Performance of mortars produced with the incorporation of sugar cane bagasse ash

Rendimiento de morteros producidos con la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar

Pamela Camargo Macedo*, Adriana Maria Pereira*, Jorge Luis Akasaki*, Cesar Fabiano Fioriti¹*, Jordi Payá**, José Luiz Pinheiro Melges*

* Universidade Estadual Paulista (UNESP). BRAZIL

** Universitat Politècnica de València (UPV). SPAIN

Fecha de Recepción: 22/01/2014

Fecha de Aceptación: 17/06/2014

PAG 187-199

Abstract

This paper presents the technical feasibility of using ash in mortars, from burning sugarcane bagasse, to generate power as a mineral admixture. The sugarcane bagasse ash (SCBA) underwent chemical characterization and x-ray diffraction tests. The milling of the material was studied, together with the composition of the mortars containing the SCBA at 3%, 5%, 8% and 10% ratios by weight, as partial replacement of fine aggregates. The mechanical properties were studied by compressive and diametral tensile strength tests. Some properties related to the durability of the material were also studied, such as drying shrinkage, capillary absorption and accelerated reactivity. The work was performed using low pozzolanic activity SCBA. However, the results indicate that it is possible to use SCBA as partial replacement of fine aggregates in the production of mortars.

Keywords: Sugarcane bagasse ash, mineral admixture, mortar

Resumen

Este trabajo presenta la factibilidad técnica de utilización de cenizas resultantes del proceso de la quema de bagazo de caña de azúcar, para la generación de energía como adición mineral en morteros. Se realizaron ensayos de caracterización química y la difracción de rayos x en las cenizas del bagazo de la caña de azúcar (CBC). Un estudio de molienda del material fue realizado, junto con la composición de los morteros que contienen los niveles de CBC de 3%, 5%, 8% y 10% en peso como sustitución parcial del agregado fino. A través de la resistencia a la compresión y tracción por compresión diametral fueron analizadas sus propiedades mecánicas. También se han encontrado algunas propiedades relacionadas con la durabilidad del material, tales como el encogimiento, absorción y acelerada reactividad. El trabajo se realizó con la actividad puzolánica de la CBC. Sin embargo, los resultados indican que es posible utilizar el CBC como sustitución parcial de agregado fino, en la producción de mortero.

Palabras claves: Ceniza del bagazo de la caña de azúcar, mezcla mineral, mortero

1. Introducción

Se señala a Brasil como el mayor productor mundial de caña de azúcar y de sus derivados (azúcar y etanol). Este escenario retrata una tendencia continua, principalmente debido a los incentivos para la producción de biocombustible, como energía alternativa.

Según los expertos la próxima cosecha de caña de azúcar para la temporada 2013/2014, si el clima permanece estable – con lluvias y presencia de sol – podría llegar aproximadamente a 580 millones de toneladas de caña de azúcar. La última temporada 2011/2012 procesó aproximadamente 532 millones de toneladas de caña de azúcar (TAGUCHI, 2012).

El proceso de extracción de jugo de caña de azúcar genera una gran cantidad de bagazo (alrededor de 30% de caña de azúcar molida), biomasa que corresponde a una importante fuente de energía. Alrededor del 95% del total del bagazo de caña de azúcar producido en Brasil es quemado en calderas generadoras de vapor, que producen residuos de ceniza de bagazo, que en la mayoría de los casos no cumplen con las normas adecuadas y, por lo tanto, causan serios problemas ambientales. La ceniza del bagazo de caña de azúcar (CBC), compuesta principalmente de sílice, SiO₂ tiene el potencial para ser usada como mezcla mineral en morteros y concretos (Cordeiro et al., 2008). Las estimaciones muestran que por cada tonelada de azúcar de caña procesada, aproximadamente se producen seis kilos de CBC (SALES y LIMA, 2010).

¹ Autor de correspondencia / Corresponding author:

Civil Engineer, Teacher at the Department of Planning, Urbanism and Environment, School of Science and Technology, University Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: fioriti@fct.unesp.br

Un problema que normalmente enfrentan los gerentes de las plantas generadoras es la eliminación de estas cenizas. En la mayoría de los casos las CBC son empleadas en el campo, como fertilizantes para el cultivo de caña de azúcar (aún cuando contiene pocos nutrientes), o son desechadas naturalmente sin un manejo eficiente (SOUZA et al., 2007). Otros autores han reportado la presencia de muchos metales pesados en muestras de CBC, indicando que su uso como fertilizante debiera ser restringido (SALES y LIMA, 2010).

