



ANÁLISE DA POZOLANICIDADE DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR: COMPARAÇÃO COM A AREIA NATURAL

João Paulo de Jesus da Silva¹, Fernando Aparecido Costa Barizão², Silvia Paula Sossai Altoé³

¹Mestrando do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Campus Maringá-PR, Universidade Estadual de Maringá - UEM. Bolsista CNPq-UEM. pg404637@uem.br

²Doutorando do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Campus Maringá-PR, Universidade Estadual de Maringá - UEM. fernandocostabarizao@hotmail.com

³Orientadora, Doutora, Departamento de Engenharia Civil, UEM. Pesquisadora do Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá – CTC/UEM. spsaltoe@uem.br

RESUMO

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) é um resíduo agroindustrial amplamente estudado para aplicação na produção de materiais cimentícios, em função de sua potencial reatividade pozolânica. Este estudo analisou a influência de fatores físico e morfológicos na pozolanicidade da CBC, com foco especial na distribuição granulométrica, no desempenho mecânico por meio de ensaios de resistência à compressão e na avaliação da atividade pozolânica pelo método de Chapelle modificado. As amostras de CBC foram obtidas por meio de processos de combustão controlada em diferentes faixas de temperatura e caracterizadas quanto à distribuição granulométrica, perda ao fogo (indicativa de matéria orgânica residual). A avaliação da atividade pozolânica foi conduzida conforme as normas técnicas NBR 15895, ABNT NBR 17054 e NBR 5739. Embora o ensaio de Chapelle modificado tenha classificado a CBC como não pozolânica, sua granulometria significativamente inferior à da areia natural favoreceu o desempenho mecânico do concreto. Os ensaios de resistência à compressão indicaram uma leve melhora, especialmente na amostra com 30% de substituição, que apresentou desvio padrão de 1,44 MPa e coeficiente de variação de 0,93%, valores que demonstram alta uniformidade e confiabilidade dos resultados. Esses achados reforçam o potencial da CBC como material suplementar em composições cimentícias, e recomendam a continuidade dos estudos para otimização de suas propriedades e ampliação de seu uso em contextos industriais e ambientais sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Agroindústria; Concreto; Resíduos sólidos; Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Com o objetivo de reduzir impactos ambientais e promover a sustentabilidade na construção civil, materiais alternativos têm sido amplamente estudados. Busca-se substituir parcialmente os recursos naturais em concretos e argamassas, desde que não comprometam as características e o desempenho. Paralelamente, cresce o interesse pela destinação eficiente de resíduos agroindustriais, diante da escassez de áreas para disposição e dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado (TORRES DE SANDE *et al.*, 2021). A incorporação desses resíduos também gera benefícios econômicos, ao mitigar a escassez e o aumento de custos dos materiais convencionais.

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é cultivada em regiões tropicais e subtropicais, sendo matéria-prima essencial para as indústrias de açúcar e etanol. Atualmente, é cultivada comercialmente em mais de 100 países. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a produção global alcançou aproximadamente 2,1 bilhões de toneladas em 2021. Estima-se que, para cada 10 toneladas de cana processadas, sejam geradas cerca de 3 toneladas de bagaço. Este bagaço é amplamente empregado como combustível de biomassa para geração de energia elétrica, resultando, após a queima, na formação da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC), cuja massa corresponde a aproximadamente 4% do bagaço original. Com base



nessas proporções, a produção mundial de CBC em 2021 foi estimada em cerca de 2,52 milhões de toneladas.

