

UTILIZAÇÃO DAS CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR (CBC) COMO ADITIVO NATURAL NO CONCRETO ESTRUTURAL

Antônio Alves Ferreira Neto

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA
(antonionetoengenharia@gmail.com)*

Isabela Amorim Martins

Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA (bel.amorim12.07@gmail.com)

Júlia Victória Ramos Alves

Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA (julia_victoria34@hotmail.com)

Lucas Jacob da Silva Pina

Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA (lucasjacob381@gmail.com)

Ana Lúcia Carrijo Adorno

*Professora Doutora, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA
(ana.carrijo@unievangelica.edu.br)*

RESUMO

No decorrer dos anos, o uso da sustentabilidade na construção civil tem sido cada vez mais considerado. Esta prática inclui o desenvolvimento de novas tendências construtivas, a criação de novas metodologias e materiais com menor impacto ambiental. Um dos polos comerciais no agronegócio, no Brasil, é o cultivo da cana-de-açúcar e como qualquer setor produtivo industrial, a cana-de-açúcar também gera uma quantidade considerável de resíduos que, se não aproveitados, trazem riscos ao meio ambiente e à sociedade. O objetivo principal deste trabalho estabeleceu-se na experimentação prática, por meio da confecção de corpos de provas moldados com adição das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), cuja meta principal consolidou em introduzi-las como aditivos naturais, a fim de mostrar possíveis soluções para o problema de descarte de grandes toneladas de bagaço de cana, utilizado nas manufaturas sucroalcooleiras, trazendo como proposta a preservação ambiental e aperfeiçoamento dos produtos técnicos existentes. Utilizou-se, portanto, a CBC como agregado miúdo, fazendo substituição parcial da areia no concreto, onde elaborou-se amostras contendo 3%, 5% e 7% de cinzas, com rompimento de corpos de provas aos 7, 14 e 28 dias. Nos resultados obtidos, o que apresentou melhor desempenho foi a amostra com 7% de cinza do bagaço da cana-de-açúcar, que obteve o melhor resultado ao ensaio de compressão. Conclui-se que seria eficiente utilizar o bagaço da cana-de-açúcar como alternativa econômica para substituição parcial da areia no concreto.

PALAVRAS-CHAVE: cana-de-açúcar; concreto; sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade, na construção civil, vem ocupando cada vez mais espaço em todos os parâmetros, principalmente no setor de materiais, que possui um grande papel nas obras. A empregabilidade de materiais sustentáveis e o avanço no setor científico, para uma mudança no setor construtivo, está em evolução a cada dia, gerando novas tendências, metodologias, materiais, ferramentas, dentre outros itens, alinhando-se com a tecnologia com objetivos sustentáveis.

No território brasileiro, segundo Schenini, Bagnati e Cardoso (2004), a carência de uma percepção ecológica na manufatura da construção civil sucedeu em estragos ambientais irremediáveis, que foram agravados pelo processo de migração acontecido na segunda metade do século passado, que resultou uma grande demanda por novas habitações.

A construção civil tem apresentado mudanças que contribuem significativamente para a melhoria na qualidade da cadeia produtiva, por meio de exigências contidas nas normas técnicas, redução do desperdício em canteiros de obras, utilização de sistemas industrializados e a formação de um sistema nacional de certificação (ABIKO; ORNSTEIN, 2002, pag. 5).

O setor construtivo, por sua vez, destaca-se por ser um grande gerador de resíduos na construção civil e um dos grandes desafios, atualmente, estabelece-se no aproveitamento de resíduos e empregá-los nas obras, não somente resíduos das construções, bem como todo tipo de resíduo existente.