La industria de la construcción tiene un gran potencial para incorporar este residuo como materia prima, contribuyendo al desarrollo tecnológico, ambiental y económico de la región (ROCHA y CHERIAF, 2003).

Algunos investigadores estudian esta alternativa como mezcla mineral en materiales cementicios, tales como morteros y concreto.

Ganesan et al. (2007) descubrieron que, en los morteros que ellos producían, los tiempos iniciales y finales de fraguado aumentaban, al incrementar el contenido de CBC como reemplazo de cemento.

Souza y colaboradores (2007) investigaron el reemplazo parcial de cemento por CBC en morteros, y descubrieron que hasta un 20% de adición de residuo de cenizas es técnicamente posible, sin alterar las propiedades mecánicas.

Cordeiro et al. (2008) también estudiaron el reemplazo de CBC por cemento en morteros, señalando que el efecto puzolánico del residuo depende del tamaño de la partícula y de su finura. Estas propiedades pueden ser alcanzadas por medio de procedimientos de quema y molienda del material.

Otros estudios también han probado la factibilidad del empleo de la CBC como reemplazo de agregados finos. Esta alternativa ofrece una ventaja en la etapa de preparación del residuo, puesto que puede ser empleada como material inerte *in natura*, no requiriendo largos tiempos de molienda y quema a altas temperaturas. Según Lima et al. (2009) se observó un aumento de la resistencia a compresión, a los 28 días, en morteros con un reemplazo de hasta un 50% de arena natural.

Ganesan et al. (2007) emplearon siete trazas de mortero, una como referencia y las otras seis con 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de cemento reemplazado por CBC. La aplicación de hasta un 20% de CBC fue considerada óptima desde el punto de vista del rendimiento: temprana y elevada resistencia, reducción de la permeabilidad del agua y resistencia a la penetración de iones de cloruro, elevando así la durabilidad del material.

Cordeiro, G. C. et al. (2010) emplearon un alto contenido de carbón de CBC en la producción de morteros. La resistencia a compresión, compacidad y encogimiento por secado fueron evaluados. Debido a la baja reactividad de la ceniza, estos estudios mostraron una pérdida de resistencia y un aumento del encogimiento en relación al reemplazo de ceniza en cemento, que sólo mejoró su compacidad.

Singh et al. (2000) estudiaron el deterioro provocado por el ácido sulfúrico (H_2SO_4 , N/60) medido por pruebas de expansión de prismas. Ellos descubrieron que las expansiones producidas en pastas de cemento, con un contenido de 10% de CBC, fueron significativamente menores que las expansiones en las pastas de referencia. El aumento de la resistencia al ácido fue atribuido a la reacción puzolánica con el hidróxido de calcio, reduciendo así la permeabilidad debido a la presencia de la CBC.

Los resultados de las pruebas a la penetración de iones de cloruro en pastas cementicias, desarrolladas por Ganesan et al. (2007), mostraron que el total de carga ejercida, en culombios, disminuye al aumentar la proporción de CBC de reemplazo en el cemento, demostrando que la adición de cenizas proporciona buena resistencia a la penetración de iones de cloruro.

Puesto que generalmente las adiciones disminuyen la exudación, que previene que el agua se dirija a la superficie, existe un riesgo potencial de ruptura, debido al encogimiento por secado; en particular cuando esas adiciones son empleadas en altos niveles, y cuando existe una intensa proporción de evaporación de agua (SILVA, 2007).

Más aún, la CBC también puede ser aplicada al concreto. Los investigadores han demostrado que la adición de ceniza, como agregado fino, no cambia las propiedades mecánicas del concreto producido con tres tipos de cemento (SALES y LIMA, 2010).

Sin embargo el estudio sobre la aplicación de materiales alternativos al concreto y morteros, requiere de especial atención, en términos de durabilidad. La incorporación de mezclas minerales a compuestos de cemento, tiene un efecto positivo en algunas de sus propiedades, las cuales pueden ser explicadas por la disminución del tamaño de los poros, el aumento de la tortuosidad y la reducción de la interconectividad entre poros (HELENE, 1995).

