

Estudo da capacidade de proteção da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, em relação à corrosão de armadura sob a ação de íons cloreto

Study of the protection capacity of the ashes of bagasse from sugar cane, in relation to corrosion of armor under the action of chloride ions

Estudio de la capacidad de protección de la ceniza de bagazo de caña de azúcar, en relación a la corrosión de la armadura bajo la acción de iones

Recebido: 06/04/2022 | Revisado: 15/05/2022 | Aceito: 11/06/2022 | Publicado: 20/06/2022

Adegilson José Bento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2730-9086>
Universidade de Pernambuco, Brasil
E-mail: adegilsonjose19@gmail.com

Dione Luiza da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2101-4511>
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
E-mail: dione_luiza@hotmail.com

Juliana Maria Mccartney da Fonseca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9943-7549>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: mccartney.juliana@gmail.com

Daniely Muliterno Cavalcanti das Neves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5102-6313>
Universidade de Pernambuco, Brasil
E-mail: danielycmn@gmail.com

Deborah Emanuelle Nunes de Albuquerque

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5847-5728>
Universidade de Pernambuco, Brasil
E-mail: dena@poli.br

Eliana Cristina Barreto Monteiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0842-779X>
Universidade de Pernambuco, Brasil
Universidade Católica de Pernambuco, Brasil
E-mail: eliana@poli.br

Resumo

As usinas produtoras de açúcar e álcool no Brasil vêm crescendo nos últimos anos, pela utilização da queima do bagaço da cana-de-açúcar para cogeração de energia para consumo próprio em vários setores produtivos e também para fornecimento a terceiros. No País, a produção canavieira se concentra nas regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste. Essa atividade contribui para o crescente aumento da quantidade de resíduos gerados no processo, dentre eles, a cinza da queima do bagaço da cana-de-açúcar (CBC). Este artigo objetivou verificar a viabilidade do uso da CBC e sua capacidade de proteção quanto à corrosão das armaduras sob ação de íons cloreto, em substituição parcial do cimento Portland no concreto, dosados com teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 25% de CBC, devido ao seu potencial pozolânico. A metodologia consistiu na realização dos ensaios de resistência à compressão, absorção por capilaridade, absorção por imersão, profundidade de carbonatação e potencial de corrosão, com vistas a analisar as propriedades mecânicas e os aspectos de durabilidade. Os resultados apontaram os teores de 10% e 15% como melhores teores para a substituição de cimento Portland por CBC. Essa substituição não causou prejuízos significativos à resistência do concreto e reduziu a taxa de absorção de água. Por outro lado, apenas os teores de 0% e 5% apresentaram baixa probabilidade de corrosão. Portanto, conclui-se que a CBC poderá ser utilizada como substituto parcial do cimento Portland em concretos não armados, fomentando a sustentabilidade na construção civil, no setor sucroalcooleiro e na sociedade.

Palavras-chave: Cinza; Cana-de-açúcar; CBC; Concreto; Cloretos.

Abstract

The sugar and alcohol production plants in Brazil have been growing in recent years, using the burning of sugarcane bagasse to co-generate energy for their own consumption in various productive sectors and also for supply to third parties. In the country, sugarcane production is concentrated in the Center-South and North-Northeast regions. This activity contributes to the increasing amount of waste generated in the process, among them, the ash from the burning

of sugarcane bagasse (SBA). This article aims to verify the feasibility of the SBA and its capacity for corrosion protection of armour under action of chloride ions, in partial replacement of Portland cement in concrete, dosed with a maximum of 0%, 5%, 10%, 15% and 25% of SBA, due to their pozzolanic potential. The methodology consisted in carrying out the tests of resistance to compression, absorption by capillarity, absorption by immersion, depth of carbonation and corrosion potential, aiming to analyze the mechanical properties and the aspects of durability. The results indicated the levels of 10% and 15%, as the best levels for the replacement of Portland cement by SBA. This replacement has not caused significant damage to the concrete's resistance and reduced the rate of water absorption. On the other hand, only the levels of 0% and 5% had a low probability of corrosion. Therefore, it was concluded that the SBA can be used as a partial replacement of Portland cement in unreinforced concrete, fostering the sustainability in civil construction, in the sugar cane sector and in society.

Keywords: Ashes; Sugar cane; SBA; Concrete; Chlorides.

Resumen

Las plantas productoras de azúcar y alcohol en Brasil vienen creciendo en los últimos años, utilizando la quema del bagazo de caña de azúcar para cogenerar energía para consumo propio en diversos sectores productivos y también para suministrar a terceros. En el país, la producción de caña de azúcar se concentra en las regiones Centro-Sur y Norte-Nordeste. Esta actividad contribuye al aumento de la cantidad de residuos generados en el proceso, entre ellos, las cenizas de la quema de bagazo de caña de azúcar (CBC). Este artículo tiene como objetivo verificar la viabilidad del uso de CBC y su capacidad para proteger contra la corrosión del refuerzo bajo la acción de iones de cloruro, en reemplazo parcial del cemento Portland en concreto, dosificado con contenidos de 0%, 5%, 10%, 15% y 25% de CBC, por su potencial puzolánico. La metodología consistió en realizar ensayos de resistencia a la compresión, absorción capilar, absorción por inmersión, profundidad de carbonatación y potencial de corrosión, con el fin de analizar las propiedades mecánicas y aspectos de durabilidad. Los resultados mostraron los niveles de 10% y 15% como los mejores niveles para reemplazar el cemento Portland con CBC. Este reemplazo no causó un daño significativo a la resistencia del hormigón y redujo la tasa de absorción de agua. Por otro lado, solo los grados 0% y 5% mostraron una baja probabilidad de corrosión. Por lo tanto, se concluye que el CBC puede ser utilizado como sustituto parcial del cemento Portland en hormigón no armado, promoviendo la sustentabilidad en la construcción civil, en el sector sucroalcoholero y en la sociedad.

Palabras clave: Cenizas; Caña de azúcar; CBC; Hormigón; Cloruros.

1. Introdução

Pozolanas são todos os aluminossilicatos reativos naturais, predominantemente na forma vítrea, que se solubilizam em meio alcalino e reagem em solução com os íons Ca^{2+} , levando à precipitação de silicatos de cálcio hidratados (Isaia, 2017). O uso de Pozolana natural data do início da utilização do concreto, Vitruvius, arquiteto e engenheiro militar romano, em sua obra *De Architectura* (27 a.C.), já descrevia uma espécie de pó encontrado ao redor do monte Vesúvio que se solidificava rapidamente quando umidificado e não dissolveria após enrijecido (Priszkulnik, p. 9, 2009).

Segundo Izquierdo e Ramalho (2014), “o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, representando sozinho 45% de todo o produto comercializado”. No terceiro levantamento apresentado pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), estima-se que o Brasil produzirá cerca de 568,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, na safra de 2021 e 2022. O que mostra a importância desse segmento para o setor do agronegócio, e sua relevância na economia brasileira. O setor é responsável por cerca de 2% do produto interno bruto (PIB) do país (CONAB, 2021).

Segundo Dias et al. (2009) as propriedades caloríficas do bagaço, devido a elevados teores de materiais lignocelulósicos em sua composição, possibilita uso dessa biomassa na produção de energia através do vapor gerado durante a sua queima. Sendo de grande viabilidade econômica e ambiental. O potencial de geração de energia a partir do bagaço é da ordem de 15% de toda demanda nacional, patamar que pode ser atingido até 2020 (Izquierdo & Ramalho, 2014).

Durante o processo de queima do bagaço são geradas cerca de 0,7% de cinzas residuais da massa de cana-de-açúcar moída, que geralmente são descartados de maneira inadequada, pois, não oferecem nenhuma fonte de nutrição para as plantas, causando assim grande impacto ao meio ambiente por ser um resíduo de difícil degradação (Sampaio et al., 2014).

