

A influência da substituição de cimento por cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) em concretos

The influence of cement replacement for grey cane sugar bagasse (CBC) in concrete

La influencia de sustitución de cemento gris bagazo de caña (CBC) en concreto

Tainara Cristina Ávila

Mestranda, UNESP, Brasil
tainara.avilaeng@gmail.com

Sérgio Eduardo Fernandes

Mestre, UNESP, Brasil
mrosario@gmail.com

Jorge Luís Akasaki

Professor doutor, UNESP, Brasil
Jorge.akasaki@gmail.com

RESUMO

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) é composta basicamente de dióxido de silício, isso a torna um material com grande potencial para ser utilizado como aditivo mineral em argamassas e concretos. Esta pesquisa apresenta como finalidade o estudo da substituição de cimento por CBC moída na constituição do concreto. Foi feita a substituição de 5%, 10%, 15% e 20 % do cimento, sendo que o tempo de mistura foi de 5 minutos. Foram realizados ensaios de compressão, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e absorção, para diferentes idades do concreto produzido. Os resultados dos ensaios foram comparados aos mesmos ensaios realizados com o concreto referencia, ou seja, concreto sem nenhuma adição. Para se obter a máxima compreensão do que estava sendo realizado, o estudo bibliográfico permaneceu contínuo. Foram utilizados normas e estudos anteriores baseados nos mesmos métodos abordados neste projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar. Substituição.

ABSTRACT

Grey's sugarcane bagasse (CBC) is basically composed of silicon dioxide, it makes it a material with great potential to be used as a mineral additive in mortars and concretes. This research has as objective the study of cement replacement by CBC ground in the constitution of concrete. the substitution of 5% was taken, 10%, 15% and 20% cement, and the mixing time was 5 minutes. Compression tests were carried out, by traction diametrical compression modulus of elasticity and absorption for different ages of the produced concrete. The results of the tests were compared to tests performed with the same reference concrete, or concrete without any addition. To obtain the maximum understanding of what was being done, the bibliographic study remained continuous. standards and previous studies were used based on the same methods discussed in this project.

KEYWORDS : Ash sugarcane bagasse. Replacement.

RESUMEN

Bagazo de caña de Grey (CBC) se compone básicamente de dióxido de silicio, que hace que sea un material con un gran potencial para ser utilizado como un aditivo mineral en morteros y hormigones. Esta investigación tiene como objetivo el estudio de la sustitución de cemento por CBC terreno en la constitución de hormigón. la sustitución de 5% fue tomada, 10%, 15% y 20% de cemento, y el tiempo de mezcla fue de 5 minutos. Las pruebas de compresión se llevaron a cabo, por tracción módulo de compresión diametral de elasticidad y de absorción para diferentes edades del hormigón producido. Los resultados de las pruebas se compararon con pruebas realizadas con el mismo concreto de referencia, u hormigón sin ninguna adición. Para lograr el mejor entendimiento de lo que se estaba haciendo, el estudio bibliográfico se mantuvo constante. Se utilizaron las normas y los estudios anteriores sobre la base de los mismos métodos descritos en este proyecto.

PALABRAS CLAVE : Ash bagazo de caña de azúcar . Reemplazo.

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil tem papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. O Conselho Internacional da Construção (CIB) aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Existem ainda os impactos devido à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção (Ministério do Meio Ambiente).

A constante preocupação com a preservação do meio ambiente tem incentivado a busca de diversas alternativas para substituição dos agregados naturais ou do cimento com incorporação de certos resíduos na confecção de argamassas e concretos (MACEDO, 2009).

A indústria de cimento, que é um dos constituintes mais importantes do concreto, é responsável pela emissão de cerca de 5 a 7% da emissão mundial de dióxido de carbono. Só no Brasil, para cada tonelada de clínquer produzido, que é como se chama a massa crua utilizada durante a fabricação do cimento, são liberados na atmosfera pelo menos 700 kg de gás CO₂ (Química Ensinada).

A possibilidade de se adicionar materiais silicosos ou alumino-silicosos oriundos de resíduos industriais e agroindustriais que, ao serem misturados ao cimento Portland substituindo o clínquer por materiais alternativos com menor energia, influem nas propriedades mecânicas e de durabilidade, é uma alternativa para se diminuir o problema da produção de resíduos. (CASTALDELLI et. al., 2010).

Neste contexto, as cinzas residuais são materiais com elevado potencial para ser utilizado na fabricação do concreto.