O destino final da CBC varia conforme a região. Na Índia, esse resíduo é comumente descartado, enquanto no Brasil e na China, a “torta” de CBC é utilizada como fertilizante em plantações de cana-de-açúcar. No entanto, além de apresentar baixo aporte de nutrientes minerais, devido ao processo de queima, seu uso agrícola pode provocar lixiviação de compostos potencialmente poluentes. Nos últimos anos, diversas pesquisas têm explorado o uso da CBC em diferentes composições de concreto, incluindo concreto convencional, leve, de ultra-alto desempenho, autoadensável, permeável e argamassas. A CBC apresenta elevado teor de sílica e propriedades físicas comparáveis às da areia natural, o que permite sua aplicação como substituinte parcial do cimento ou do agregado miúdo, dependendo do tipo de processamento e da finalidade. Diante desse cenário, torna-se relevante investigar como variáveis intrínsecas e de processamento influenciam a reatividade pozolânica da CBC, fornecendo subsídios técnicos para sua aplicação efetiva na construção civil (Huang et al., 2023; Criado et al., 2024).

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a pozolanicidade da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC), analisando o impacto de fatores como temperatura de queima, granulometria, teor de matéria orgânica e micrografia das partículas (via microscopia eletrônica de varredura – MEV), de forma a estabelecer a relação entre suas características físico-químicas e o desempenho obtido nos ensaios normativos de atividade pozolânica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do ensaio, a areia natural, também denominada agregado miúdo, foi parcialmente substituída pela cinza do bagaço de cana-de-açúcar, com o objetivo de avaliar o efeito dessa substituição sobre a resistência mecânica do material na idade de 28 dias. O traço adotado para a produção dos corpos de prova encontra-se apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Traço utilizado

Traço	Cimento (kg)	CBC (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Fator a/c
0%	1,00	0,00	1,96	2,72	0,62	0,55
10%	1,00	0,20	1,76	2,72	0,62	0,55
15%	1,00	0,29	1,67	2,72	0,62	0,55
20%	1,00	0,39	1,57	2,72	0,62	0,55
25%	1,00	0,49	1,47	2,72	0,62	0,55
30%	1,00	0,59	1,37	2,72	0,62	0,55

Fonte: Autor (2025)

2.1 ENSAIO DE POZOLANICIDADE

Foi realizado um ensaio para verificar a presença de atividade pozolânica no material, empregando o método Chapelle modificado. Os testes foram executados nas dependências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no Laboratório de Inovação em Cimentos Ecoeficientes (LINCE), seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 15895:2010 — Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio consumido – Método Chapelle modificado.



De acordo com Andressa Gobbi (2014), uma adição mineral é considerada reativa (pozolana) quando apresenta consumo de hidróxido de cálcio superior a 330 mg CaO/g de material, valor equivalente a 436 mg Ca(OH)₂/g. O ensaio utilizado possibilita mensurar a atividade pozolânica do material, fornecendo subsídios para determinar sua aplicação mais adequada em composições cimentícias.

A CBC foi utilizada sem moagem, foi realizamos apenas secagem na estufa por 24h a 100°C e peneirado na peneira 4,8#. Na Figura 1 temos os aspectos da cinza a) antes de peneirar e b) após o processo de peneiramento.