O resíduo em questão apresenta como principais características uma grande quantidade de silicatos e aluminatos e alta atividade pozzolânica como mostraram algumas pesquisas dos últimos anos (Silva, 2016, Altoé e Martins, 2015, Santos et al.,

2020). Os resíduos gerados na queima do bagaço só apresentarão características pozolânicas se as condições de queima forem devidamente controladas, fator que se apresenta como impasse para utilização da cinza, já que a mesma, pode ter seus compostos cristalizados sob temperatura inadequada de calcinação o que as fazem perder assim suas características pozolânicas.

Sendo a cinza queimada de maneira adequada, o seu emprego, visto que se trata de um resíduo industrial, surge como alternativa ambiental, econômica e social para uso na substituição parcial do clínquer para produção de concretos e argamassas. Já que o aumento da produção de cimento também gera problemas, por se tratar de atividade com grande impacto negativo no meio ambiente, pelo alto consumo de recursos naturais para produção do clínquer, um dos componentes do cimento Portland.

A construção civil, por outro lado, possui grande participação na economia mundial, o que potencializa ainda mais o consumo do concreto. Em 2021, o PIB da construção fechou com crescimento de 9,7%, a maior alta taxa em 11 anos (IBGE, 2021). Resultando no aumento da produção de concreto e impulsionando as vendas de cimento, que terminou 2021 com um total de 64,7 milhões de toneladas de cimento vendidas, um aumento de 6,6% sobre o ano anterior, e volta ao patamar de comercialização de dezembro de 2015 (SINIC, 2021).

Assim, por apresentar características viáveis para substituição do clínquer, torna-se uma forma de destinação adequada desses resíduos das sucroalcooleiras, ajudando a minimizar a produção de CO₂ que é lançado na atmosfera durante a produção de cimento, reduzindo a degradação sofrida pelo solo no processo de mineração e agregando novas matérias-primas a construção civil.

Sobre a alcalinidade de concretos com a incorporação CBC, percebe-se que há uma redução gradativa no pH com a adição de materiais com características pozolânicas, já que as pozolanas, isoladamente, não possuem capacidade aglomerante e necessitam de uma fonte de cálcio (Isaia, 2017). O pH em torno de 13, está intimamente ligado a presença do hidróxido de cálcio, que acaba sendo responsável pela formação da camada passivadora que protege as armaduras, evitando que ocorra o fenômeno da corrosão (Neville, 2013).

Os estudos focados na durabilidade de concretos com substituição de cimento por CBC têm aumentado ao longo dos últimos anos. Estudos como Rossignolo, et al. (2018), Xu et al. (2019) e Cordeiro, Andreão e Tavares (2019), focados na caracterização do resíduo para entender as possibilidades de utilização ou focados nas propriedades mecânicas do material cimentício produzido (Lima et al., 2010; Almei-Da, 2013; Sampaio, 2013; Jagadesh et al., 2018; Maciel et al., 2020 e Preis et al., 2021), até estudos focados tanto para substituir uma porcentagem de cimento Portland ou de agregados (Fernandes, 2014) e também, estudos sobre a utilização de outros resíduos como: casca de arroz, Londero (2017); cinzas volantes e sílica, Wang et al. (2017); talo do milho, a palha do trigo e a cinza do talo do girassol, Aksogan et al. (2016).

No entanto, ainda há uma carência no que se refere à corrosão de armaduras (Lima, 2011; Lorencetti, 2017; Martins Filho et al., 2017). Assim, o foco desse trabalho trata da análise desse comportamento via a penetração de íons cloreto que é considerada uma das principais causas da corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado. Em Pernambuco, cerca de 64% das patologias em estruturas de concreto estão relacionadas à corrosão por íons cloreto (Andrade, 1997).

2. Materiais e Métodos

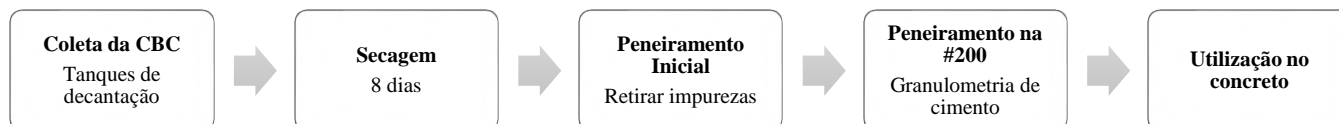
A seguir listam-se os materiais utilizados, a saber: CBC, cimento Portland CP II Z 32, agregado miúdo, agregado graúdo e os métodos seguidos no experimento.

2.1 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC)

A CBC foi coletada na Usina São José LTDA., situada na Região Metropolitana do Recife (RMR) (Usina São José, 2022). A Usina São José LTDA. utiliza o bagaço da cana-de-açúcar como combustível de caldeiras em processos de produção de cogeração de energia e obtém como produto final a CBC. A temperatura de queima varia conforme o teor de umidade do

bagaço, ficando compreendida entre 500°C a 700°C para 50% de umidade. A CBC foi coletada em uma das lagoas de decantação da usina, ainda úmida, a cor escura que apresentava indica que processo de combustão foi incompleto, conforme Cordeiro (2006). A Figura 1 apresenta resumidamente as etapas de manuseio da CBC, até sua utilização como substituto parcial do cimento Portland no concreto.

Figura 1: Tratamento da CBC.



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Cimento Portland e Agregados

O cimento Portland utilizado na pesquisa foi o CP II-Z-32, que apresenta um teor de pozolana que varia de 6% a 14% e bastante comercializado na região. Utilizou-se areia natural como agregado miúdo e brita basáltica como agregado graúdo para produção do concreto, ambos obtidos no mercado da RMR. Os agregados foram caracterizados por meio dos ensaios de módulo de finura - NBR 7211 (ABNT, 2009), massa unitária - NBR 16972 (ABNT, 2021), materiais pulverulentos- NBR 16973 (ABNT, 2021), massa específica (agregados miúdos) - NBR 16916 (ABNT, 2021), massa específica (agregados graúdos) - NBR 16917 (ABNT, 2021) e granulometria - NBR NM 248 (ABNT, 2003).

2.3 Aditivo

Para ajuste do abatimento do concreto, em decorrência da finura elevada do resíduo, utilizou-se um aditivo plastificante. Segundo o fabricante o consumo aproximado deste componente deveria situar valores entre 0,3% a 1% sobre a massa do cimento, ou seja, para cada 100 kg de cimento deve ser adicionado de 280 ml a 900 ml desse aditivo. Em caso de necessidade, o produto poderia ser redosado não havendo perda significativa de resistência.

2.4 Ensaio de espectrometria de fluorescência de Raios-X (FRX)

O FRX foi realizado para determinação da composição química da CBC, objetivando verificar se os teores dos compostos químicos presentes na CBC estavam em conformidade com o sugerido pela NBR 12653 (ABNT, 2006). Primeiramente foi separada 10g de CBC para este ensaio, em seguida foram confeccionadas pastilhas desse material para serem submetidas ao equipamento, que é um espectrômetro de FRX por comprimento de onda dispersivo, modelo Axios Max, que permite uma versatilidade grande de análise devido aos diferentes cristais que fazem parte do equipamento.

2.5 Dosagem e produção do concreto

O traço adotado para a produção do concreto foi o 1:1,75:2,75:0,55. Com essa relação a/c e o cimento CP II Z 32, a resistência à compressão do concreto da série padrão S0 (sem adição de CBC) aos 28 dias deve atingir 25MPa, pela curva de Abrams. Os concretos foram produzidos com substituição parcial do cimento Portland, em massa, por teores de 0%-S0, 5%-S5, 10%-S10, 15%-S15 e 25%-S25 por CBC. O aditivo plastificante foi utilizado apenas na série S25, visto que esta série não apresentou trabalhabilidade quando produzida sem o aditivo, sendo então necessário 0,6% de aditivo, teor que está dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante.