Entonces, el propósito de este trabajo es comprobar el desempeño de los morteros producidos con distintas proporciones de CBC, como reemplazo parcial de agregados finos. Por lo tanto las propiedades mecánicas y la durabilidad del material son analizadas.

2. Materiales y métodos

El completo programa experimental fue realizado en el Laboratorio de Ingeniería Civil de CESP – Compañía Energética de Sao Paulo y el Laboratorio de Ingeniería Civil de UNESP – Universidad Estatal Paulista, ubicados en la ciudad de Ilha Solteira, Brasil.

2.1 Cemento

Puesto que este estudio investigó el uso de la adición mineral, sustituyendo arena por CBC, se escogieron cementos sin adiciones para calificar apropiadamente la reactividad del material. El cemento empleado fue CPV-ARI (Cemento Portland de alta resistencia inicial), según la norma NBR 5733 (ABNT, 1991), que a pesar de su baja proporción de adición, puede ser encontrado en el mercado con mayor facilidad que el CPI (Cemento Portland sin adiciones).

2.2 Agregados Finos

Se empleó arena natural caracterizada por pruebas granulométricas NBRNM 248 (ABNT, 2003). La Tabla 1 muestra su caracterización.

Table 1. Characterization of fine aggregates

Tabla 1. Caracterización de agregados finos

Maximum diameter (mm)/ Diámetro máximo (mm)	Fineness module/ Módulo de Finura	Absorption (%) / Absorción (%)	Pulverulent material/ Material Pulverulento	Organic material/ Material Orgánico	Specific mass/ Masa Específica	
					Apparent / Aparente (g/cm³)	Absolute/ Absoluta (g/cm³)
4.75	2.66	0.30	0.78	+ clear	1.549	2.622

2.3 Superplastificantes

Un aditivo superplastificante fue empleado para mantener un flujo constante en todas las trazas, sin alterar la proporción agua/cemento. El aditivo reductor de agua seleccionado, corresponde a un líquido de fraguado normal, de tercera generación, con una dosis recomendada por el fabricante de 0,20% a 0,90% del peso del cemento.

2.4 Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar

La muestra de la CBC fue tomada de una planta procesadora en la región noroeste de Sao Paulo, de un pozo de decantación, donde la quema del bagazo se produce en calderas, que generan CBC, la cual mezcla el agua en el lavador de gas. Esta agua, junto con el agua del lavado de la caña de azúcar, es llevada al pozo de decantación, donde el líquido es separado de la parte sólida de la ceniza y es reutilizada por la planta.

A continuación la Tabla 2 muestra la composición química de la CBC, según la norma NBR 12653 (ABNT, 2012), donde la CBC es empleada de acuerdo a los requerimientos químicos para material puzolánico, que contiene una alta proporción de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, que reduce la pérdida al fuego y el contenido alcalino disponible.

Table 2. Chemical analysis of SCBA sample

Tabla 2. Análisis químico de la muestra CBC

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	Fire loss/Pérdida al fuego	Humidity/Humedad
36.58	8.30	4.00	2.71	0.51	0.45	0.72	35.34	3.56

Las cenizas fueron homogenizadas y permanecieron en un horno, para secado durante 24 horas, a una temperatura de 110°C; luego fueron expuestas al sol por 24 horas más. A continuación las cenizas fueron molidas por un molino de bolas, compuesto de cilindros de acero, empleado para producir cementos. 5.0 kilos de ceniza en polvo fueron molidos a diferentes tiempos de 20, 30, 40 y 50 minutos. La Tabla 3 presenta los valores de finura, de acuerdo a la norma NBR 12826 (ABNT, 1993). De este modo, el proceso fue considerado satisfactorio para reducir el tamaño granulométrico de la arena y dar una apropiada uniformidad al material.

Table 3. SCBA milling results

Tabla 3. Resultado de la molienda de CBC

Milling time (min)/ Tiempo de molienda (min)	Blaine specific surface (cm^2/g)/ Superficie Blaine específica (cm^2/g)	Fineness Index (% retained sieve #325)/ Índice de Finura (% retenido por el tamiz #325)	Absolute specific mass (g/cm^3)/ Masa específica absoluta (g/cm^3)
20	11270	6.84	2.22
30	12948	3.34	2.22
40	13571	1.69	2.17
50	14164	0.96	2.17

En el estudio de variación de partículas, en relación a los tiempos de molienda de la CBC, se empleó la técnica laser de análisis de tamaño de partículas. La importancia de esta técnica está asociada con la reducción de control y distribución del tamaño de partícula de la ceniza, y la optimización del proceso de molienda. La Tabla 4 muestra los tamaños de partículas, que corresponden al 10% y 90% de la masa del material, D_{10} y D_{90} , respectivamente, además del tamaño promedio.

