

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. Introduction

Data point to Brazil as the world's largest sugarcane producer and also its derivatives (sugar and ethanol). This scenario portrays a continued growth trend, mainly due to the incentives for biofuel production as an alternative energy.

For the 2013/2014 sugarcane crop, according to experts, if the climate remains stable – with rain and sun incidence – the next season could reach approximately 580 million tons of sugarcane. The last 2011/2012 season processed approximately 532 million tons of sugarcane (TAGUCHI, 2012).

The sugarcane juice extraction process generates large quantities of bagasse (about 30% of ground sugarcane), biomass that is very important as an energy source. Nearly 95% of all sugarcane bagasse produced in Brazil is burned in boilers to generate steam, which generates bagasse ash residues, which in most cases does not meet adequate practices, hence becoming a serious environmental problem. Composed primarily of silica, SiO₂, the sugarcane bagasse ash (SCBA) has the potential to be used as a mineral admixture in mortars and concretes (Cordeiro et al., 2008). Estimates show that for every ton of sugarcane processed approximately six kg of SCBA are generated (SALES and 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

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).



A problem managers of processing plants currently face regards the disposal of these ashes. In most cases, the SCBAs are utilized in the field as organic fertilizer for sugarcane crops (even though it contains few nutrients) or are discarded in nature without efficient management (SOUZA et al., 2007). Other authors have reported the presence of several heavy metals in SCBA samples, indicating that its use as fertilizer should be restricted (SALES and LIMA, 2010).

The construction industry has a high potential for incorporating this type of residue as raw material, contributing to technological, environmental and economic regional development (ROCHA and CHERIAF, 2003).

Some researchers have been studying this alternative as mineral admixture in cementitious materials such as mortars and concrete.

Ganesan et al. (2007) found that in the mortars they produced, the initial and final setting times increased by increasing the SCBA content as cement replacement.

Souza and collaborators (2007) investigated the partial replacement of cement by SCBA in mortars and found that up to 20%, the addition of ash residues is technically possible without any loss in mechanical properties.

Cordeiro et al. (2008) also studied the replacement of SCBA by cement in mortars, pointing out that the pozzolanic effect of the residue greatly depends on the particle size and fineness. These properties can be achieved by specific burning procedures and the milling of the material.

Other studies have also shown the feasibility of using SCBA as replacement for fine aggregates. This alternative offers an advantage in the preparation stage of the residue, as it can be used as inert material in natura, which does not require lengthy milling times and firing at high temperatures. According to Lima et al. (2009) they observed an increase in compressive strength at 28 days in mortars with the replacement of up to 50% of natural sand.

Ganesan et al. (2007) used seven traces of mortar, one as a reference trace and the other six with 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% of cement replaced by SCBA. The application of up to 20% of SCBA was considered optimal from the performance perspective – high early strength, reduction of water permeability and resistance to chloride ion penetration, hence improving the durability of the material.

Cordeiro, G. C. et al. (2010) used high-carbon content SCBA in the manufacture of mortars. The compressive strength, compactness and drying shrinkage were evaluated. Due to the low ash reactivity, the results indicated loss of strength and increased shrinkage in relation to the ash cement replacement, which only improved its compactness.

Singh et al. (2000) studied the chemical deterioration caused by sulfuric acid (H_2SO_4 , N/60), measured by prism expansion tests. They found that the expansions in the cement pastes containing 10% of SCBA were significantly smaller than the expansions in the reference pastes. This acid resistance improvement was attributed to the pozzolanic reaction with calcium hydroxide and the reduced permeability due to the presence of SCBA.

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, compactidad 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 compactidad.

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.



The test results of accelerated chloride ion penetration into the cement pastes performed by Ganesan et al. (2007) showed that the total charge passing, in Coulombs, decreases with the increasing SCBA ratio replacing the cement, proving that the addition of ash provides good resistance to chloride ion penetration.

As mineral additions usually reduce exudation, which prevents water rising up to the surface, there is a cracking potential due to drying shrinkage, particularly when these additions are used at higher levels, and when there is a more intense water evaporation rate (SILVA, 2007).