2.6 Ensaio de resistência à compressão

Para avaliar a resistência à compressão do concreto produzido com CBC foram moldados Corpos de Provas (CPs) cilíndricos com dimensões de \varnothing (10x20) cm para as séries S0, S5, S10, S15 e S25 e ensaiados, conforme orienta a NBR 5739 (ABNT, 2007). Como mencionado anteriormente, adotou-se o traço de 1:1,75:2,75:0,55, para a série S0 e para as demais séries os traços foram produzidos com substituição do cimento Portland por CBC nos teores supracitados. Para cada série foram confeccionados 12 CPs, para este ensaio, totalizando 60 CPs.

2.7 Absorção por capilaridade e por imersão

O ensaio de absorção por capilaridade segue as diretrizes da NBR 9779 (ABNT, 2012). Conforme esta norma, devem ser produzidos no mínimo 4 CPs para serem ensaiados aos 28 dias de cura. Logo, foram produzidos 4 CPs para cada série. O ensaio de absorção por imersão segue as diretrizes da NBR 9778 (ABNT, 2009). Para realização deste ensaio, os CPs foram moldados e submetidos a cura de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2002), assim como nos ensaios de resistência à compressão e absorção por capilaridade. A norma orienta a produção de no mínimo 4 CPs para o ensaio de absorção por imersão aos 28 dias de cura. Logo, foram produzidos 4 CPs para cada série.

2.8 Profundidade de carbonatação

As séries que apresentaram os melhores resultados de resistência à compressão e absorção, foram submetidas ao ensaio de profundidade de carbonatação nas idades de 60 e 120 dias de cura, pelo método colorimétrico (RILEM, 1984). Os CPs foram deixados expostos no laboratório a temperatura ambiente para carbonatação natural, e foram ensaiados nas idades de 60 e 120 dias. O método colorimétrico consiste em tratar uma superfície recém-rompida (Figura 2) com solução de fenolftaleína diluída em álcool (na proporção de 1g/100g). Os CPs inicialmente foram rompidos na prensa por compressão diametral. O concreto adquire uma tonalidade avermelhada (componente básico, $\text{pH} > 8,0$), enquanto a parte que sofre carbonatação (componente ácido, $\text{pH} < 8,0$) permanece incolor.

Figura 2: Ensaio de profundidade de carbonatação.



Fonte: Elaborado pelos autores.

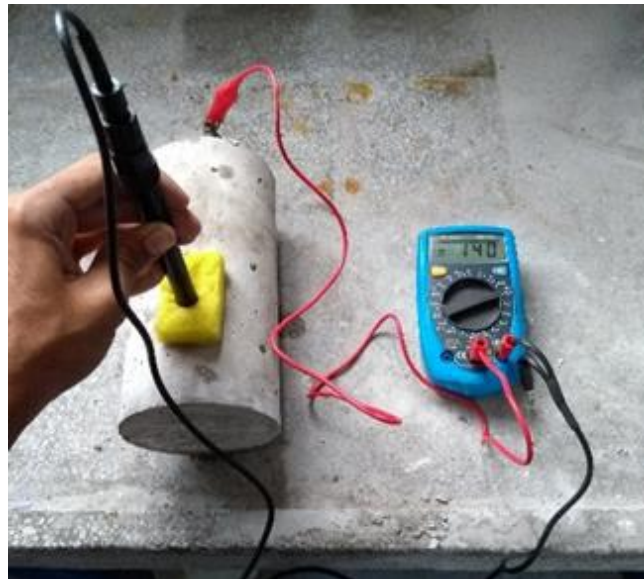
2.9 Potencial de Corrosão

Os CPs cilíndricos para o ensaio de corrosão foram moldados com dimensões de \varnothing (10x20) cm, com uma barra central com 10 mm, que foram limpas baseando-se no método C-1152 (ASTM, 2020), deixando um cobrimento de 50 mm nas laterais, para cada série foram moldados 3 CPs. Após moldados os CPs seguiram curando em solução saturada de cal por 7 dias, em

seguida permaneceram em uma sala com temperatura de $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 10 dias. Em seguida foram submetidos a ciclos de molhagem e secagem com duração de 2 e 5 dias, respectivamente. A solução adotada para este experimento foi a de cloreto de sódio (NaCl) na concentração de 3% em relação à massa de água. A solução visou simular a água do mar.

Ao fim do período de cura, foram realizadas medidas de potencial de corrosão (Figura 3), entre antes do início de cada ciclo, utilizando um eletrodo de referência de cobre/sulfato-de-cobre acoplado a um multímetro, como indica o método C-876 (ASTM, 2015).

Figura 3: Ensaio de potencial de corrosão.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3. Resultados e Discussões

3.1 Agregados

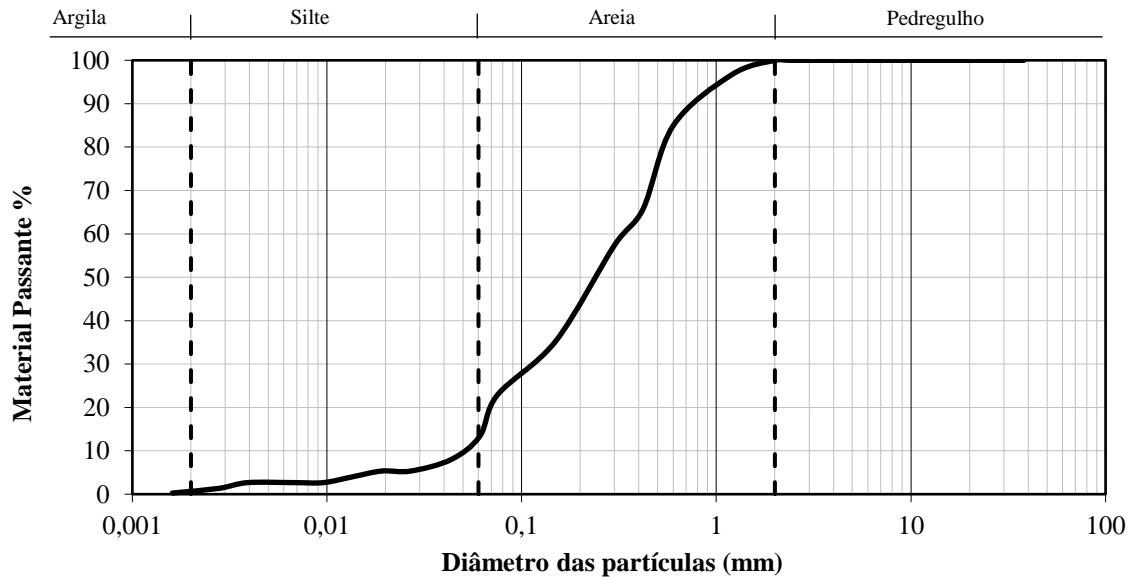
O agregado miúdo apresentou o teor de material fino que passa através da peneira $75\mu\text{m}$ de 1,45%, um módulo de finura de 3,07 e um diâmetro máximo de 4,8 mm, sendo classificado como agregado miúdo de granulometria média. Os agregados miúdos apresentaram massa unitária de $1,56\text{ kg/dm}^3$ e massa específica de $2,624\text{ g/cm}^3$.

Foi possível classificar o agregado graúdo como sendo brita 1 com um módulo de finura de 5,22, teor de material fino que passa através da peneira $75\mu\text{m}$ de 0,502 % e um diâmetro máximo de 19 mm. Os agregados graúdos apresentaram massa unitária (solta) de $1,50\text{ kg/dm}^3$ e massa unitária compactada de $1,52\text{ kg/dm}^3$. Ainda apresentaram massa específica de $3,42\text{ g/cm}^3$. Segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003) os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos agregados atenderam aos requisitos para produção de concretos de boa qualidade.