A geração dos Resíduos da Construção Civil – RCC se deve, em grande parte, às perdas de materiais de construção nas obras por meio do desperdício durante o seu processo de execução, assim como pelos restos de materiais que são perdidos por danos no recebimento, transporte e armazenamento. Dentre os inúmeros fatores que contribuem para a geração dos RCC estão os problemas relacionados ao projeto, seja pela falta de definições e/ou detalhamentos satisfatórios, falta de precisão nos memoriais descritivos, baixa qualidade dos materiais adotados, baixa qualificação da mão-de-obra, o manejo, transporte ou armazenamento inadequado dos materiais, a falta ou ineficiência dos mecanismos de controle durante a execução da obra, ao tipo de técnica escolhida para a construção ou demolição, aos tipos de materiais que existem na região da obra e finalmente à falta de processos de reutilização e reciclagem no canteiro. Além das construções, as reformas, ampliações e demolições são outras atividades altamente geradoras de RCC (LIMA; LIMA, 2009, pag. 6).

No Brasil, uma das medidas para combater e reduzir problemas com resíduos foi a alteração da lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), cujo principal ajuste foi introduzir a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual possui medidas a serem seguidas, dentre elas estão: estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas, como forma de minimizar impactos ambientais; gestão integrada de resíduos sólidos.

De acordo com a NBR 10.004 – Resíduos Sólidos (ABNT, 2004), os resíduos têm a seguinte classificação: classe I, perigosos; classe II, não inertes; classe III, inertes, dentre outras, considerando seus atributos e perigos oferecidos à população e ao meio ambiente. Os resíduos da construção civil se enquadram na classe III (inertes), englobando resíduos que não se decompõem quando desprezados no solo, degradam-se vagorosamente, assim sobrevém a necessidade de aplicar as técnicas de reciclar ou reutilizar os resíduos gerados por esse setor.

Presentemente, o que tem conquistado primazia nas empresas é a diligência com o meio ambiente, que busca meios de produção mais sustentáveis, estabelecendo um conjunto de ações, mais

conhecido por logística reversa. A logística reversa tem como intuito viabilizar o retorno de produtos para seu ciclo produtivo, por meio de canais de pós-venda e pós-consumo, reduzindo os impactos ambientais e melhorando a imagem das empresas perante a sociedade (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Dentre diversos produtos utilizados em obras, ressalta-se o concreto, caracterizando-se por ser sucintamente um composto gerado da mistura de pelo menos um aglomerante.

De maneira sucinta, pode-se afirmar que o concreto é uma pedra artificial que emolda a inventividade construtiva do homem, onde este foi capaz de desenvolver um material que depois de endurecido, tem resistência similar às das rochas naturais e no estado fresco é um composto plástico, que possibilita sua modelagem em formas e tamanhos dos mais variados. Duas características que diferenciam o concreto dos outros materiais são a resistência à água, que diferente dos compostos como aço e madeira, o concreto sofre menor deterioração quando exposto à água, tornando viável sua utilização em diversos tipos de obras, e o outro fator é a grande disponibilização de seus elementos constituintes por um preço acessível (IVSON *et al.*, 2014, pag. 33).

Devido ser um dos insumos mais aplicados na engenharia, o concreto está sempre em estágio de inovação, dentre estes estágios inclui-se o uso da cinza do bagaço. Alguns estudos abrangem análises e pesquisas utilizando esse material para impactos sustentáveis, além de impactos inovadores, envolvendo diferentes usos das cinzas na construção civil. Como todo setor produtivo industrial, a cana-de-açúcar também fabrica vasta quantidade de resíduos que, se não aproveitados, apresentam risco ao meio ambiente e à sociedade. O bagaço é queimado em caldeiras para gerar calor e energia na usina, produzindo areia de CBC, um problema que os gerentes da planta enfrentam ao descartar esses resíduos.

Segundo Abreu *et al.* (2021), diversas pesquisas científicas estão sendo desenvolvidas sobre a cinza proveniente do bagaço da cana-de-açúcar como um suplemento mineral, onde referenciam a viabilidade da cinza para substituição parcial do cimento Portland em argamassas, concretos ou substituindo agregado miúdo.

A CBC possui características químicas adequadas para o emprego como suplemento mineral, principalmente devido aos altos teores de dióxido de silício e perda ao fogo, mas necessita-se da realização da moagem dos grãos, para aumentar a superfície específica das partículas, garantindo melhor reatividade (MORETTI, 2014).