Moreover, SCBA can also be applied to concrete. Researchers have shown that the addition of ash as fine aggregate did not change the mechanical properties of concrete produced with three types of cement (SALES and LIMA, 2010).

However, the study of applying alternative materials to concrete and mortars requires special attention in terms of its durability. The incorporation of mineral admixtures to cement composites have a beneficial effect on some of its properties, which can be explained by the decrease in pore size, increased channel tortuosity and reduced pore interconnectivity (HELENE, 1995).

Thus, the purpose of this work is to verify the performance of mortars produced with different SCBA ratios, as partial replacement of fine aggregates. Therefore, the mechanical properties and durability of the material were analyzed.

2. Materials and methods

The entire experimental program was conducted at the Civil Engineering Laboratory of CESP – Companhia Energetica de Sao Paulo and the Civil Engineering Laboratory of UNESP – Universidade Estadual Paulista, both located in the city of Ilha Solteira, Brazil.

2.1 Cement

As this study investigated the use of a mineral addition, by substituting sand for SCBA, cements with no additions were chosen to better qualify the reactivity of the material. Thus, the cement used was CPV-ARI (Portland high-early strength cement), according to NBR 5733 (ABNT, 1991), which despite its low addition ratio in its composition, it can be found on the market more easily than CPI (Portland cement with no additions).

2.2. Fine aggregates

Natural sand was used, characterized by granulometric tests NBRNM 248 (ABNT, 2003). Table 1 shows their characterization.

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 – Companhia Energética de Sao Paulo y el Laboratorio de Ingeniería Civil de UNESP – Universidad Estadual 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/cm ³)	Absolute/ Absoluta (g/cm ³)
4.75	2.66	0.30	0.78	+ clear	1.549	2.622



2.3 Superplasticizer

A superplasticizer was used in order to keep a consistent flow in all traces without changing the water to cement ratio. The water reducing additive chosen is a normal 'third generation' setting liquid, with a recommended dosage by the manufacturer of 0.20% to 0.90% of cement weight.

2.4 Sugarcane bagasse ash

The SCBA sample was collected in a processing plant in the northwestern region of São Paulo, from a decantation pond, and where the sugarcane bagasse is burned in boilers, generating the SCBA, which mixes with the water in the gas scrubber. This water, along with the sugarcane washing water, is taken to the decantation pond, where the liquid that is separated from the solid parts of the ash is reused by the plant.

Next, Table 2 shows the chemical composition of SCBA, according to NBR 12653 (ABNT, 2012), where the SCBA used is in accordance with the chemical requirements for pozzolanic material, which contains high $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ ratio, reduced firing loss and low alkali content available.

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 $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$, 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 ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ 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

The ashes were homogenized and remained in a kiln to dry for 24 hours at a temperature of 110°C and then 24 hours more exposed to sunlight. Next, the ash underwent milling in a ball mill composed of steel cylinders, used to produce cements. 5.0 kg of powdered ash were ground at different milling times of 20, 30, 40 and 50 minutes. Table 3 presents the fineness values, according to NBR 12826 (ABNT, 1993). Thus, the milling process was deemed satisfactory for providing ash grain size reduction and for providing better material uniformity.

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



In the study of particle size variation according to the SCBA milling times, the laser particle size analysis technique was used. The importance of this test is associated with the reduction control and distribution of ash particle size and the optimization of the milling process. Table 4 shows the particle sizes, which are 10% and 90% of the material mass, D_{10} and D_{90} , respectively, and also the average size.

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

According to the results of specific surface, fineness index and particle size distribution, 20 minutes for ash milling was used as the ideal time for applying the mortar, as it improved grain uniformity, reduced the average size of the particles and for being the shortest time studied, since the process consumes energy, becoming an additional cost. Figure 1 shows the appearance of the milled SCBA for 20 minutes.

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

A study of the pozzolanic activity with cement was also conducted due to the milling times. Table 5 presents the study of pozzolanic activity with cement, based on NBR 5752 (ABNT, 2012). All ashes showed pozzolanic activity index (PAI) below the minimum value of 75% set by NBR 12653 (ABNT, 2012).

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).



Thus, according to the chemical requirements (chemical composition and pozzolanic activity) required by this standard, this SCBA cannot be considered pozzolanic material, as it has low chemical reactivity with cement.