Table 4. SCBA Diameter obtained by laser particle size (μm).

Tabla 4. Diámetro de CBC obtenido por la técnica laser de partícula (μm)

Milling time (min)/ Tiempo de molienda (min)	D_{10} (μm)	Average size (μm)/ Tamaño promedio (μm)	D_{90} (μm)
No milling	3.87	25.13	55.33
20	1.58	12.97	39.72
30	2.51	10.58	21.42
40	1.39	9.99	32.23
50	1.26	8.49	27.00

De acuerdo con los resultados de superficie específica, índice de finura y distribución de partículas, el tiempo ideal de molienda se determinó en 20 minutos, para su aplicación en morteros, puesto que mejora la uniformidad del grano, reduce el tamaño promedio de las partículas y corresponde al menor tiempo estudiado, considerando que el proceso consume energía y representa un costo adicional. La Figura 1 muestra la molienda de la CBC durante 20 minutos.

Figure 1. Aspect of SCBA used in mortars

Figura 1. Aspecto de la CBC empleada en morteros

Un estudio sobre la actividad puzolánica con cemento, también fue realizado en relación a los tiempos de molienda. La Tabla 5 presenta el estudio de actividad puzolánica con cemento, basado en la norma NBR 5752 (ABNT, 2012). Todas las cenizas mostraron un índice de actividad puzolánica (IAP) bajo el valor mínimo de 75% establecido por la norma NBR 12653 (ABNT, 2012).

De esta manera, de acuerdo con los requerimientos químicos de este estándar (composición química y actividad puzolánica), esta CBC no puede ser considerada como material puzolánico, puesto que tiene una baja reactividad con el cemento.

Table 5. Study of SCBA pozzolanic activity
Tabla 5. Estudio de la actividad puzolánica de la CBC

Milling time (min)/Tiempo de molienda (min)	Water (g)/Agua (g)	Flow (mm)/Flujo (mm)	Strength (MPa)/Resistencia (MPa)	IAP (%)	Water required/Agua requerida
No milling /Sin molienda	170	230	47,90	-	-
20	195	228	24,20	50,52	1,14706
30	194	225	24,30	50,73	1,14118
40	185	220	24,60	51,36	1,08824
50	190	226	23,80	49,69	1,11765

Finalmente se realizó una difracción por rayos-x en la CBC empleada en morteros (Figura 2), mostrando intensos máximos de óxido de silicio alfa y cuarzo alfa, lo que comprueba la existencia de sus fases cristalinas. Sin embargo se observó un pequeño giro en su ángulo basal (2θ) 20° , lo que sugiere una pequeña cantidad de fase amorfa. Esta prueba confirmó la baja reactividad del material, calificándolo como no puzolánico, debido a las fases cristalinas predominantes que fueron encontradas. En consecuencia, este material fue incorporado como reemplazo parcial de agregados finos.

Figure 2. Aspect of SCBA used in mortars
Figura 2. Aspecto de la CBC empleada en morteros

2.5 Composición de los morteros

Los resultados de análisis químico y difracción por rayos X mostraron un material puzolánico menos efectivo como reemplazo en cemento. De esta forma, se decidió incorporar la CBC como reemplazo parcial de agregados finos.

Se realizó una investigación para definir la proporción agua/cemento y la consistencia adecuada para todas las trazas, con el reemplazo parcial de agregados finos por CBC, empleando un superplastificante. Se adoptó una proporción agua/cemento de 0,48 basada en la proporción 1:3. El reemplazo de de agregados finos por CBC se realizó en porcentajes de 0%, 3%, 5%, 8% y 10%. La Tabla 6 muestra la composición de trazas empleadas.