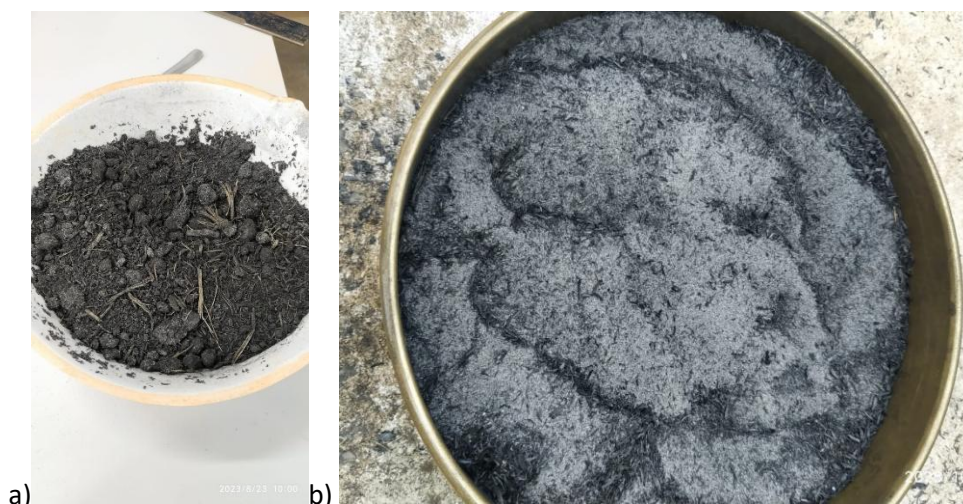


Figura 1: Aspecto da CBC.
Fonte: Autor (2025)

2.2 ENSAIO DE GRANULOMETRIA

Foram realizadas duas análises granulométricas, uma da areia natural e outra da CBC, para verificar e analisar as diferenças entre os materiais. Durante a análise inicial, constatou-se que o material é proveniente de quartzito. Para sua caracterização completa, foram realizados ensaios abrangendo a distribuição granulométrica, a densidade e a massa unitária, seguindo rigorosamente os procedimentos estabelecidos pelas normas vigentes, em especial a ABNT NBR 17054:2022 – Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio.

Conforme relatado por Oliveira *et al.* (2015), os resultados obtidos neste estudo passam por uma análise detalhada a fim de determinar a distribuição do tamanho das partículas, com base no padrão de espalhamento gerado. A comparação entre distintas técnicas de preparação de amostras de sedimentos para análise granulométrica a laser evidencia que esse procedimento apresenta desempenho superior aos métodos tradicionais, oferecendo maior confiabilidade, precisão, reprodutibilidade e eficiência na avaliação.

2.3 ANÁLISE DA MICROGRAFIA DA CBC

A análise de micrografia da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) foi realizada por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), técnica que possibilita a caracterização detalhada da superfície das partículas. Essa abordagem permite identificar



aspectos como forma, textura superficial, presença de poros e grau de aglomeração, parâmetros fundamentais para compreender a influência da morfologia na reatividade pozzolânica. As imagens obtidas forneceram subsídios para correlacionar as características físicas da CBC com seu potencial de interação com a matriz cimentícia, complementando os ensaios físico-químicos conduzidos neste estudo.

2.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em conformidade com a norma ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018). A Figura 2 apresenta o ensaio sendo realizado.



Figura 2: Ensaio de resistência à compressão axial
Fonte: Autor (2025)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra analisada apresentou índice de atividade pozzolânica igual a 0,00 mg de Ca(OH)_2 por grama de material, conforme os critérios estabelecidos pela norma NBR 15894-1:2010 (ABNT, 2010). De acordo com essa norma, para que um material seja classificado como pozzolânico, é necessário que o índice seja igual ou superior a 750 mg de $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$. Apesar da ausência de reatividade pozzolânica, estudos indicam que materiais com baixa ou nenhuma atividade pozzolânica ainda podem contribuir positivamente para o desempenho mecânico do concreto. No caso da Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC), sua granulometria mais fina em relação ao agregado miúdo convencional favorece o empacotamento das partículas e a redução da porosidade, o que pode resultar em melhorias na resistência à compressão, mesmo sem participação significativa em reações pozzolânicas.

Embora os resultados do ensaio de Chapelle modificado tenham demonstrado que a Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC) não possui reatividade para ser considerada uma pozzolana, sua influência na resistência mecânica do compósito cimentício ainda é relevante. Conforme apontado por Altoé (2017), a CBC pode contribuir significativamente para o ganho de resistência, devido à sua capacidade de melhorar o empacotamento das partículas e reduzir a porosidade da matriz. Assim, mesmo sem apresentar atividade pozzolânica expressiva, o material pode atuar de forma benéfica na densificação da estrutura e no desempenho final do concreto.



A Tabela 2 apresenta as propriedades do agregado miúdo, incluindo a massa específica, a massa unitária no estado solto, o diâmetro máximo característico e o módulo de finura. Já a Figura 3 ilustra a curva de distribuição granulométrica do material.