3.2 Granulometria da CBC

A curva granulométrica da CBC está apresentada na Figura 4. Os resultados obtidos demonstram que cerca de 22,85% da amostra da cinza passa na peneira de $75\mu\text{m}$. Estes foram utilizados na produção de concreto, no entanto, de acordo com NBR 6502 (ABNT, 1995), o material pode ser classificado como semelhante à areia. O que indica que a CBC deveria ser previamente submetida a um processo de moagem, para viabilizar a utilização na produção de concretos. Como a moagem não pôde ser realizada, em função das limitações de equipamento, obteve-se a granulometria desejada por peneiramento. Em relação à massa específica, se encontrou um valor de $2,19\text{ g/cm}^3$.

Figura 4: Curva granulométrica da CBC.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Composição química da CBC

Observa-se no Quadro 1, obtido através do ensaio de espectrometria de Fluorescência de Raio-X, que os compostos SiO₂, CaO e Fe₂O₃ somaram 93,645% e segundo a NBR 12653 (ANBT, 2015), a CBC com essa composição é classificada como um material pozolânico da Classe N, pois apresentou um teor desses óxidos acima de 70%.

Quadro 1: Composição química da CBC.

Composição química da CBC			
Compostos	(%)	Compostos	(%)
SiO ₂	87,442	ZrO ₂	0,194
CaO	3,231	TiO ₂	0,172
Fe ₂ O ₃	2,972	MnO	0,153
AL ₂ O ₃	1,633	SrO	0,096
MgO	1,582	Cr ₂ O ₃	0,032
K ₂ O	1,231	ZnO	0,0325
P ₂ O ₅	0,463	Rb ₂ O	0,0175
SO ₃	0,432	Cl	0,0012
Na ₂ O	0,315	BaO	0,0001

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com Cordeiro (2006), a predominância da sílica pode ser decorrente do silício adsorvido pelas raízes da cana-de-açúcar na forma de ácido monossilícico (H₄SiO₄). O autor ainda sugere que este fato pode estar associado à areia presente nas raízes da cana-de-açúcar, que no momento da limpeza não foram retiradas adequadamente.

Ainda segundo a norma os teores máximos de SO₃ e Na₂O não podem exceder 4% e 1,5%, respectivamente, e foi verificado que estes teores permearam 0,432% e 0,315%, comprovando que a CBC pode ser considerada um material pozolânico.

3.4 Cimento Portland

Foram adotadas as características físicas e químicas fornecidas pelo fabricante, apenas realizou-se o ensaio para obtenção da massa específica do cimento, conforme seção anterior. O cimento Portland obteve como massa específica 3,11 g/cm³.

3.5 Slump test

Ao final da mistura foi retirada uma porção do concreto da betoneira para a determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*), conforme prescreve a NBR 16889 (ABNT, 2020). Todos os concretos apresentaram resultados do *slump test* em torno de 80 ± 20 mm, como apresenta o Quadro 2. Os concretos que apresentam este abatimento são considerados medianamente plásticos. Ressalta-se que o *slump* obtido na série S25 só foi possível, em função da adição do aditivo plastificante.

Quadro 2: Abatimentos obtidos no slump test.

Slump test					
Séries	S0	S5	S10	S15	S25
Abatimento (mm)	100	95	95	90	90

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.6 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados aos 7, 14 e 28 dias de cura submersa. Foram rompidos 4 CPs de cada série em cada uma das respectivas idades.

Foi observado que na medida em que os teores de CBC aumentaram, a coloração dos CPs apresentou um escurecimento gradativo (Figura 5), e a razão do escurecimento dos concretos se deve a presença de carbono na CBC, segundo Paula *et al.* (2009).

Figura 5: Coloração dos CPs.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para analisar os resultados de resistência a compressão, foram feitos os cálculos de parâmetros estatísticos dos dados obtidos em cada série, como média, desvio-padrão e intervalos de confiança a 95%.

Duas amostras, apesar de terem médias com valores diferentes, podem ser estatisticamente iguais, desde que os intervalos de confiança apresentem intersecção. O Quadro 3 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos para o resultado da resistência à compressão aos 28 dias de cura do concreto.

Quadro 3: Ensaio de resistência à compressão aos 28 dias.

Dados	Séries - 28 dias de cura				
	S0	S5	S10	S15	S25
Nº de amostras (n)	4	4	4	4	4
Desvio padrão	0,72	0,69	1,02	0,80	0,66
Nível de confiança	95%	95%	95%	95%	95%
Margem de erro	1,15	1,11	1,62	1,27	1,04
Limite inferior	23,7	24,2	24,7	24,8	20,3
Média	24,8	25,3	26,3	26,1	21,3
Limite superior	26,0	26,4	27,9	27,3	22,4

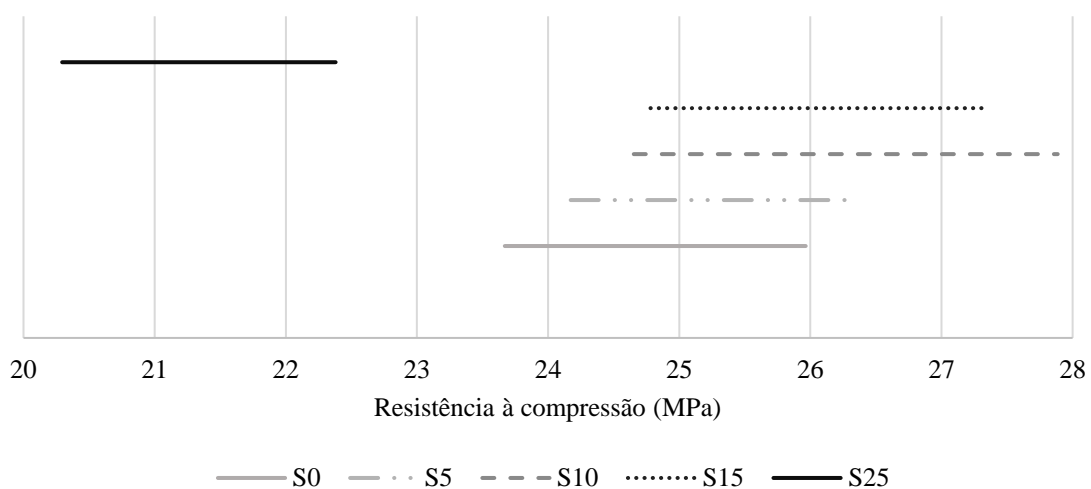
Fonte: Elaborado pelos autores.

O desvio padrão indica o quanto um conjunto de dados é uniforme. Nos dados analisados o desvio padrão está próximo de zero e quanto mais próximo de 0 for o desvio padrão, mais homogêneo são os dados.

Analisando os intervalos de confiança a 95% de significância, com os respectivos limites inferiores e superiores e a média de cada série aos 28 dias de cura do concreto, percebe-se que há intersecção nos intervalos de confiança de todas as séries, com exceção da série S25.

Essa falta de intersecção mostra que a série S25 não apresenta a média de resistência à compressão estatisticamente igual a série de referência aos 28 dias de cura. A Figura 6 apresenta a representação gráfica dos resultados de resistência à compressão aos 28 dias de idade.

Figura 6: Resistência à compressão aos 28 dias de idade.



Fonte: Elaborado pelos autores.