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

Finally, x-ray diffraction was carried out on the SCBA used in the mortars (Figure 2), exhibiting intense peaks of silicon alpha oxide and alpha quartz, which demonstrates the existence of its crystalline phases. However, a small shift in the baseline angle (2θ) 20° was observed, suggesting a small amount of amorphous phase. This test confirmed the low reactivity of the material, considering it as non pozzolanic due to the predominant crystalline phases found. Thus, it was incorporated as a replacement for part of the fine aggregates.

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.

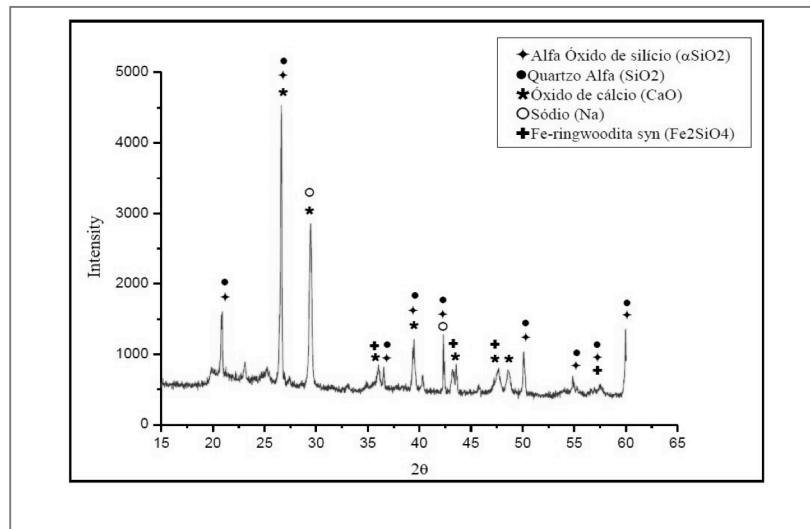


Figure 2. Aspect of SCBA used in mortars
Figura 2. Aspecto de la CBC empleada en morteros

2.5 Compositions of mortars

The chemical analysis and x-ray diffraction results showed a less effective pozzolan material in the cement replacement. Thus, it was decided to incorporate the SCBA, replacing part of the fine aggregate mass.

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.



An investigation was conducted to define the water to cement ratio and the consistency that would be suitable for all traces with the partial replacement of fine aggregates by SCBA, requiring the use of a superplasticizer. The water to cement ratio 0.48 was adopted and based on the 1:3 ratio, the replacement of fine aggregates by SCBA was performed in percentages of 0%, 3%, 5%, 8% and 10%. Table 6 shows the composition of the traces used.

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

It should be mentioned that it was necessary to introduce a minimal amount of superplasticizer in the incorporations of 5%, 8% and 10%, which is adequate to maintain the w/c ratio constant, promoting good grain dispersion and increasing the fluidity of the paste.

It was also observed that for the 10% incorporation, the consistency was reduced due to using the maximum amount of additive specified by the manufacturer. For this reason, it was not possible to introduce higher sand replacement ratios for SCBA. The mortar for the 10% trace was quite dry and very difficult to work with. Moreover, a gradual darkening in the color of the specimens was noted due to the increased SCBA content in the mortars.

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 Compressive strength

Five cubic specimens were molded (40 x 40 x 40 mm) per trace, for each age, with rupture at 7, 28 and 56 days, taking the arithmetic average between them as the ultimate tensile strength. The specimens were molded and cured following the procedures of NBR 13279 (ABNT, 2005).

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 Tensile strength by diametral compression

This test followed the recommendations of NBR 7222 (ABNT, 2011). Five specimens were molded (50 x 100 mm) per trace, for each age, with rupture at 7, 28 and 56 days, taking the ultimate tensile strength as the arithmetic average.

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. Drying shrinkage

The determination of drying shrinkage variation of the mortar bars, due to the use of pozzolanic materials, was performed in accordance with NBR 12650 (ABNT, 2012). For this test only two traces were used, the Control trace (no addition) and the trace with 10% of SCBA. Three prismatic specimens were molded (25x25x285 mm) for each trace, taking its arithmetic average as the end result.