Tabela 2: Caracterização do agregado miúdo

Características	Unidade	Resultados
Massa Específica	g/cm ³	2,636
Massa Unitária no Estado Solto	g/cm ³	1,520
Diâmetro Máximo Característico	mm	1,200
Módulo de finura	-	2,000

Fonte: Autor (2025)

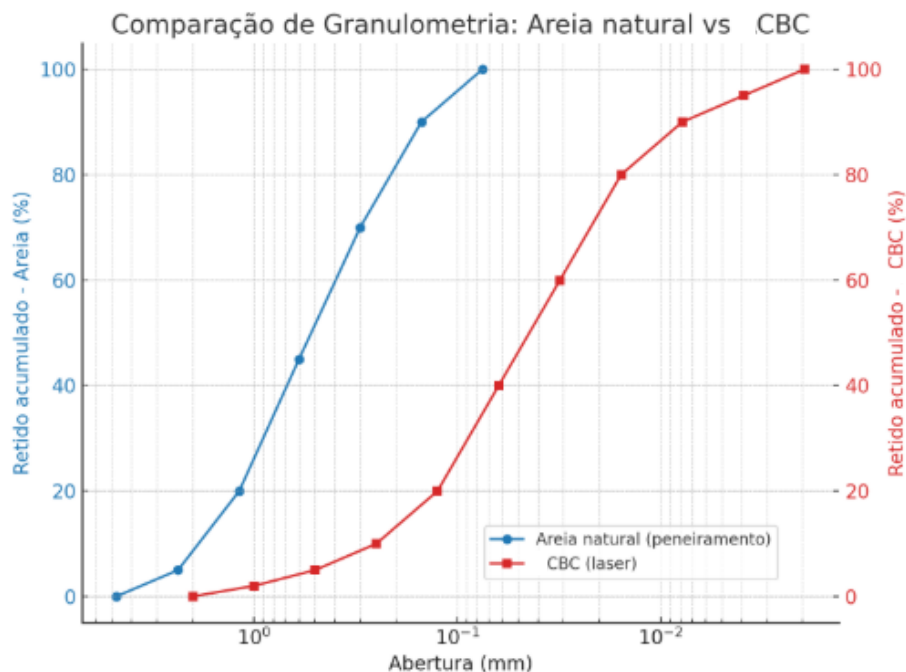


Figura 3: Gráfico granulométrico da areia e da cinza.

Fonte: Autor (2025)

A Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC) apresenta granulometria inferior à da areia natural, com partículas mais finas que favorecem o empacotamento e aumentam o potencial de reatividade pozolânica. Essa característica contribui para uma matriz cimentícia mais densa e pode melhorar propriedades mecânicas e de durabilidade.

A curva granulométrica da areia natural, obtida por peneiramento, mostra distribuição adequada para uso em concreto, com partículas predominantemente entre 0,3 mm e 1,2 mm, garantindo boa trabalhabilidade e desempenho mecânico. Em contraste, a CBC analisada por difração a laser apresentou diâmetro médio (D50) de 249 µm, com 90% das partículas abaixo de 489 µm, indicando predominância de partículas micrométricas e elevada área superficial.

A CBC, apesar de não apresentar atividade pozolânica significativa nos ensaios realizados, pode ser considerada uma adição mineral inerte com efeito físico. Sua elevada finura e morfologia irregular contribuem para o aumento da demanda de água, impactando diretamente a trabalhabilidade do compósito cimentício.

Assim como observado no estudo desenvolvido por Criado *et al.* (2024), a Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC) analisada neste trabalho apresentou características granulométricas semelhantes, evidenciando-se por possuir partículas mais finas que a areia



natural. Essa granulometria reduzida favorece o empacotamento das partículas no composto cimentício, contribuindo para uma matriz mais densa e homogênea. Além disso, a finura da CBC pode potencializar sua atividade pozolânica, promovendo reações secundárias com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento, o que pode resultar em melhorias nas propriedades mecânicas e na durabilidade do material.