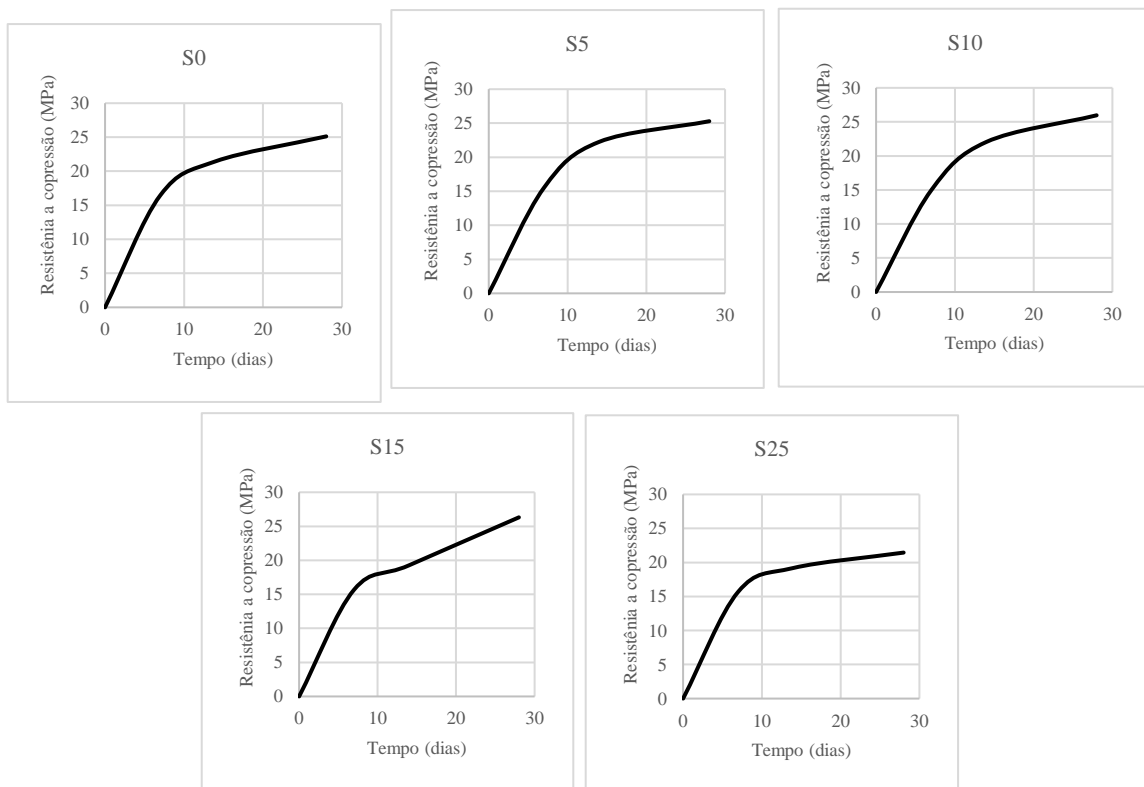
Assim como nas idades anteriores, as resistências das séries S0, S5, S10 e S15 são estatisticamente iguais entre si. Porém, observa-se que a série S25 apresenta uma diferença significativa das médias obtidas. O potencial pozolânico da CBC foi

comprovado para as séries S5, S10 e S15 e corrobora com alguns estudos que sugeriram teores de substituição de até 20% (Paula, *et al.* 2009, Souza, 2007 e Castaldelli, *et al.* 2010).

Porém, apesar das séries S5, S10 e S15 não apresentarem diferença significativa de resistência à compressão quando comparada a série padrão S0, este trabalho estabelece os teores de 10% e 15% como melhores teores de substituição de cimento por CBC, pois estas séries obtiveram as melhores resistências mecânicas aos 28 dias, sendo 26,27 MPa e 26,05MPa, respectivamente. O teor de 15% como substituição ótima corrobora com os resultados encontrados por Silva (2016).

A Figura 7 apresenta a evolução do crescimento das médias das resistências à compressão observadas em todas as séries até os 28 dias de cura.

Figura 7: Evolução da resistência à compressão das séries.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se um crescimento contínuo das resistências nas séries S0, S5 S10 e S25. A curva correspondente a série S15 apresenta uma depressão a partir dos 7 dias de idade, porém este comportamento não interferiu no resultado positivo da série S15 aos 28 dias de idade. Esta série obteve 26,05 MPa de resistência à compressão, sendo então maior que a série S0, se analisada individualmente.

A evolução da resistência foi satisfatória nas primeiras idades, e a atividade pozolânica foi evidenciada especialmente para as séries S5, S10 e S15, que apresentaram resistência à compressão aos 28 dias de cura acima de 25 MPa, conforme determina a curva de Abrams para um concreto produzido com relação $a/c = 0,55$ utilizando cimento CP II-Z-32.

3.7 Absorção por capilaridade

Para analisar os resultados de absorção por capilaridade, assim como no ensaio de resistência à compressão, foram feitos os cálculos de parâmetros estatísticos dos dados obtidos em cada série, como média, desvio-padrão e intervalos de confiança a

95%. Sabe-se que duas amostras, apesar de terem médias com valores diferentes, podem ser estatisticamente iguais, desde que os intervalos de confiança apresentem intersecção. O Quadro 4 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos para o resultado de absorção por capilaridade decorridas as 72h de ensaio.

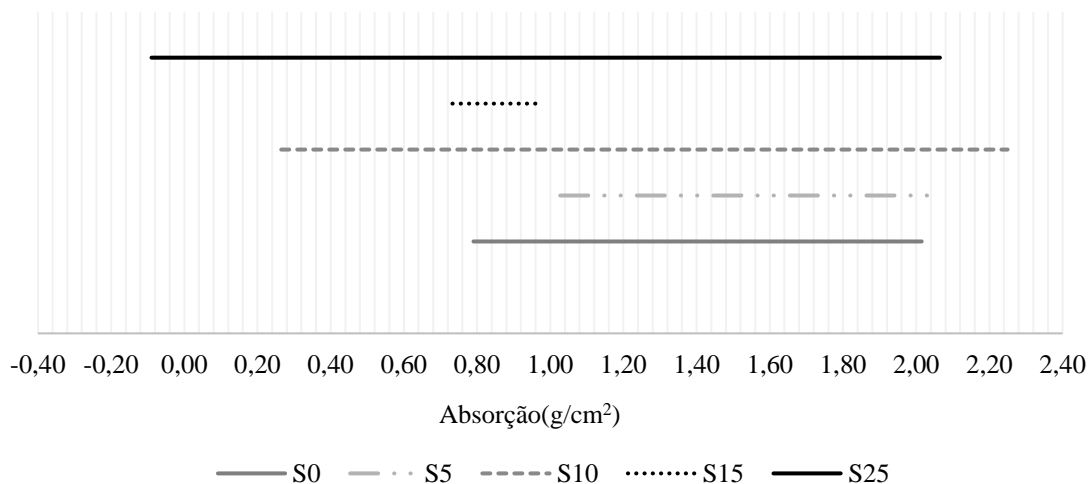
Quadro 4: Ensaio de absorção por capilaridade decorridas as 72h.

Dados	Séries (72h)				
	S0	S5	S10	S15	S25
Nº de amostras (n)	4	4	4	4	4
Desvio padrão	0,39	0,33	0,62	0,08	0,68
Nível de confiança	95%	95%	95%	95%	95%
Margem de erro	0,61	0,52	0,99	0,12	1,08
Limite inferior	0,79	1,03	0,27	0,73	-0,09
Média	1,40	1,55	1,26	0,85	0,99
Limite superior	2,02	2,07	2,25	0,97	2,07

Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando os intervalos de confiança a 95% de significância, com os respectivos limites inferiores e superiores e a média de cada série decorridas as 72h de ensaio, percebe-se que há intersecção nos intervalos de confiança de todas as séries com a série S0. A Figura 8 apresenta a representação gráfica dos resultados de absorção por capilaridade decorridas às 72h de ensaio.

Figura 8: 72h de ensaio de absorção por capilaridade.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Todas as séries decorridas as 72h de ensaio não apresentaram diferença significativa das médias de absorção por capilaridade quando comparada a série padrão S0, ou seja, os CPs apresentaram as médias estatisticamente iguais entre si, para um nível de confiança de 95%.

Assim como nos ensaios anteriores, decorridas as 72h, todas as séries apresentaram menor taxa de absorção de água do que a série de referência S0, confirmando a redução dos poros do concreto. Com relação à altura capilar, os CPs rompidos

mostraram que houve uma redução na altura capilar entre as séries, à medida que foi aumentado o teor de CBC no concreto, o que é condizente com os resultados de absorção obtidos em todas as etapas deste ensaio.