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. Accelerated reactivity

The potential reactivity test of the aggregates was performed according to NBR 15577-5 (ABNT, 2008, which assessed the alkali-aggregate reaction by monitoring the expansion of the mortar bars. This test was performed in order to check the possible effects of SCBA on reducing the expandability of the bars. Three prismatic specimens (25x25x285 mm) were prepared for each trace, taking its arithmetic average as the end result. This test used the Control traces of 5% and 10% of SCBA.

2.10 Capillary absorption

The test to determine capillary absorption was performed by NBR 9779 (ABNT, 2012) on five cylindrical specimens (50 x 100 mm) per trace, which followed the molding according to NBR 13279 (ABNT, 2005). The specimens were cured until the ages of 7 and 28 days and then placed in a drying oven to constant mass. Next, they were removed from the oven and kept outdoors to cool in order to avoid high initial rates of water absorption. In addition, waterproofing additive was applied in two layers on the side surface of the specimens, leaving the free base for the penetration of water and for measuring the height of the water layer.

3. Results and discussion

3.1 Compressive strength

From the results in Figure 3, it was found that after 7 days the compressive strength of the traces with 3%, 5% and 8% of SCBA are very similar and lower than the compressive strength of the Control trace, but they evolve at the age of 28 and 56 days, indicating that the compressive strength evolution is slower.

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.

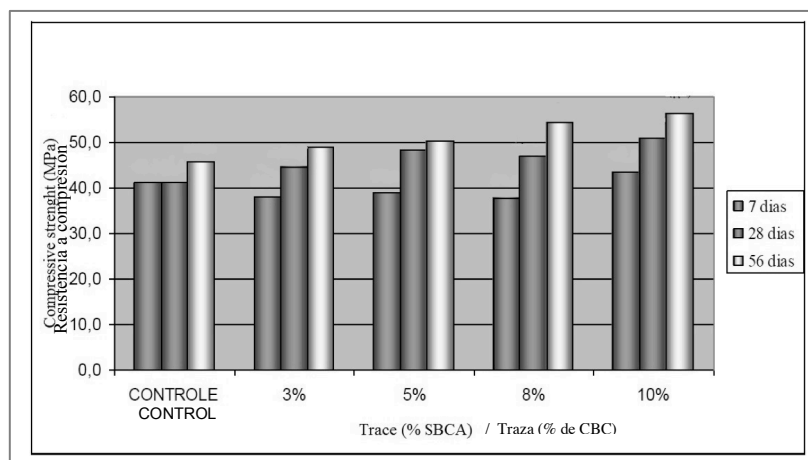


Figure 3. Compressive strength
Figura 3. Resistencia a compresión

However, at 56 days all traces with SCBA had higher compressive strength than the Control trace, which can be attributed to the physical effect of filling the voids with fine grains of SCBA. There was a 23.3% increase of compressive strength at 56 days for the Control trace with 10% of SCBA.

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.



The presence of the superplasticizer in the compressive strength increase in the traces with 5%, 8% and 10% of SCBA is insignificant, since there was a compressive strength increase in the trace with 3% (which has no additive) in relation to the Control trace.

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 Tensile strength by diametral compression

According to Figure 4, there was a tensile strength increase by diametral compression in the trace with 3% of SCBA in relation to the Control trace, for all ages. However, after the trace with 5% of SCBA, the tensile strengths remained practically the same and lower than the tensile strengths of the trace with 3%. Therefore, for this test, the trace with 3% of SCBA was considered as optimal replacement content.

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.

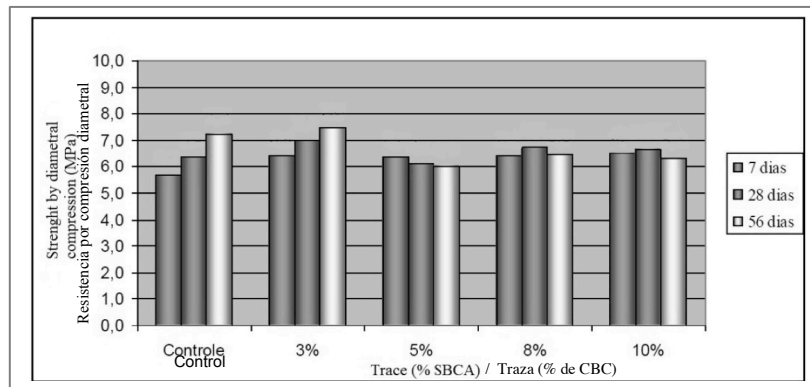


Figure 4. Tensile strength by diametral compression
Figura 4. Resistencia a tracción por compresión diametral

