, C. F.** *Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. Acta Scientiarum. Technology, Maringá, v. 32, n. 3, p. 237-244, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/6013>>. Acesso em 15 Jul. 2011.*

**AMADEI, I. B. A.** *Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do Município de Juranda/PR. 153 f. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2011.*

**AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI.** *ACI 201.2R: guide to durable concrete. Detroit, 2002. 41p.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP.** *Pavimento Intertravado. In: PALESTRA PAVIMENTO INTERTRAVADO – MKT, 2001. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 2001, Cd-rom, 115 slides.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502:** *Rochas e Solo. Rio de Janeiro, 1995.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508:** *Massa específica dos Sólidos. Rio de Janeiro, 1984.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181:** *Solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9780:** *Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1987.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781:** *Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 2013.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004** *Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005:** *Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006:** *Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos Rio de Janeiro, 2004.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15953:** *Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução. Rio de Janeiro, 2011.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45.** *Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, 2006.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52.** *Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53.** *Agregado graúdo – determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.*

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248.** *Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.*

**ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA PNEUMÁTICA - ANIP.** *Produção – Produção brasileira de pneus 2010. 2011. Disponível em: <[http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo\\_pagina=Produ%E7%E3o](http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produ%E7%E3o)>. Acesso em: 23 Ago. 2011.*

**BRASIL.** *Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 de Ago. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 27 Jun. 2011.*



**BRASIL.** Resolução CONAMA Nº 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.. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616/>. Acesso em: 15 Ago. 2011.

**CAUÊ Estrutura.** Características físicas e químicas do Cimento Portland CP-V ARI. Disponível <<http://www.caue.com.br/Institucional/LinhaCimentos/Paginas/caue-estrutura.aspx>>. Acesso em: 8 Mai. 2012.

**CHUSILP, N.; JATURAPITAKKUL, C.; KIATTIKOMOL, K.** Use of bagasse ash as pozzolanic material in concrete. *Building Materials and Construction*, v.23, 2009, P 3352-3358. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/bulmatcont>>. 2009. Acesso em 15 Jul. 2011.

**CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO.** Acompanhamento da safra brasileira de Cana-de-Açúcar 2012/2012 – Segundo Levantamento. 2011. Disponível em

[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_08\\_10\\_14\\_57\\_19\\_boletim\\_cana\\_p\\_ortugues\\_-\\_agosto\\_2012\\_2o\\_lev.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_10_14_57_19_boletim_cana_p_ortugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf) Acesso em: 16 Ago. 2012.

**FIORITI, C.F.; AKASAKI, J.L.; NIRSHE, G.C.** Estudo da viabilidade da produção de blocos estruturais de concreto com adição de resíduos de borracha. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 44, 2002. Belo Horizonte, Anais ... Belo Horizonte: Arte Interativa, 2002.

**FIORITI, C. F.** Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneu como material alternativo. 202 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

**FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L.** Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. *Acta Scientiarum. Technology, Maringá*, v. 32, n. 3, p. 237-244, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/6013>>. Acesso em 15 Jul. 2011.

**GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K.** Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement & Concrete Composites*, 29, 2007, p. 515–524. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/cemconcomp>>. 2007. Acesso em 15 Jul. 2011.

**GRANZOTTO, L.** Concreto com adições de borracha: uma alternativa ecologicamente viável. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2010.

**HELENE, P.; TERZIAN, P.** Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo:Pini/Senai, 1992, 313p.

**JOHN, V. M.** Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.

**LIMA, S.A.; SALES, A.; SANTOS, T. J.** *Caracterização físico-química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar visando o seu uso em argamassas e concretos como substituto do agregado miúdo.* In: *Congresso Brasileiro de Concreto, 51, 2009. Curitiba. Anais... Curitiba, 2010. INBRACON: CD-ROM.*

**MARTINS, C.H.; MACHADO, P.H.T.** *Estudo da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar em argamassas em concretos.* In: *ECMEC 2010 – Encontro Nacional de Materiais de Estruturas Compositas, 2010, Porto. Anais... ECMEC, 2010. Editora da Universidade do Porto, 2010. 1 CD-ROM.*

**MEHTA, P. K.** *Concrete Technology for Sustainable Development. 1999. Disponível em: <http://www.ecosmartconcrete.com/kbase/filedocs/trmehta99sustdev.pdf>. Acesso em: 25 Fev. 2012.*

**MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M.** *Concreto microestrutura, propriedades e materiais.* São Paulo. São Paulo. IBRACON, 2006, 3º Edição.