Estes resultados não estão em conformidade com os resultados obtidos no estudo de Castaldelli *et al.* (2010), nos quais os autores estabeleceram o teor de 5% como teor ótimo de substituição de cimento por CBC. Para este estudo estabeleceu-se 15% como teor ótimo de substituição de cimento por CBC, pois apesar de todas as séries não apresentarem diferença significativa de absorção por capilaridade a série S15 apresentou 0,85 g/cm² como a menor taxa de absorção, comparada as outras séries.

3.8 Absorção por imersão

Para analisar os resultados de absorção por imersão foram feitos os cálculos de parâmetros estatísticos dos dados obtidos em cada série, como média, desvio-padrão e intervalos de confiança a 95%, assim como nos ensaios anteriores. O Quadro 5 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos para o resultado de absorção por capilaridade decorridas às 72h de ensaio.

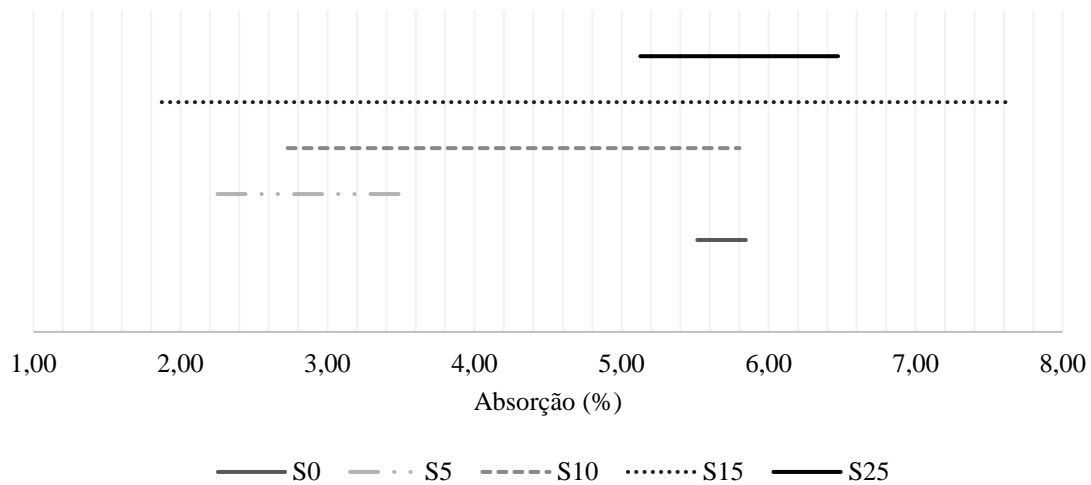
Quadro 5: Ensaio de absorção por imersão decorridas às 72h.

Dados	Séries (72h)				
	S0	S5	S10	S15	S25
Nº de amostras (n)	4	4	4	4	4
Desvio padrão	0,10	0,41	0,97	1,80	0,42
Nível de confiança	95%	95%	95%	95%	95%
Margem de erro	0,17	0,66	1,54	2,87	0,67
Limite inferior	5,52	2,25	2,73	1,87	5,13
Média	5,68	2,906	4,265	4,743	5,8
Limite superior	5,85	3,56	5,80	7,61	6,47

Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando os intervalos de confiança a 95% de significância, com os respectivos limites inferiores e superiores e a média de cada série decorridas as 72h de ensaio, percebe-se que há intersecção nos intervalos de confiança de todas as séries com a série S0, com exceção da série S5. A Figura 9 apresenta a representação gráfica dos resultados de absorção por imersão decorridas as 72h de ensaio.

Figura 9: Absorção por imersão decorridas às 72h de ensaio.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Verifica-se que as séries S10, S15 e S25, decorridas às 72h de ensaio, não apresentaram diferença significativa de taxa de absorção por imersão quando comparada a série padrão S0, ou seja, os CPs das séries citadas apresentaram absorção por imersão estatisticamente igual entre si, para um nível de confiança de 95%. Porém, observou-se que a série S5 apresentou diferença significativa, quando comparada a série padrão.

As séries que apresentaram semelhança significativa com a série padrão (S0), obtiveram menor taxa de absorção de água. Esse fato confirma o resultado obtido no ensaio de absorção por capilaridade, na qual o uso da CBC diminui os poros do concreto.

Especialmente as séries S10 e S15 apresentaram as melhores taxas de absorção por imersão, 4,26% e 4,74%, respectivamente, quando analisadas individualmente, sendo apontadas como os melhores teores de substituição de cimento por CBC neste trabalho.

3.9 Profundidade de carbonatação

Para realização dos ensaios de durabilidade (profundidade de carbonatação e índice de cloretos), foram escolhidas as séries que apresentaram melhores resultados nos ensaios de resistência à compressão e absorção por capilaridade, sendo elas S0, S5, S10 e S15. Os ensaios de profundidade de carbonatação foram realizados aos 60 e 210 dias de cura do concreto.

Para analisar os resultados, foram feitos os cálculos de parâmetros estatísticos dos dados obtidos em cada série, como média, desvio-padrão e intervalos de confiança a 95%. O Quadro 6 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos para o resultado de profundidade de carbonatação decorridos os 60 dias de idade, donde se analisada individualmente, as médias das séries com adição de CBC apresentaram melhores resultados. Porém, analisando o intervalo de confiança, observa-se uma semelhança estatística entre elas.

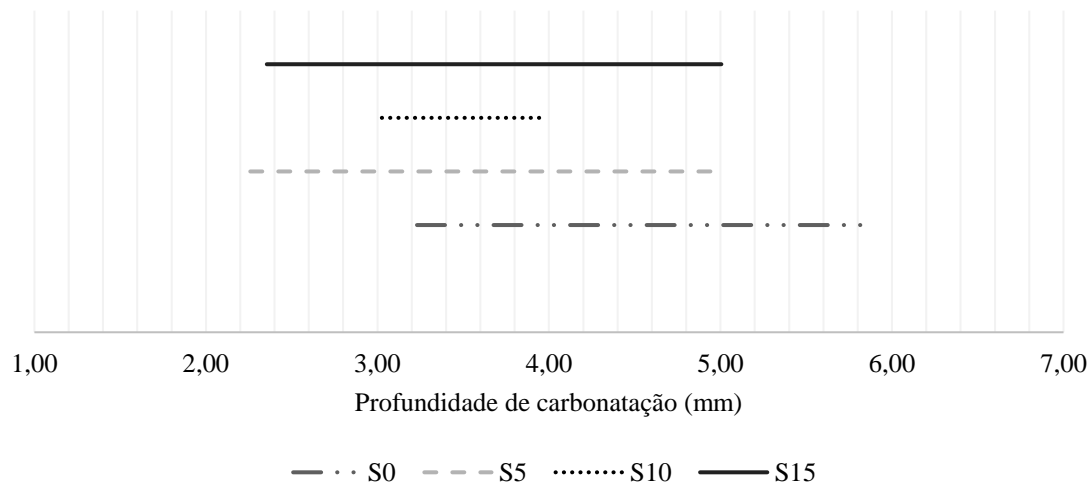
Quadro 6: Ensaio de absorção por imersão decorridas as 72h.

Dados	Ensaio (60 dias)			
	S0	S5	S10	S15
Nº de amostras (n)	4,00	4,00	4,00	4,00
Desvio padrão	0,84	0,84	0,30	0,83
Nível de confiança	95%	95%	95%	95%
Margem de erro	1,33	1,34	0,48	1,33
Limite inferior	3,23	2,26	3,03	2,35
Média	4,57	3,60	3,51	3,68
Limite superior	5,90	4,94	3,98	5,01

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 10 apresenta a representação gráfica dos resultados de profundidade de carbonatação decorridos os 60 dias de idade.

Figura 10: Profundidade de carbonatação decorridos os 60 dias.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Quadro 7 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos para o resultado de profundidade de carbonatação decorridos os 210 dias de idade.