O Brasil vive um excelente momento no setor sucroalcooleiro; é o maior produtor e consumidor de açúcar e etanol do mundo, domina a tecnologia de produção na parte agrícola e também industrial e tem o custo de produção mais baixo em relação a outros países.

No processo de produção do complexo sucroalcooleiro gera-se como resíduo o bagaço, utilizado na geração de energia por meio da queima em caldeiras, restando ao final, cinzas residuais do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), geralmente lançadas ao meio ambiente de forma inadequada. Estas cinzas ocupam lugar de destaque dentre os resíduos agroindustriais por resultarem de processos de geração de energia (LIMA et al., 2010).

Esta cinza vem sendo utilizada em lavouras como adubo, mas pesquisas apontam para a falta de nutrientes minerais na CBC, necessários para este uso.

Sabe-se que a CBC é composta predominantemente por sílica, um composto químico com potencial pozolânico. Por este motivo, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar torna-se um material com grande potencial para ser utilizado na confecção de concreto, substituindo parte do cimento Portland ou agregados.

Souza et al. (2007) utilizaram cinzas residuais do bagaço (CRB), com índice de atividade pozolânica de 86%, em substituição parcial ao cimento na produção de três traços de

argamassas (uma padrão e outros dois com substituição de 10% e 20% do cimento por CRB) e caracterizaram experimentalmente no estado endurecido. Os resultados experimentais mostram que ambos os traços produzidos com substituição parcial do cimento por CRB tiveram desempenho igual ou superior quanto à resistência à compressão do traço padrão na idade de 28 dias, comprovando que o material é eficaz para o teor de substituição.

Segundo Casteldelli et al (2010) a cinza preenche os vazios do concreto com mais eficiência, visto que todos os traços com substituição absorveram menos água do que o traço sem nenhuma substituição nos ensaios deste. Para ele, o tempo de mistura não mostrou uma interferência atenuante para esse ensaio.

OBJETIVO

Analisar o comportamento do concreto após sofrer substituições de quantidade diferentes de cimento por cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) moída.

METODOLOGIA

Execução do concreto e consumo de cimento

Os concretos desta pesquisa foram produzidos segundo a norma NBR 12821, em betoneira de eixo inclinado com capacidade de 120 litros. A colocação dos materiais na betoneira seguiu a ordem usada para concreto convencional. A cinza utilizada no estudo foi moída, sendo depois colocada junto com o cimento.

Para a produção do concreto foi necessário obter a umidade e a absorção dos agregados. Assim sendo, para a determinação da umidade seguiu-se a NBR 9383. O laboratório local de pesquisa já possuía o valor de absorção dos agregados.

O concreto com a substituição de CBC foi calculado para um consumo de cimento em 1000 litros de concreto; Uma vez que a CBC tem uma densidade menor que a densidade do cimento, uma correção na massa de cimento após a substituição foi necessária para que o volume permanecesse em 1000 litros. Esse consumo foi calculado da através da Equação 1:

$$C = \frac{\text{Vol}_{\text{conc}} - \text{Vol}_{\text{AR bet}}}{\frac{1}{m_{\text{cim}}} + \frac{a}{m_{\text{areia}}} + \frac{b}{m_{\text{brita}}} + A/C} \text{ Equação (1)}$$

Teste de abatimento (Slump test)

Foi realizado o teste de abatimento a fim de se verificar as condições de trabalhabilidade do concreto criado, sendo indicador de um método de adensamento adequado mediante a

medida da altura de queda do concreto contido em um cone padronizado, conforme prescrito na norma NBRNM 67. Na Figura1, temos um retrato de um ensaio sendo realizado.

Figura 1– Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (Slump Test)



Fonte: próprio autor

Adensamento

O adensamento do concreto produzido foi realizado por meio de mesa vibratória por aproximadamente 60 segundos, sendo feito em fôrmas cilíndricas com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, normalizado pela NBR 5738.

Cura dos corpos de prova

Os corpos de prova (CPs) sofreram a cura em câmara úmida, com temperatura aproximada de 22,5 °C, de acordo com a NBR 5738.

Capecamento

Para um melhor resultado nos ensaios de ruptura, um dia antes da realização dos mesmos, os corpos de prova foram capeados com uma mistura contendo pozolana (40%) e enxofre (60%).

Resistência à compressão

A resistência à compressão do concreto foi determinada de acordo com a NBR 5739.

Os corpos de prova foram rompidos após o capecamento, em uma prensa universal para ensaios que apresenta velocidade de carregamento igual a 5kgf/cm²/s.

