

## AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA CONFECÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Carlos Humberto Martins\*  
Sílvia Paula Sossai Altoé\*\*

**RESUMO:** A reciclagem dos resíduos agroindustriais é apontada por diversos pesquisadores como a melhor solução a ser dada para dois grandes problemas ambientais atuais: a escassez de recursos naturais e a disposição inadequada desses resíduos. Sendo assim a pesquisa teve como objetivo o estudo técnico da potencialidade da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) na substituição do agregado miúdo na confecção de blocos de concreto para pavimentação (*pavers*), sujeitos a solicitações leves. Para atingir este objetivo a metodologia adotada compreendeu etapas como: a caracterização dos resíduos a serem utilizados, confecção dos *pavers* com diferentes teores de substituição parcial de agregado miúdo e determinação das principais características dos *pavers*. A CBC mostrou-se um resíduo viável para a substituição parcial do agregado miúdo na fabricação dos *pavers* por apresentar uma melhora expressiva das características analisadas (resistência à compressão, absorção e abrasão) em relação aos *pavers* fabricados sem a substituição parcial da areia pela CBC.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cinza do Bagaço de Cana-de-Açúcar; *Pavers*; Reciclagem.

## ASSESSMENT OF ASHES FROM SUGAR CANE BAGASSE IN THE MANUFACTURE OF CONCRETE PAVERS

**ABSTRACT:** The recycle of agroindustrial residues is one of the best solutions for two currently important issues: the scarcity of natural resources and the inadequate disposal of wastes. Current research studies the potentiality of the use of ashes from sugar cane bagasse to replace small aggregates in the manufacture of concrete pavers enduring light weight. Methodology comprises the characterization of residues, manufacture of pavers with different types of replacement of small aggregates and

\* Docente Doutor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá (PR), Brasil; Docente Orientador do Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana (PEU) da UEM e do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PCV); E-mail: [chmartins@uem.br](mailto:chmartins@uem.br)

\*\* Docente Assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus de Apucarana (PR), Brasil.

the determination of the pavers' main features. Ash from sugar cane bagasse is a viable residue for the manufacture of pavers due to an expressive improvement of the characteristics analyzed (resistance to compression, absorption and abrasion) with regard to pavers made with the partial substitution of sand grain by ash bagasse.

**KEY WORDS:** Ashes From Sugar Cane Bagasse; Pavers; Recycling.

## INTRODUÇÃO

A geração de resíduos nos processos produtivos, sejam eles na agroindústria, na construção civil ou na indústria automotiva, causa impactos irreversíveis ao meio ambiente. O volume ocupado por estes em aterros, o nível de contaminação do solo, ar e água, a disseminação de vetores causadores de doenças, são alguns dos tantos problemas originados pela má destinação de resíduos. Como forma de diminuir, monitorar e penalizar qualquer tipo de tratamento ou disposição inadequada foi aprovada, em 02 de agosto de 2010, a Lei Federal nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A proposta deste trabalho visa o aproveitamento da cinza do bagaço da cana-de-açúcar que tem tempo de decomposição lenta e que normalmente ocupa grande volume em aterros, ou ainda, é lançada inadequadamente e de forma indiscriminada no meio ambiente.

Além disto, este reaproveitamento se dá por 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 pela extração.

O objetivo desta pesquisa é um estudo técnico da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) na substituição parcial de agregado miúdo na confecção de blocos de concreto para pavimentação (*pavers*) sujeitos a solicitações leves. As análises foram baseadas nas principais propriedades requeridas pelas normas vigentes para este tipo de pavimento, como a resistência mecânica, a absorção de água e a resistência à abrasão.

## 1.1 CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (CBC)

O setor industrial representa mais de um terço do consumo de todos os tipos de energia, seja na forma de vapor, combustíveis ou forma de energia elétrica; este alto consumo traz consigo além de uma demanda muito alta de energia elétrica, principal fonte de energia da indústria, vários impactos ao meio ambiente. Como solução para este problema, especialistas apontam a reciclagem de materiais alternativos como fonte de energia, um exemplo disto é o que a indústria de açúcar faz com o bagaço da cana-de-açúcar que serve de combustível para as caldeiras e termoeletricas (CHAUHAN; CHAUDAHARY; SAMAR, 2011).

Durante o processo de queima do bagaço da cana-de-açúcar para geração de energia é produzida a CBC. Para cada tonelada de cana-de-açúcar produzida são gerados cerca de 6 kg de CBC. Se for levada em consideração a safra nacional 2012/2013, com um montante de 596,63 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 CBC (CONAB, 2012).