3.3 Drying shrinkage

Table 7 shows the values obtained in the drying shrinkage determination of the mortars, due to the use of pozzolanic material. The retraction of the Control trace gained a value of 0.052%, and in contrast, the trace with 10% of SCBA resulted in 0.078% of shrinkage.

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			



In short, there was a 0.026% increase in drying shrinkage due to the use of SCBA, although this increase was less than the maximum of 0.05% set by NBR 12653 (ABNT, 2012), which classifies pozzolanic materials.

3.4. Accelerated reactivity

Figure 5 shows the test results of potential accelerated reactivity. The dashed line indicates the expansion threshold, which below that the material can be considered potentially innocuous at 30 days, as stated by NBR15577-5 (ABNT, 2008). The three traces (Control, 5% and 10% of SCBA) are considered potentially reactive.

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.

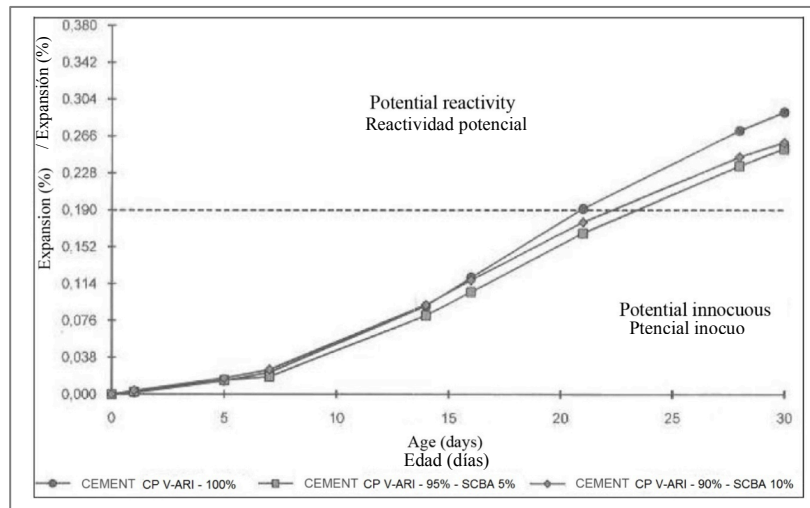


Figure 5. Potential accelerated reactivity
Figura 5. Reactividad acelerada potencial

However, at 30 days the two traces containing SCBA (5% and 10%) had similar expansions and below the expansion of the Control trace, with a decrease of approximately 15%. This reduction in expansion indicates that incorporating SCBA in mortars has some pozzolanic activity.

3.5 Capillary absorption

Figures 6 and 7 show capillary absorption at 7 and 28 days, respectively. For both ages, there is a capillary absorption reduction when any SCBA contents are added. The addition of these fines to the mortars is directly related to physical effects, since it promoted filling the voids in the paste, and this hampered the movement of water through the capillaries.

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.