A tensão de ruptura foi obtida através da Equação 2:

$$\sigma_c = \frac{4 \times P}{\pi \times D^2} \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo:

σ_c : tensão de compressão na ruptura (MPa);

P: carga de ruptura lida na prensa (N);

D: diâmetro do corpo de prova (mm);

Os ensaios foram realizados em corpos de prova nas idades de 7, 28, 60 e 90 dias, onde a resistência final foi obtida segundo a NBR 7215.

Resistência à tração por compressão diametral

A resistência à tração dos corpos de prova foi determinada de acordo com a NBR7222. Neste ensaio, aplica-se uma compressão diametral na geratriz do corpo de prova. Este corpo de prova foi colocado em contato com os pratos da prensa, com duas tiras de madeira.

Este tipo de ensaio correlaciona a tensão de ruptura à compressão diametral com a tensão de ruptura à tração usando a Equação 3:

$$\sigma_T = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot L} = \frac{63,7 \cdot P}{9,8 \cdot 19,6} \quad \text{Equação (3)}$$

Sendo:

σ_T : tensão de tração na ruptura (MPa);

P: carga de ruptura (tf);

D: diâmetro do corpo de prova (cm);

L: comprimento do corpo de prova (cm);

Os ensaios foram realizados em corpos de prova nas idades de 7, 28, 60 e 90 dias, onde a resistência final foi segundo a NBR 7215.

Módulo de elasticidade

O gráfico tensão-deformação do concreto, quando submetido a incrementos contínuos de carga em geral, possui a forma de uma linha suave curva. Para facilitar o estudo, essa linha é aproximada para uma reta, dentro do campo das tensões adotadas normalmente.

Conforme a lei de Hooke ($\sigma = E \cdot \varepsilon$), Quando há a aplicação de compressão num determinado corpo de prova, há a ocorrência de deformação proporcional à tensão aplicada, dentro do limite elástico.

O ensaio foi realizado seguindo a NBR 8522, sendo que o corpo de prova foi submetido a um carregamento axial, em uma prensa, e as suas deformações foram medidas através de um extensômetro mecânico-defletômetro.

O módulo de elasticidade E é a relação entre o incremento de tensão e o de deformação longitudinal.

Os ensaios foram realizados em corpos de prova nas idades de 7, 28, 60 e 90 dias, onde a resistência final foi segundo a NBR 7215.

Absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a norma NBR 9778. Inicialmente os corpos de prova foram deixados em uma estufa, determinando-se com isso o peso seco (P_s) dos mesmos, depois estes foram imersos em água durante um período de 24 horas, de tal modo que obteve-se o peso saturado (P_{sat}) dos corpos de prova.

A absorção de água foi encontrada através da Equação 4:

$$A(\%) = \frac{P_{sat} - P_s}{P_s} * 100 \quad \text{Equação (4)}$$

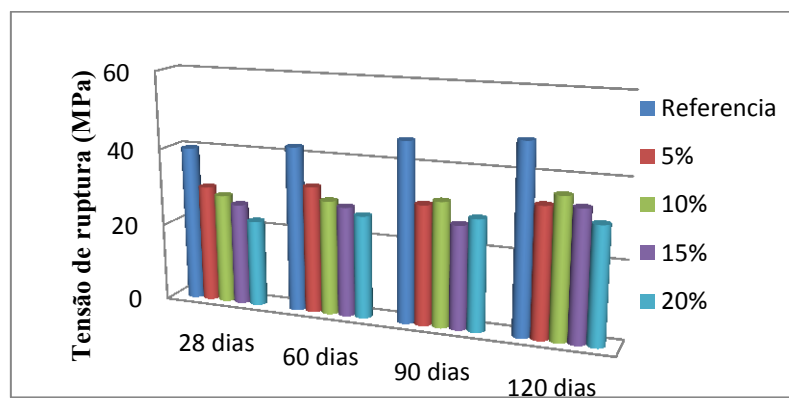
O valor final de absorção foi encontrado através da média aritmética dos valores de absorção encontrados para cada corpo-de-prova.

RESULTADOS

Resistência à compressão axial

Conforme a Figura 2, temos que a substituição de cimento por CBC ocasionou uma queda nos na resistência do concreto à compressão. O traço com 10% de substituição apresentou melhor resultado, conforme Tabela 1.