Table 6. Study of SCBA pozzolanic activity
Tabla 6. Estudio de la actividad puzolánica de la CBC

Trace/Traza	Cement (g)/ Cemento (g)	Sand (g)/ Arena (g)	SCBA (g)/ CBC (g)	Water (g)/ Agua (g)	Additive (%)/ Aditivo (%)	w/c relation/ Proporción a/c	Flow (mm)/ Flujo (mm)
Control	1000	3000	-	480	-	0.48	186
3%	1000	2910	90	480	-	0.48	185
5%	1000	2850	150	480	0.20	0.48	193
8%	1000	2760	240	480	0.60	0.48	193
10%	1000	2700	300	480	0.90	0.48	181

Se debe mencionar que fue necesario introducir una cantidad mínima de superplastificante en las incorporaciones de 5%, 8% y 10%, adecuada para mantener la proporción a/c constante, promoviendo así una buena dispersión del grano y aumentar la fluidez de la pasta.

También se observó que para la incorporación de 10%, se redujo la consistencia debido al uso de la máxima cantidad de aditivo, según especificaciones del fabricante. Por esta razón no fue posible introducir mayores proporciones de reemplazo de arena para la CBC. El mortero para la traza del 10% fue bastante seco y muy difícil de trabajar. Más aún, se produjo un oscurecimiento gradual del color de las muestras, debido al aumento del contenido de CBC en los morteros.

2.6 Resistencia a compresión

Se moldearon cinco muestras cúbicas (40 x 40 x 40 mm) por traza, para cada edad, con ruptura a 7, 28 y 56 días, tomando el promedio aritmético de la máxima resistencia a tracción, entre ellas. Las muestras fueron moldeadas y curadas de acuerdo a los procedimientos de la norma NBR 13279 (ABNT, 2005).

2.7 Resistencia a tracción por compresión diametral

Esta prueba siguió las recomendaciones de la norma NBR 7222 (ABNT, 2011). Cinco muestras fueron moldeadas (50 x 100 mm) por traza, para cada edad, con ruptura a 7, 28 y 56 días, tomando la máxima resistencia a tracción, como promedio aritmético.

2.8 Encogimiento por secado

La determinación de la variación de encogimiento por secado de las barras de mortero, debido al uso de materiales puzolánicos, fue realizada de acuerdo a la norma NBR 12650 (ABNT, 2012). Sólo para esta prueba se emplearon dos trazas, la traza Control (sin adición) y la traza con 10% de CBC. Tres muestras prismáticas fueron moldeadas (25x25x285 mm) para cada traza, tomando su promedio aritmético como resultado final.

2.9 Reactividad acelerada

La prueba de la reactividad potencial de los agregados, fue realizada de acuerdo a la norma NBR 15577-5 (ABNT, 2008, que evaluó la reacción alcalina del agregado por medio del control de la expansión de las barras de mortero. Esta prueba fue realizada para revisar los posibles efectos de la CBC en la reducción de la capacidad expandible de las barras. Tres muestras prismáticas fueron preparadas (25x25x285 mm) para cada traza, tomando sus promedios aritméticos como resultado final. Esta prueba empleó las trazas Control de 5% y 10% CBC.

2.10 Absorción Capilar

La prueba para determinar la absorción capilar fue realizada según la norma NBR 9779 (ABNT, 2012), en cinco muestras cilíndricas (50 x 100 mm) por traza, de acuerdo a las especificaciones para modelado de la norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Las muestras fueron curadas a las edades de 7 y 28 días. Posteriormente fueron colocadas en un horno de secado a masa constante. Luego fueron retiradas de horno y dejadas a secar a la intemperie para evitar altas tasas iniciales de absorción de agua. Además se empleó un aditivo a prueba de agua en las dos capas de la superficie de las muestras, dejando libre la base para permitir la penetración de agua y medir la altura de la capa de agua.

3. Resultados y discusión

3.1 Resistencia a compresión

Según los resultados de la Figura 3, se descubrió que luego de 7 días, la resistencia a compresión de las trazas con adición de CBC al 3%, 5% y 8% son muy similares y menores que la resistencia a compresión de la traza Control, pero evolucionan a las edades de 28 y 56 días, indicando que la evolución de la resistencia a compresión es menor.

Figure 3. Compressive strength
Figura 3. Resistencia a compresión

Sin embargo, a los 56 días, todas las trazas con CBC mostraron mayor resistencia a la compresión que la traza Control, lo que puede atribuirse al efecto físico del llenado de vacíos con granos finos de CBC. Hubo un aumento de 23,3% de resistencia a compresión, a los 56 días para la traza Control con 10% de CBC.