Na Figura 4a e 4b apresentam-se análises micrográficas da CBC obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A Figura 4a corresponde ao material avaliado no presente estudo, enquanto a Figura 4b refere-se ao trabalho desenvolvido por Altoé (2013). Assim como observado no estudo de Altoé (2013), o material analisado nesta pesquisa apresentou irregularidades em sua estrutura, com características lamelares e pontiagudas, que podem comprometer a trabalhabilidade em matrizes cimentícias. Além disso, de forma semelhante ao registrado na Figura 1b, verificou-se a presença de matéria orgânica residual, ainda que em pequena quantidade, mesmo após o processo de peneiramento. A presença residual de matéria orgânica deve-se à falta de padronização entre as usinas no processo de queima do bagaço, que pode ter temperatura variando entre 600 °C e 900 °C.

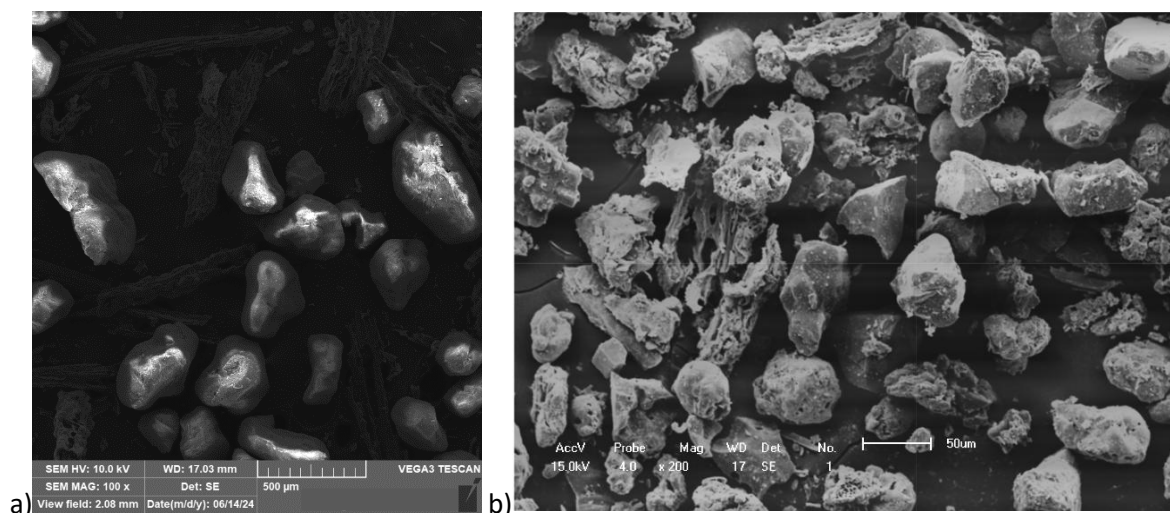


Figura 4: Análise de MEV da CBC.

Fonte: Autor (2025)

Na Tabela 3 são apresentados os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Tabela 3: Resultados de resistência à compressão axial aos 28 dias de idade.

Traço	Fp (Mpa)	Fpk (Mpa)	Varição de resistência em relação ao traço piloto (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
0%	40,09	35,09	Piloto	3,03	1,96
10%	42,40	40,29	5,87	1,30	0,84
15%	38,48	34,32	-6,66	1,88	1,21
20%	39,59	38,29	-1,45	0,74	0,48
25%	42,00	40,87	5,67	0,91	0,59
30%	40,76	38,39	1,68	1,44	0,93

Fonte: Autor (2025)



Ao analisar os resultados de resistência à compressão, demonstra que o traço de referência (0%), sem substituição de cinza, apresentou uma resistência característica (Fpk) de 35,09 MPa aos 28 dias. Já o traço com 30% de substituição por cinza atingiu Fpk de 38,39 MPa, representando um acréscimo de aproximadamente 1,68% em relação ao traço piloto. Esse aumento mostra que a incorporação da cinza não comprometeu o desempenho mecânico do concreto, indicando inclusive uma leve melhora. O desvio padrão observado para 30% foi de 1,44 MPa, com coeficiente de variação de 0,93%, valores baixos que evidenciam a uniformidade dos resultados obtidos.