Figura 2: Resistência à compressão dos concretos



Fonte: próprio autor

Tabela 1: Resistência à compressão dos concretos

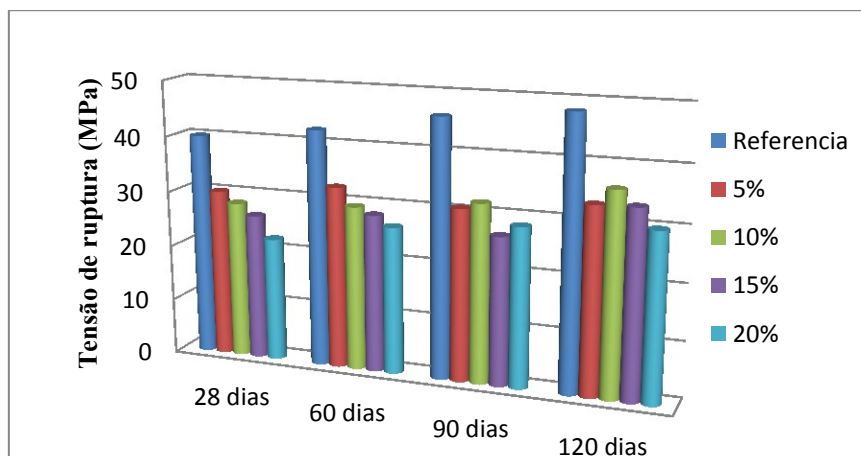
Traço	Idade (dias)			
	28	60	90	120
Referencia	40,0	42,4	46,1	48,2
5%	30,1	32,6	30,7	33,2
10%	28,2	29,4	31,9	36,0
15%	26,2	28,2	26,5	33,4
20%	22,2	26,4	28,5	29,9

Fonte: próprio autor

Resistência à tração por compressão diametral

Com os dados obtidos podemos notar, na Figura 3, que a resistência à compressão diametral sofreu pouca alteração, independente da idade do concreto e da porcentagem de adição de CBC. O concreto com 20% de adição foi o que apresentou maiores valores de resistência se comparado com os outros traços com substituição, mas apresentando uma diferença pouco expressiva em relação aos demais. Todos os traços obtiveram valores muito inferiores se comparado ao traço de referencia.

Figura 3: Resultados do ensaio de tração

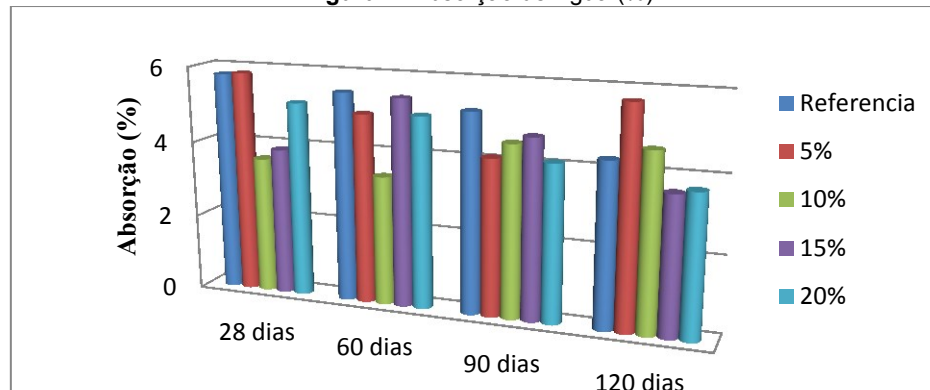


Fonte: próprio autor

Absorção

Analisando os dados da Figura 4, podemos notar que a absorção sofre pouca alteração independente da quantidade de CBC no concreto. Ao longo do tempo, percebe-se que houve uma inversão dos resultados, de modo que as maiores taxas de absorção aos 28 dias de idade traduziram em menores taxas de absorção aos 120 dias de idade.

Figura 4: Absorção de Água (%)