La presencia del superplastificante en el aumento de la resistencia a compresión en las trazas con adición del 5%, 8% y 10% de CBC, es insignificante, puesto que hubo un aumento de la resistencia a compresión en la traza con 3% (sin aditivo), en relación a la traza de control.

3.2 Resistencia a tracción por compresión diametral

Según la Figura 4, hubo un aumento de la resistencia a tracción, por compresión diametral, en la traza con 3% de CBC, en relación a la traza Control, para todas las edades. Sin embargo en la traza con 5% de CBC, las resistencias a tracción permanecieron prácticamente iguales y más bajas que las resistencias a tracción de la traza con 3%. Por lo tanto, para esta prueba, la traza con 3% de CBC fue considerada como la que posee el contenido óptimo de reemplazo.

Figure 4. Tensile strength by diametral compression
Figura 4. Resistencia a tracción por compresión diametral

3.3 Encogimiento por secado

La Tabla 7 muestra los valores obtenidos por la determinación del encogimiento por secado en los morteros, debido al empleo de materiales puzolánicos. La retracción de la traza Control aumentó en un valor de 0,052%, y en contraste, la traza con 10% de CBC mostró un 0,078% de encogimiento.

Table 7. Drying shrinkage
Tabla 7. Encogimiento por secado

Trace/ Traza	CP/ PC	Initial reading (mm)/ Lectura inicial (mm)	Final reading (mm)/ Lectura final (mm)	Final average reading (mm)/ Promedio lectura final (mm)	Retraction (%) / Retracción (%)	Variance of retraction (%) / Varianza de retracción (%)
Control	1	294.242	294.091	293.687	0.052	0.026
	2	293.459	293.303			
	3	293.821	293.667			
10% of SCBA/10% de CBC	1	294.587	294.351	294.055	0.078	
	2	293.679	293.453			
	3	294.587	294.362

En síntesis hubo un aumento de 0,026% de encogimiento por secado, debido al uso de CBC. Aunque este aumento fue menor que el máximo de 0,05% establecido por la norma NBR 12653 (ABNT, 2012), que clasifica a los materiales puzolánicos.

3.4 Reactividad acelerada

La Figura 5 muestra los resultados de la prueba de reactividad acelerada potencial. La línea discontinua indica el umbral de expansión, bajo el cual, el material puede ser considerado potencialmente inocuo a los 30 días, según lo indica la norma NBR15577-5 (ABNT, 2008). Las tres trazas (Control, 5% y 10% de CBC) son consideradas potencialmente reactivas.

Figure 5. Potential accelerated reactivity
Figura 5. Reactividad acelerada potencial

Sin embargo, a los 30 días, las trazas que contienen CBC (5% y 10%) tuvieron expansiones similares y menores que la expansión de la traza de Control, con una disminución de aproximadamente 15%. Esta reducción de expansión indica que la incorporación de CBC en morteros posee algún grado de actividad puzolánica.

3.5 Absorción capilar

Las Figuras 6 y 7 muestran la absorción capilar a los 7 y 28 días, respectivamente. Para ambas edades, hay una reducción de la absorción capilar cuando se agregan contenidos de CBC. La adición de estos agregados finos a los morteros, se encuentra directamente relacionada con efectos físicos, puesto que promueve el llenado de vacíos en la pasta y dificulta el desplazamiento de agua a través de los capilares.

Figure 6. Capillary absorption at 7 days

Figura 6. Absorción capilar a 7 días

Figure 7. Capillary absorption at 28 days

Figura 7. Absorción capilar a 28 días

Se produjo una marcada reducción, de 27% y 38%, a los 7 y 28 días, respectivamente, de la absorción capilar al final de la prueba (72 horas) para la traza Control, en comparación con la traza de 3% de CBC. Sin embargo, con esta proporción de reemplazo la disminución fue menor, indicando así que la traza con 3% de CBC es la más eficiente para reducir la absorción.

4. Conclusiones

Según la caracterización de resultados de la CBC, el trabajo fue realizado con materiales de baja actividad puzolánica. Sin embargo se confirmó que la CBC puede ser empleada como reemplazo parcial de agregados finos para la producción de morteros.

El proceso de molienda es una etapa muy importante, siendo el tiempo de molienda ideal 20 minutos, puesto que proporciona uniformidad granulométrica y también reducción del tamaño. Esto es confirmado por el área de superficie específica y por el tamaño de partícula laser.