Na Figura 5, observa-se com maior detalhamento que o traço com 15% de substituição apresenta redução na resistência, possivelmente decorrente de variações na moldagem das amostras. Apesar dessa exceção, a tendência geral indica aumento da resistência com a substituição do agregado miúdo.

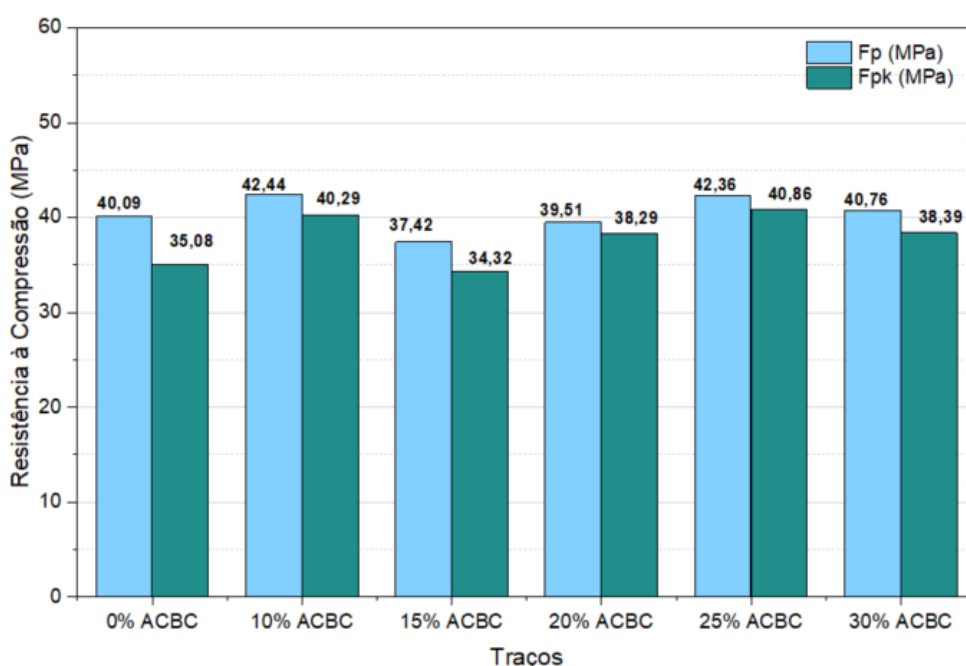


Figura 5: Gráfico de Resistência à Compressão de cada traço.

Fonte: Autor (2025)

Apesar da cinza utilizada não apresentar características pozolânicas, os dados indicam que ela pode atuar como material inerte com efeito de preenchimento, contribuindo para a densificação da matriz cimentícia. A variação positiva observada reforça o potencial da cinza como alternativa sustentável na produção de concretos, sem prejuízo significativo ao desempenho mecânico, alinhando-se aos interesses de sustentabilidade e aproveitamento de resíduos na construção civil.

Criado et al. (2024) obtiveram resistência à compressão de 42,50 MPa aos 28 dias com 20% de substituição por CBC. Moretti (2018), por sua vez, registrou 53,43 MPa aos 91 dias com 30% de substituição do agregado miúdo. Esses resultados sugerem que, apesar da ausência de pozolanicidade, a CBC apresenta desempenho mecânico satisfatório, indicando seu potencial como material alternativo na construção civil.