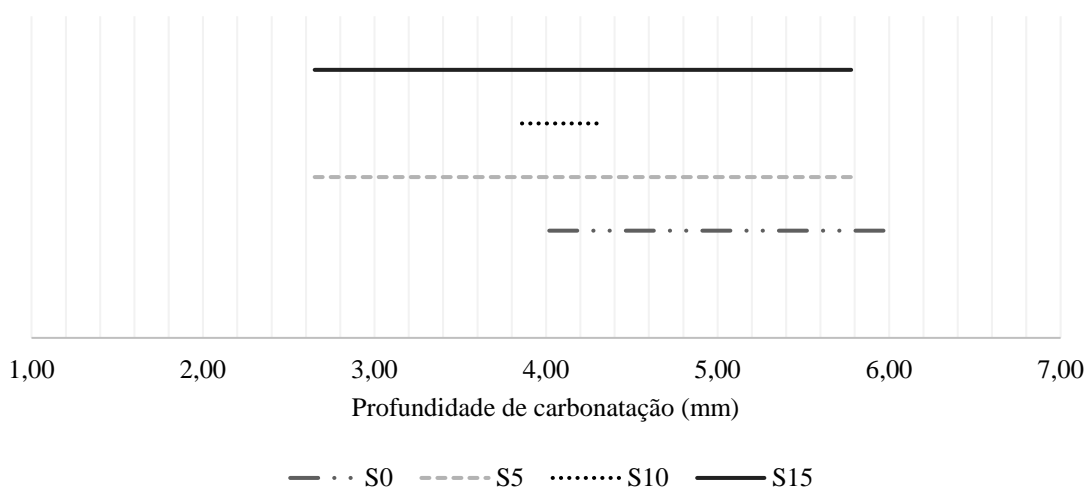
Quadro 7: Profundidade de carbonatação decorridos os 210 dias de idade.

Dados	Ensaio (210 dias)			
	S0	S5	S10	S15
Nº de amostras (n)	4,00	4,00	4,00	4,00
Desvio padrão	0,63	0,98	0,14	0,98
Nível de confiança	95%	95%	95%	95%
Margem de erro	1,01	1,56	0,23	1,56
Limite inferior	4,02	2,65	3,86	2,65
Média	5,03	4,22	4,09	4,22
Limite superior	6,03	5,78	4,32	5,78

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim como no ensaio realizado aos 60 dias de idade, se analisada individualmente, as médias das séries com adição de CBC apresentaram melhores resultados. Porém, analisando o intervalo de confiança, observa-se uma semelhança estatística entre elas. A Figura 11 apresenta a representação gráfica dos resultados de profundidade de carbonatação decorridos os 210 dias de idade.

Figura 11: Profundidade de carbonatação decorridos os 210 dias



Fonte: Elaborado pelos autores.

Apesar de serem estatisticamente iguais, os concretos com adição de CBC apresentaram menor profundidade de carbonatação, quando analisado sua média individual. Esse resultado sugere que a adição de CBC refinou os poros do concreto impossibilitando o avanço da frente de carbonatação.

3.10 Potencial de corrosão

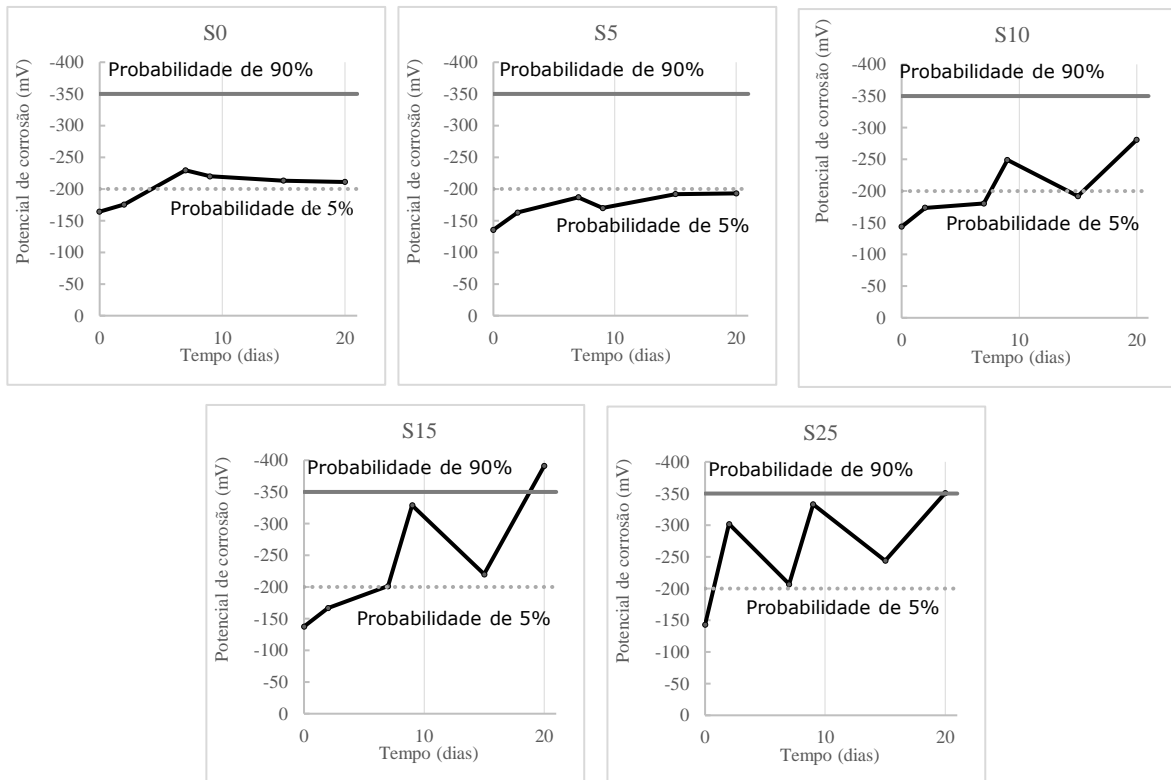
Antes de serem submetidos aos ciclos de molhagem e secagem os CP's apresentavam valores de potenciais superiores a - 200 mV, indicando que as armaduras se encontravam protegidas pelo meio alcalino presente no concreto. A Figura 12 apresenta a evolução do crescimento das médias dos potenciais de corrosão.

Com exceção da série S5, assim que os corpos-de-prova foram submetidos ao segundo ciclo de molhagem e secagem pôde-se notar que todas demais amostras tingiram valores de potencial da ordem de -200 mV, configurando, portanto, uma probabilidade de corrosão de 5%. Destaca-se os valores obtidos pelas amostras S15 e S25, que ao fim do terceiro ciclo atingiram

valores inferiores a -350 mV, indicando uma probabilidade de corrosão de cerca de 90%, ao mesmo tempo que as amostras S10 se aproximavam deste mesmo valor. Sendo assim, é perceptível que a CBC diminui a taxa de proteção das armaduras.

É possível perceber que durante os ciclos de molhagem os CP's crescem a probabilidade de corrosão, enquanto que nos ciclos de secagem há uma diminuição do potencial de corrosão. Segundo Jucá (2002), isso acontece porque mesmo o agente agressor (NaCl), ainda se encontrando em parte na amostra, não possui intensidade necessária para funcionar como redutor do pH e catalizador do processo. Além disso, a água é extremamente importante para o fenômeno da corrosão, dada a sua atuação como eletrólito.