A utilização de concreto nas construções cresce anualmente, elevando consequentemente o consumo de Cimento Portland e agregados naturais, matéria-prima na confecção dos concretos. Com a finalidade de reduzir custos do produto final e também diminuir a degradação ambiental várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas com a finalidade de substituir os componentes do concreto por materiais alternativos, com composição semelhante. Por isso, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), subproduto da queima do bagaço como combustível na geração de energia, tornou-se alvo de investigações como material substituto tanto do aglomerante quanto do agregado (CHUSILP; JATURAPITAKKUL; KIATTIKOMOL, 2009). A Figura 1 traz o aspecto arenoso da CBC obtida durante a queima do bagaço da cana-de-açúcar.



**Figura 1.** Exemplo de amostra da CBC

De acordo com Cordeiro, Toledo e Fairbairn (2009), que analisaram a CBC para um intervalo de temperaturas de queima de 400°C a 900°C, em laboratório, concluíram que a CBC obtida com queima controlada a 600°C pode ser utilizada como pozolana, apresentando, nestas condições, atividade pozolânica. Estes resultados demonstram que a temperatura de calcinação é fator determinante para a obtenção de CBC reativas.

A resistência à compressão do concreto pode ser melhorada com adição da CBC, desde que esta tenha condições controladas de temperatura e moagem adequada. Segundo Chusilp, Jaturapitakkul e Kiattikomo (2010), a CBC obtida por queima a 600°C e beneficiada em processo de moagem pode substituir em 20% o cimento em concretos, apresentando excelentes resultados nas primeiras idades. Esta propriedade está ligada ao fato das pequenas partículas da CBC preencher os vazios e espaços anteriormente ocupados por ar, produzindo, assim, um concreto mais denso.

Cordeiro et al. (2008) concluíram após seus experimentos que o aumento de resistência e a redução da permeabilidade em concretos confeccionados com

CBC em substituição de agregados ou de cimento se dá pelo efeito *filler* da cinza, ou seja, um melhor empacotamento dos grãos, e também por sua atividade pozolânica.

Com o avanço nas pesquisas com a CBC e a comprovação de possibilidade de sua utilização como substituto do agregado miúdo e do cimento, quando processada da forma adequada, Cordeiro et al. (2010) analisaram a possibilidade de utilizar a CBC, em caráter industrial, como substituição do cimento e com isto conseguir uma redução na emissão dos índices de CO<sub>2</sub> das fábricas de cimento na atmosfera, obtendo-se com isto créditos de carbono. O projeto buscou estimar o potencial de reduções e a viabilidade da obtenção do Certificado de Emissão Reduzida, seguindo para isto a metodologia estabelecida pela Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. A otimização dos dados referentes às fábricas de etanol e de cimento do Estado de São Paulo foi realizada através de algoritmos genéticos desenvolvidos especificamente para este fim. Após as análises, seguindo a metodologia proposta, a redução das emissões estimadas chegou a 519,3kt de CO<sub>2</sub>/ano, para esta região do país. As simulações realizadas demonstraram que a CBC misturada ao cimento, em escala industrial, preenche todas as condições para ser candidata a projetos de Mecanismos para Desenvolvimento Limpo e com isto apresenta potencial para emissão de créditos de redução de CO<sub>2</sub> certificados.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

#### 2.1.1 Aglomerante

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o CP V-ARI, já que este é o mais utilizado pelos fabricantes de *pavers*. As características obtidas junto ao fabricante atendem às normas brasileiras com relação ao limite mínimo de qualidade.

### **2.1.2 Agregado Miúdo**

O agregado miúdo utilizado foi a areia média proveniente de fornecedores da região de Maringá (PR). 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 (PR). 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 (PR), 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 (PR), com temperatura de queima de 850°C.

## **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 - ABNT 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.

## 2.2.2 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  $437 \text{ kg/m}^3$ , fator a/c 0,42. Os teores de substituição constam na Tabela 1.

**Tabela 1.** Teores de Substituição

Traço	T0	T1	T2	T3	T4	T5
CBC	0%	5%	10%	15%	20%	25%

A moldagem dos *pavers* foi realizada na Fábrica de Artefatos de Concreto da Universidade Estadual de Maringá (UEM), utilizando uma vibro-prensa pneumática. As dimensões das peças 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 os 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, 7 e 28 dias, para cada traço definido.

### 2.2.3.2 Absorção de Água

O ensaio realizado baseou-se na ABNT NBR 9781:2013. 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. Foi ensaiado 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 (UEM).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA CBC

Quanto à 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, classificando assim a CBC como um resíduo “NÃO PERIGOSO”. Alguns dos resultados para solubilização encontraram-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.