Na Figura 6, é apresentado algumas das amostras que foram realizados ensaio.



Figura 6: Amostras de ensaio de resistência a compressão.

Fonte: Autor (2025)

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que os materiais analisados apresentam características promissoras para aplicações em sistemas cimentícios, especialmente no contexto da sustentabilidade e da valorização de resíduos. Embora o ensaio de Chapelle modificado tenha indicado que a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) não possui atividade pozolânica, sua granulometria mais fina em comparação à areia natural favorece a dispersão e o preenchimento de vazios na matriz cimentícia, contribuindo para a melhoria da microestrutura.

A micrografia da CBC evidenciou variações em sua morfologia, bem como a presença residual de matéria orgânica, ainda que em menor quantidade devido ao peneiramento realizado antes da substituição do agregado miúdo. Essa presença residual pode ser atribuída à ausência de controle padronizado da temperatura durante o processo de queima, o que varia entre as diferentes usinas. Essa condição pode comprometer a qualidade do material e representar um obstáculo à sua utilização em larga escala na construção civil.

Os resultados de resistência à compressão, demonstram que a incorporação da CBC não compromete o desempenho mecânico do concreto. Pelo contrário, observou-se uma melhora, com destaque para a amostra com 30% de substituição, que apresentou desvio padrão de 1,44 MPa e coeficiente de variação de apenas 0,93%.

Diante desses resultados, recomenda-se a continuidade dos estudos, com foco em otimizar as condições de ativação da cinza e explorar seu potencial em diferentes proporções e tipos de cimento. A investigação de aspectos como durabilidade, desempenho a longo prazo e impactos ambientais poderá consolidar o uso da CBC como alternativa viável e sustentável na indústria da construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15894-1:2010: Materiais pozolânicos – requisitos. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 25 maio 2025.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15895:2010: Materiais pozolânicos – determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – método Chapelle modificado.* Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 25 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 17054:2022: Materiais pozolânicos – determinação da atividade pozolânica por meio do ensaio de resistência à compressão.* Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 20 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739:2018: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.* Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 20 maio 2025.

ALTOÉ, S. P. S. *Resíduos de pneus e da queima do bagaço da cana-de-açúcar na fabricação de blocos de concreto para pavimentação (pavers).* 2017. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil.) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

ALTOÉ, S. P. S. *Estudo da potencialidade da utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de pneus inservíveis na confecção de blocos de concreto para pavimentação.* 2013. Tese (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

CRIADO, T. C.; VICENTINI, A. H.; PAGOTO, L. M.; SILVA JUNIOR, G. P. da; AKASAKI, J. L. *Uso sustentável da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) em pavimentos intertravados de concreto.* *Revista Matéria*, v. 29, n. 4, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/e20240546>. Acesso em: 15 mai. 2025.

OLIVEIRA, T. et al. *Análise comparativa entre o granulômetro a laser e o método convencional de granulometria por sedimentação.* In: **SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL (GEOSUL)**, 5., 2015, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.20906/CPS/CB-01-0042>. Acesso em: 19 set. 2025.

GOBBI, A. *Atividade pozolânica de adições minerais pelas NBR 5751/2012 e NBR 5752/2012: uma análise crítica a partir de métodos complementares.* 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

HUANG, Ping; HUANG, Bocong; LI, Jiajia; WU, Nengsen; XU, Qing. *Application of sugar cane bagasse ash as filler in ultra-high performance concrete.* *Journal of Building Engineering*, v. 71, p. 106447, jul. 2023. DOI: 10.1016/j.job.2023.106447. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710223106447>. Acesso em: 24 mar. 2025.

TORRES DE SANDE, V. et al. *Potential use of sugar cane bagasse ash as sand replacement for durable concrete.* *Journal of Building Engineering*, v. 39, art. 102277, 2021.



MORETTI, J. P. *Incorporação de resíduo agroindustrial em matrizes cimentícias*. 2018. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.