Figura 12: Evolução do Potenciais de corrosão.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Conclusão

Os resultados obtidos nesta pesquisa não se mostraram satisfatórios quanto fala-se de capacidade de proteção da CBC sob ação de íons cloreto, para concreto armado, mas ao mesmo tempo, os teores de 10% e 15% apresentaram bom desempenho quanto a outros aspectos de durabilidade, não descartando que o concreto poderia ser utilizado para confecção de peças de concreto sem armadura, fora dessas dosagens. Com os resultados obtidos espera-se que seja possível implantar na construção civil o uso de uma nova modalidade de concreto com as mesmas características de um concreto convencional, mas com vantagens tanto de acesso a matéria prima, quanto à conservação do meio ambiente. A incorporação do resíduo utilizado na pesquisa como um elemento do concreto armado não se mostrou viável, no entanto, para estruturas apenas em concreto, representa um importante passo para fomentar a sustentabilidade ambiental, social e econômica. Os impactos relacionados a produção do cimento serão minimizados. Além disso, a utilização adequada desse resíduo também contribuirá para minimização dos impactos ambientais causados pelo seu descarte no meio ambiente, dessa forma, essa prática beneficiaria o setor da construção civil,

indústria sucroalcooleira, meio ambiente e a sociedade. Para dar continuidade aos estudos do resíduo sugere-se: Aumentar o número de amostra e as variações de dosagem de CBC, para determinar com precisão a influência do teor utilizado; Avaliar o uso da CBC em adição ao cimento Portland; Analisar a influência da temperatura de calcinação na eficiência da CBC; Fazer a moagem da CBC para um melhor aproveitamento do material; Estudar o uso da CBC na mitigação de manifestações patológicas, como Reação álcali-agregado e ataques por sulfatos; Verificar a viabilidade econômica do uso da CBC; Avaliar o uso da CBC em argamassas com cal; Conhecer a influência do tempo de espera da CBC nos tanques de decantação antes da coleta; Verificar a melhoria da CBC frente a outras adições existentes.

Referências

- Altoé, S. P. S. & Martins, C. H. (2015). A influência da temperatura de queima na pozolanicidade da cinza do bagaço de cana-de-açúcar. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 7(3), 40-50.
- Andrade, J. J. O. (1997). *Durabilidade das Estruturas de Concreto: Análise das Manifestações Patológicas nas Estruturas de Pernambuco*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. 151f. 1997. <http://hdl.handle.net/10183/122441>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (1995). *NBR 6502: Rochas e Solo*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2003). *NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2005). *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecido- Determinação da absorção de água, índice de vazios, e massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2006). *NBR 12653: Materiais pozolânicos — Requisitos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2009). *NBR 16917: Agregado Graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2009). *NBR 7211: Agregados para concreto*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2012). *NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2015). *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2018). *NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2020). *NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2021). *NBR 16916: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2021). *NBR 16972: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2021). *NBR 16973: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometros, por lavagem*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. (2022). *NBR 12655: Concreto de cimento Portland: controle, preparo e recebimento*. Rio de Janeiro.
- ASTM. (2015). American Society for Testing and Materials. *C. 876. Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*. ASTM Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.
- ASTM. (2020). American Society for Testing and Materials. *C. 1152. Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and concrete*. ASTM Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.
- Castaldelli, V. N., Castro, J. N. T., Fazzan, J. V., Akasaki, J. L., Manzoli Júnior, W. & Bernabeu, J. J. P. (2010). Concreto com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar. *Anais do Encontro de Tecnologia do Ambiente Construído*, Canela, RS, Brasil, 13.
- Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB (2021). Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar safra 2021/2022, terceiro levantamento, (Boletim de cana-de-açúcar - Novembro de 2021), 8(3), Brasília, DF, Brasil.
- Cordeiro, G. C. (2006). *Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto*. (2006). Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 445f. 2006. v
- Cordeiro, G., Andreão, P. & Tavares, L. (2019). Pozzolanic properties of ultrafine sugar cane bagasse ash produced by controlled burning. *Heliyon*. 5. e02566/1-e02566/6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02566>

- Dias, M. O. S., Ensinas, A. V., Nebra, S. A., Filho, R. M., Rosell, C. E. V. & Maciel, M. R. W. (2009). Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: Integration to conventional bioethanol production process. *Chemical Engineering Research & Design*, 87(9), 1206-1216. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2009.06.020>
- IBGE. (2021). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contas Nacionais Trimestrais, 4º tri/2021. Indicadores IBGE. https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2121/cnt_2021_4tri.pdf
- Isaia, G. C. (2017). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais* (3a ed.), IBRACON.
- Izquierdo, I. S. & Ramalho, M. A. (2014) Aplicação de cinzas residuais e de fibra de sisal na produção de argamassas e concretos: Revisão. *Ingeniería y Desarrollo*, 32(2), 344-368. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.32.2.6167>
- Jagadesh, P., Ramachandramurthy, A. & Murugesan, R. (2018). Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. *Construction and Building Materials*. 176. 608-617. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.037>
- Jucá, T. R. P. (2002). *Avaliação de cloretos livres em concretos e argamassas de cimento Portland pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata*. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Brasil. 2002. <http://tede2.unicap.br:8080/handle/tede/55>
- Lima, S. A. et al. (2011). Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. *Ambiente Construído*, 11(2), 201-212. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000200014>
- Lorencetti, M. R. & Marçal, R. (2017). Avaliação da resistência à compressão do concreto pela substituição parcial do cimento Portland por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. *Revista Científica ANAP Brasil*, 10(20). <https://doi.org/10.17271/19843240102020171658>
- Martins Filho, S. T. & Martins, C. H. (2017). Utilização da cinza leve e pesada do bagaço de cana-de-açúcar como aditivo mineral na produção de blocos de concreto para pavimentação. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 10, (4), 1205-1224. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n4p1205-1224>
- Neville, A.M. & Brooks, J. J. (2013). *Tecnologia do concreto* (2a ed.), Bookman.
- Paula, M. O., Tinôco, I. F. F., Rodrigues, C. S., Silva, E. N. & Souza, C. F. (2009). Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(3), 353-357. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300019>
- Preis, D. W., Lovatto, E., Pozzer, G. R., & De, J. E. (2021). Concreto de alto desempenho com a adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar. *Anais Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – Contecc*, Virtual, Brasil, 7.
- Priskulnik, S. (2009). Personalidade Entrevistada. [Entrevista concedida a] IBRACON. *Revista CONCRETO & Construções*, 56, 8-13.
- Rilem Concrete Permanent Committee, RILEM (1984). Draft Recommendation: measurement of hardened concrete carbonation depth CPC-18. *Materials and Structures*, 17(102), 435-440.
- Rosignolo, J., Borrachero, M., Soriano, L. & Payá, J. (2018). Influence of microwave oven calcination on the pozzolanicity of sugar cane bagasse ashes (SCBA) from the cogeneration industry. *Construction and Building Materials*. 187. 892-902. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.016>
- Sampaio, Z. L. M., Souza, P. A. B. F. & Gouveia, B. G. (2014). Analysis of the influence of the sugar cane bagasse ashes on mechanical behavior of concrete. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 7(4), 626-647. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952014000400006>
- Santos, J. V., de Oliveira Nahime, B., dos Santos, I. S., Basileiro, K. P. T. V., Kunan, P. M., Lobo, F. A., Reis, I. C. & Alves, M. M. (2020). Efeitos da adição e substituição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar em matrizes cimentícias. *Brazilian Journal of Development*, 6(10), 77494-77509. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n2-347>
- Silva, E. J. (2016) *Utilização do método de condutividade elétrica para análise da pozolanicidade da cinza do bagaço da cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Pernambuco. 82f. 2016.
- SNIC. (2021). Sindicato Nacional da Indústria De Cimento. Relatório Setorial - Balanço 2021. Disponível em: <https://abcp.org.br/vendas-de-cimento-crescem-66-em2021/#:~:text=As%20vendas%20de%20cimento%20no,Nacional%20da%20Ind%3%BAstria%20de%20Cimento>.
- Souza, G. N. et al. (2007). Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar. *Anais do Congresso Brasileiro do Concreto*, Bento Gonçalves, SP, Brasil, 49.
- USINA SÃO JOSÉ. (2021). Infraestrutura [Web page]. Retrieved from <https://www.saojoseagroindustrial.com.br>
- Xu, Q., Ji, T., Gao, S. J., Yang, Z. & Wu, N. (2019). Characteristics and Applications of Sugar Cane Bagasse Ash Waste in Cementitious. *Materials*, 12(39), 30583562-6337557. <https://doi.org/10.3390/ma12010039>