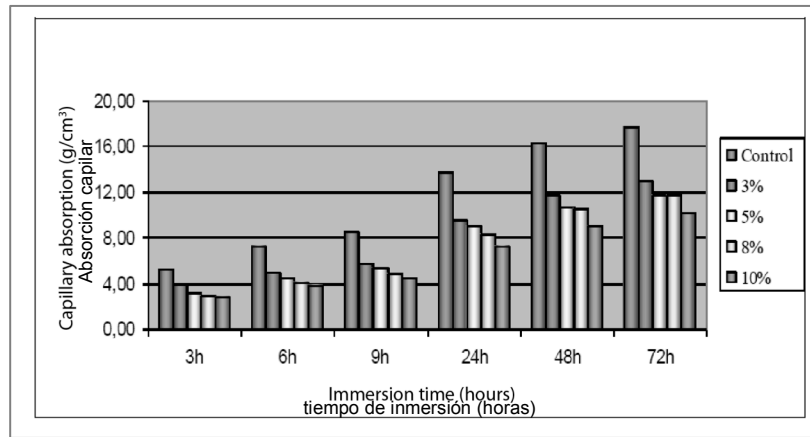


Figure 6. Capillary absorption at 7 days

Figura 6. Absorción capilar a 7 días

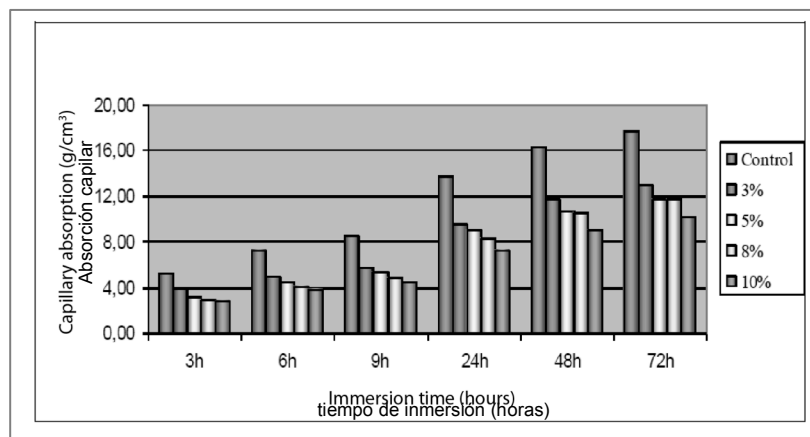


Figure 7. Capillary absorption at 28 days

Figura 7. Absorción capilar a 28 días

There was a very marked decrease, 27% and 38%, at 7 and 28 days, respectively, of capillary absorption at the end of the test (72 hours) for the Control trace, compared to the trace with 3% of SCBA. However, with this substitution ratio the decrease was lower, indicating that the trace with 3% has greater efficiency to reduce absorption.

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. Conclusions

According to the characterization results of SCBA, the work was performed with low pozzolanic activity materials. However, it was confirmed that SCBA can be used as partial replacement of fine aggregates for the production of mortars.

The milling process was an important step, with 20 minutes as the ideal milling time as it provides grain size uniformity and also its reduction, confirmed by specific surface area and laser particle size.

The chemical composition tests and pozzolanic activity showed that SCBA cannot be classified as pozzolanic material, according to the criteria of NBR 12653 (ABNT, 2012).

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).



Although for the drying shrinkage test this incorporation resulted in a value that is below the limit specified by the aforementioned standard.

The diffractogram of SCBA revealed crystalline structure peaks and also indicated a deviation from the baseline angle (2θ) 20° , suggesting the existence of a small amount of amorphous material. It is necessary to perform other tests such as thermal analysis to further verify the pozzolanic activity of the material.

It should be taken into consideration that the evaluation methods for pozzolanic material are controversial. Gava and Prudêncio Jr. (2007), for example, dispute the use of chemical and physical characteristics and the degree of pozzolan amorphism for its classification and selection.

The compressive strength results showed increased levels in all incorporation ratios of SCBA, assigned to the physical effect of filling the voids by the fine grains.

There was a tensile strength increase by diametral compression in the trace containing 3% of SCBA, compared with the Control trace, which was considered the optimal replacement ratio.

The addition of SCBA fines for all replacement ratios led to the reduction in capillary absorption, since it promoted the filling of voids, preventing the entry of aggressive agents in the mortar.

Given the above, it is believed that the introduction of SCBA can be considered an alternative material for the production of mortars and possibly concretes, as it improves its various properties, and particularly as it reduces the environmental impact caused by its inadequate disposal.

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 (2θ) 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 puzolánica del material.

Se debe tomar en cuenta que los métodos de evaluación para material puzolánico son discutibles. Gava y Prudêncio Jr. (2007), por ejemplo, cuestionan el uso de características químicas y físicas, así como el grado de deformidad puzolánica 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 concretes, 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)**, Safra 2013/2014 de cana de açúcar pode ser de 580 milhões de toneladas. *Revista Globorural (Online)*, december 326.