### 3.2 PROPRIEDADE DOS PAVERS

#### 3.2.1. Resistência à Compressão

Os resultados dos *pavers* fabricados com CBC indicam que com o aumento do teor de substituição parcial da areia por esse resíduo ocorre um aumento na resistência à compressão (Figura 2). Conforme pode ser observado na Figura 02, o traço que apresentou melhor resultado de resistência característica estimada à compressão foi o Traço T5, com 25% de substituição da areia por CBC, com valor de 39 MPa. Este traço apresentou um acréscimo de resistência de 25,17% em relação ao traço referência. É importante ressaltar que os traços T2, T3, T4 e T5 alcançaram valores superiores ao exigido na ABNT NBR 9781/2013, permitindo assim a sua utilização em vias onde trafegam pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

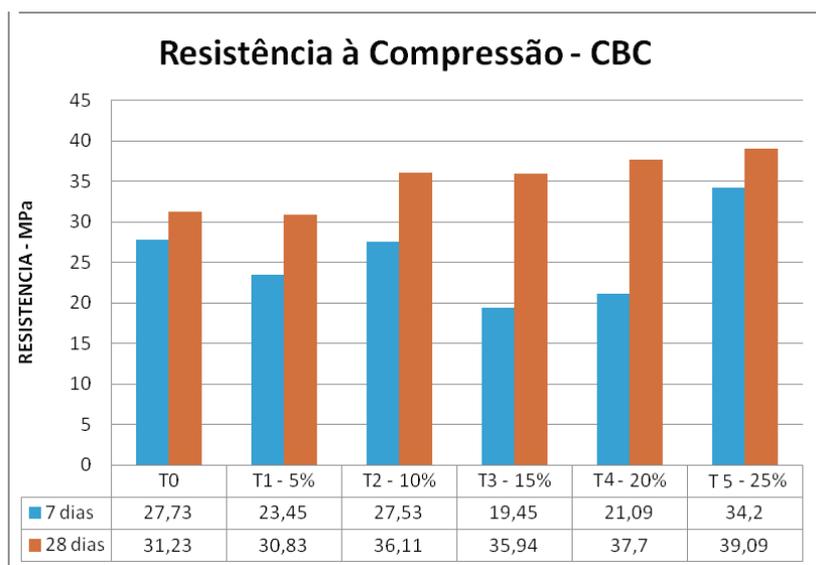


Figura 2. Gráfico de Resistência à compressão - CBC

### 3.2.2 Absorção de Água

Os resultados obtidos nos ensaios constam na Figura 3.

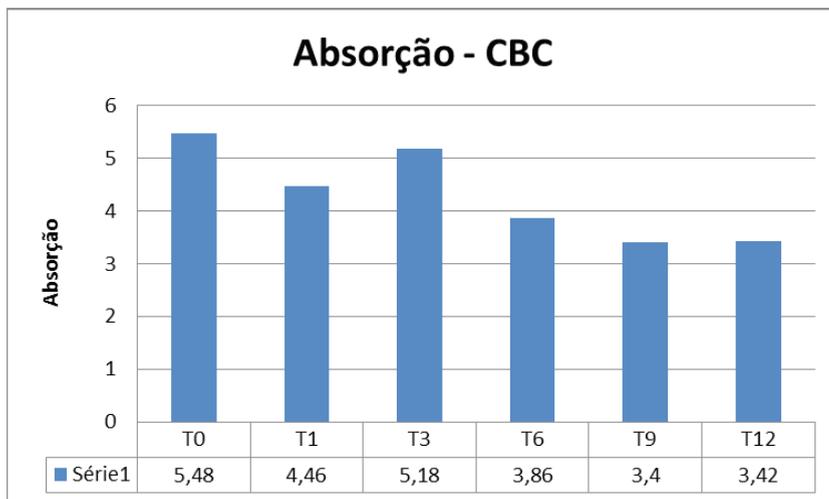


Figura 3. Gráfico Absorção - CBC

Os resultados dos ensaios para determinação do índice de absorção, em todos os traços confeccionados, ficaram abaixo do máximo permitido pela ABNT NBR 9781:2013, que é de 6%.