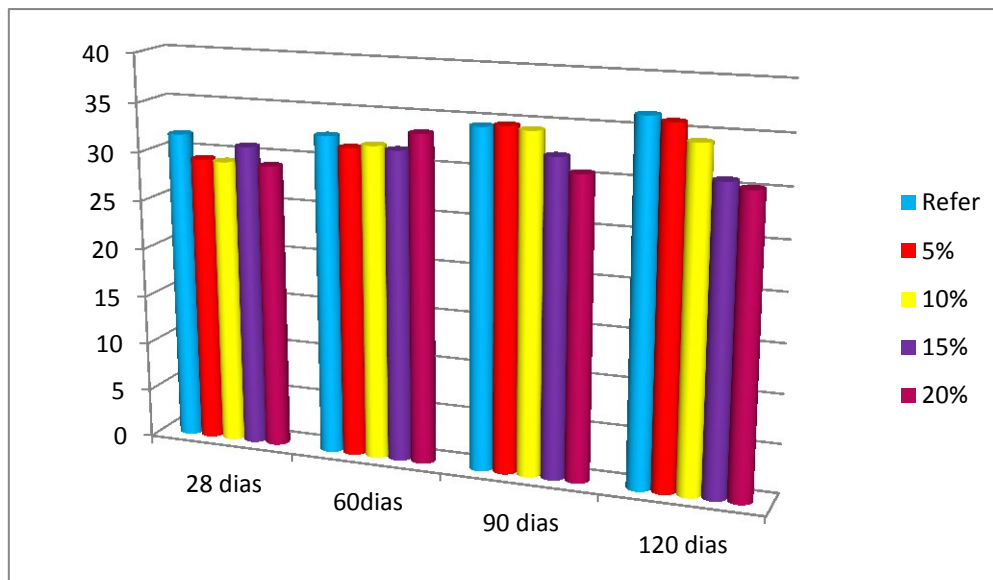


Fonte: próprio autor

Módulo de elasticidade

Pode-se perceber que o módulo de elasticidade sofreu pouca variação conforme o aumento da porcentagem de CBC adicionada ao traço ou período de tempo (Figura 5). Todos os valores encontrados se aproximam do concreto referencia.

Figura 5: Resultados do ensaio de módulo de elasticidade



Fonte: próprio autor

CONCLUSÃO

No ensaio de resistência à compressão, pode-se notar que, quanto maior a quantidade de CBC substituído, mais baixa se torna a resistência mecânica do mesmo. O concreto com 10% de substituição possui a maior resistência, porém inferior ao traço controle.

Os dados obtidos de módulo de elasticidade apresentaram-se com pouca variabilidade, independente da quantidade de CBC substituída.

Analogamente ao ensaio de resistência à compressão, os valores de resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova de concreto se mostraram mais efetivos para a substituição de 10% do cimento por CBC.

Quanto aos valores de absorção, nota-se pouca variação devido à substituição, no entanto, quanto maior o período estudado, menor a absorção para o mesmo traço.

Conclui-se, portanto, que o concreto com 10% de substituição de cimento por CBC é o que apresenta melhores resultados, mesmo que inferior ao traço referencia. Esse traço poderá ser utilizado em concretos onde não seja necessária uma resistência muito elevada.

AGRADECIMENTO

Generalco – General Salgado
Cimentos Holcim
Bolsa PIBIC – CNPq

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Modelagem e cura de corpos de prova cilíndricos de concreto.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: procedimento.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9202 – Cimento Portland e Outros Materiais em Pó – Determinação da Finura por Meio da Peneira 0,044 mm (Número 325).** Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9383 – Produtos orgânicos sólidos – Determinação das umidades e outros materiais voláteis nas condições de teste – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578 – Cimento Portland composto - Especificação.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653 – Materiais Pozolânicos – Especificações.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821 – Preparação de concreto em laboratório.** Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da Massa Específica.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 45 – Agregados – Determinação da Massa Unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 47 – Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico.** Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 49 – Agregado Fino – Determinação de impurezas orgânicas.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 52 – Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 53 – Agregado Graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 65 – Cimento Portland – determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 67 – Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do troco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 76 – Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine).** Rio de Janeiro, 1998.

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

CASTALDELLI, V. N. ; CASTRO, J. N. T.; QUEVEDO, V. R. B. ; AKASAKI, J. L. ; TASHIMA, M. M. ; BERNABEU, J. P.. **Avaliação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (in natura) quando adicionado ao concreto.** In: 52 Congresso Brasileiro do Concreto, 2010, Fortaleza, CE. Avaliação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (in natura) quando adicionado ao concreto, 2010. p. 1-15.

FERNANDES, S. E. **Concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.** 2014. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

MACEDO, P. C. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar.** 2009. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – **Cidades sustentáveis, urbanismo sustentável, construção sustentável.** Disponível em: <<<http://www.mma.gov.br>> Acessado em: 12 agosto 2016.

SOUZA et al., **Desenvolvimento de Argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: IBRACON, 2007. CD ROM.

QUÍMICA ENSINADA – **Cimento ecológico remove gás carbônico.** Disponível em: <<<http://quimicaensinada.blogspot.com.br>> Acessado em: 12 agosto 2016.