Las pruebas de composición química y de actividad puzolánica mostraron que la CBC no puede ser clasificada como material puzolánico, según el criterio de la norma NBR 12653 (ABNT, 2012).

Aunque para la prueba de encogimiento por secado, esta incorporación arrojó un valor menor que el límite establecido por la norma anteriormente mencionada.

El análisis de difracción de la CBC reveló máximos de estructura cristalina y también mostró desviaciones del ángulo basal (2 θ) 20°, sugiriendo la existencia de una pequeña cantidad de material amorfo. Es necesario realizar otras pruebas, tales como de análisis térmico para verificar la actividad pozolánica del material.

Se debe tomar en cuenta que los métodos de evaluación para material pozolánico son discutibles.

Gava y Prudêncio Jr. (2007), por ejemplo, cuestionan el uso de características químicas y físicas, así como el grado de deformidad pozolánica empleada para su clasificación y selección.

Los resultados de resistencia a compresión mostraron elevados niveles para todas las proporciones de incorporación de CBC, atribuidos al efecto físico de llenado de vacíos por parte de granos finos.

Hubo un aumento de la resistencia a tracción por compresión diametral, en las trazas que contienen 3% de CBC, en comparación a la traza Control; por lo que fue considerada como la proporción óptima de reemplazo.

La adición de finos de CBC para todas las proporciones de reemplazo, condujo a la reducción de absorción capilar, puesto que promueve el llenado de vacíos, previniendo el ingreso de agentes agresivos al mortero.

Debido a lo anterior, se estima que la introducción de CBC puede ser considerada como material alternativo en la producción de morteros y probablemente en concretos, puesto que mejora diversas propiedades y, en particular, reduce el impacto ambiental causado por su inadecuada eliminación.

5. References/Referencias

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2003)**, NBRNM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1991)**, NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2012)**, NBR 5752: Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento – Método de ensaio. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2011)**, NBR 7222: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à compressão diametral de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2012)**, NBR 9770: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2012)**, NBR 12650: Materiais pozolânicos – Determinação da variação da retração por secagem devida à utilização de materiais pozolânicos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2012)**, NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1993)**, NBR 12826: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação do índice de finura por meio de peneirador aerodinâmico. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2005)**, NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2008)**, NBR 15577-5: Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 5 – Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, Brasil.
- Cordeiro G. C., Toledo Filho R. D., Tavares L. M., Fairbairn E. R. M. (2008)**, Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. *Cement & Concrete Composites*, 30, 410-418.
- Cordeiro G. C., Rangel R. C. N., Barroso T. R. (2010)**, Avaliação da resistência à compressão, da compactidade e da retração por secagem de argamassas com cinza do bagaço de cana de açúcar com elevado teor de carbono. In: 52º Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza, Brazil. IBRACON (CD-ROM).
- Ganesan K., Rajagopal K., Thangavel K. (2007)**, Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement and Concrete Composites*. Elsevier, 29, 515-524.
- Gava G. P., Prudencio Jr L. R. (2007)**, Pozzolanic activity tests as a measure of pozzolans performance. *Magazine of Concrete Research*, 59, 729-741.
- Helene P. R. L. (1995)**, Vida útil das estruturas. *Revista Técnica*, 17, 28-31.

- Lima S. A., Sales A., Moretti J. P., Santos T. J. (2009)**, *Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana de açúcar em substituição ao agregado miúdo*. Acta Scientiarum Technology (UEM), 18, 87-97.
- Rocha J. C., Cheriaf M. (2003)**, *Aproveitamento de resíduos na construção*. Coleção Habitar: Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. Porto Alegre: ANTAC, v.4.
- Sales A., Lima S. A. (2010)**, *Use of brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement*. Waste Management, 30(6),1114-1122.
- Silva M. G. (2007)**, *In: Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais: Cimentos Portland com adições minerais*. São Paulo: IBRACON, v.1, 761-793.
- Singh N. B., Singh V. D., Rai S. (2000)**, *Hydration of bagasse ash-blended portland cement*. Cement and Concrete Research. Elmsford, 30, 1485-1488.
- Souza G. N., Formagini S., Custódio F. O., Silveira M. M. (2007)**, *Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana de açúcar*. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, Bento Gonçalves, Brazil. IBRACON (CD-ROM).
- Taguchi V. (2012)**, *Safrá 2013/2014 de cana de açúcar pode ser de 580 milhões de toneladas*. Revista Globorural (Online), december 326.