### 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 na Figura 4.

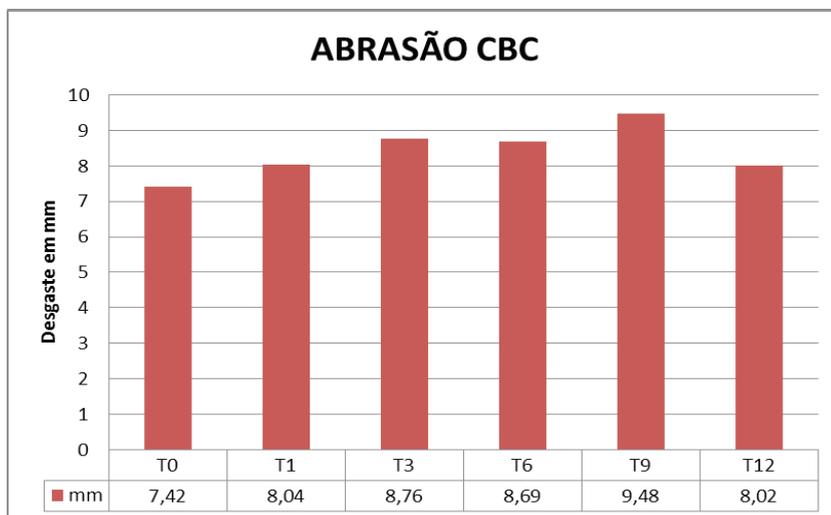


Figura 4. Gráfico Abrasão - CBC

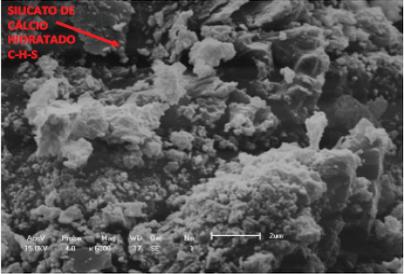
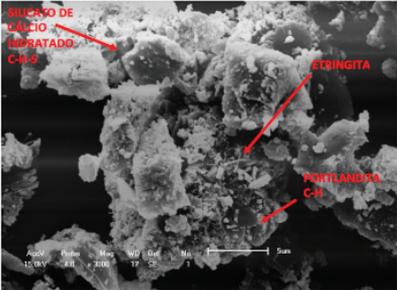
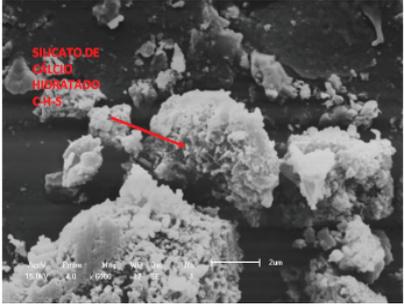
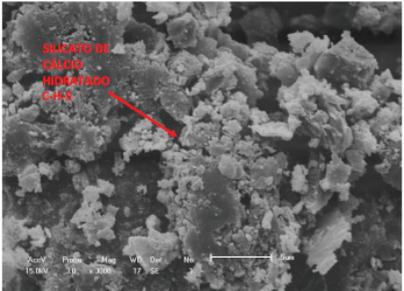
A resistência à abrasão não apresentou grandes variações para os traços confeccionados somente com CBC, isto demonstra que este resíduo não influencia nesta característica de forma negativa.

### 3.2.4 Micrografia eletrônica de varredura

Nas imagens obtidas (Tabela 4) para os traços confeccionados sem e 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 Metha 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 (METHA; 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 explicado pela grande ocorrência de cristais de Silicato de Cálcio Hidratado, fator que pode ser explicado pela reatividade da CBC somada à do Cimento Portland.

TRAÇO SEM CBC	TRAÇOS COM CBC	
		T1
		T3
		T5

#### 4 CONCLUSÃO

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 35 MPa. O melhor resultado de resistência à compressão foi obtido com 25% de substituição (T5), 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 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, evidenciando o aumento da resistência à compressão, e pouca incidência de cristais comuns à zona de transição, o que justifica a baixa absorção dos blocos.

Baseado no exposto acima a CBC pode ser utilizada em substituição ao 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 vista ambiental a utilização deste resíduo contribui para a redução da extração de recursos naturais e também promove uma destinação adequada dos mesmos. No que se refere à 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

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

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 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 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.

CHAUHAN, M. K.; CHAUDAHARY, V. S.; SAMAR, S. K. Evaluation of the life cycle of the sugar industry: A Review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2011, p. 3445-3453. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/rensusene>>. 2011. Acesso em: 15 jul. 2011.

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\\_portugues\\_-\\_agosto\\_2012\\_2o\\_lev.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_10_14_57_19_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf) Acesso em: 16 ago. 2012.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugarcane bagasse ash. **Construction and Building Materials**, v. 23, 2009, p. 3301-3303. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/conbuimat>>. 2009. Acesso em: 13 jul. 2011.

CORDEIRO, G. C. et al. Pozzolanic activity na filler efect of suggarcane bagasse ash in Portland cement na lime mortars. **Cement & Concret Composites**. 2008. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/cemconcomp>>. 2008. Acesso em: 05 maio 2011.

CORDEIRO et al. Replacement of cement by bagasse ash cane sugar: CO<sub>2</sub> and the potential for reducing emissions of carbon credits. **Journal of Environmental Management**, 91, 2010 p. 1864-1871. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jorenvman>>. 2010. Acesso em: 15 jul. 2011.

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

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2006, 3<sup>o</sup> Edição.

*Recebido em: 08 de outubro de 2013*

*Aceito em: 16 de junho de 2014*