Essa característica poderá possibilitar o emprego desse resíduo como pozolana e, por conseguinte, reduzir as despesas e o impacto ambiental relativos à sua disposição no meio ambiente. Além disso, a incorporação da cinza pode agregar valor econômico ao resíduo agroindustrial e proporcionar vantagens técnicas e ambientais com a substituição parcial de cimento Portland (CORDEIRO *et al.*, 2009, pag. 82).

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar uma solução para o problema com o material de descarte de grandes toneladas de bagaço da cana-de-açúcar, devido a queima da cana de açúcar, utilizadas em indústrias sucroalcooleiras, avaliando o emprego das cinzas do bagaço (CBC) no concreto, como aditivo natural no concreto estrutural, por meio de variação das porcentagens do teor da CBC, analisando a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, por meio de ensaios realizados no laboratório da Universidade Evangélica de Goiás.

2 CINZA DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR (CBC)

O bagaço são os restos fibrosos da cana-de-açúcar após o processamento. O processo da geração deste bagaço inicia-se na colheita, que pode ser realizada mecanicamente, através de

colhedoras ou manualmente, pelos funcionários. Em seguida, a cana-de-açúcar é transportada ao setor industrial por meio de caminhões e passa pelo processo de lavagem para fazer a retirada do solo e de impurezas provenientes da lavoura. Posteriormente, a cana é desfibrada e enviada à moenda, para extração do caldo, com cerca de 96% do açúcar contido na cana extraído (BERENGUER, 2019).

A queima da cana-de-açúcar produz uma grande quantidade de carbono, quando comparada a outras fontes de combustão. A fuligem gerada no processo é recolhida com técnicas de lavagem e decantação e, juntamente com a cinza de caldeira, constituem-se em resíduos finais do processo industrial, no qual não há possibilidade de redução deles (GANESAN; RAJAGOPAL; THANGAVEL, 2007; SOUZA *et al.*, 2007). Como a queima do bagaço produz menos gases de aquecimento global do que a queima de outros materiais, como madeira ou combustíveis fósseis, é uma escolha ambientalmente consciente, por isso é uma excelente opção para uso de combustível alternativo.

A geração da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) ocorre na queima do bagaço nas caldeiras durante o processo de cogeração de energia, sendo essa uma fase complementar do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar no processo de obtenção do açúcar e álcool (FREITAS, 2005).

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, produzido com cimento, cal e agregado (brita ou areia). Quando o concreto é recém-fabricado, tem a capacidade de resistir a danos causados pelo estresse, no entanto, o concreto se deteriora com o tempo e se torna mais fraco e menos resiliente. Para combater isso, os fabricantes usam reforço de fibra em seus produtos para ajudar a fortalecer e manter a integridade do concreto. Um dos materiais utilizados para o concreto armado é a cinza do bagaço de cana-de-açúcar, e a adição de cinzas da queima do bagaço ao concreto o torna mais forte e durável.

Vários experimentos científicos foram desenvolvidos sobre o emprego da cinza proveniente do bagaço da cana-de-açúcar como um aditivo mineral, onde especificam a efetividade da cinza para substituição parcial do cimento Portland em argamassas, concretos ou substituindo agregado miúdo (ABREU *et al.*, 2021). Segundo Toledo (2007), o emprego de apenas 20% de CBC na produção do cimento evitaria o lançamento de aproximadamente 600.000 toneladas de CO₂ na atmosfera.

A aplicação de CBC também foi estudada como agregado fino em argamassas, que pode agregar valor ao resíduo e também reduzir o uso de areia natural, diminuindo o impacto ambiental advindo de sua extração (SECCHI, 2018). A resistência à compressão é um parâmetro imprescindível à avaliação da qualidade do concreto, sendo relacionado à segurança e estabilidade estrutural. A utilização de cinza do bagaço de cana mostrou possuir efeitos positivos na resistência à compressão do concreto. Foi observada que a proporção entre os materiais de agregado e a cinza/fibra alterou significativamente a mudança na resistência à compressão (MEDEIROS, 2022).

Nas pesquisas de Dhengare *et al.* (2015) o concreto, contendo até 30% de cinza de bagaço moída, apontou melhor resistência à compressão e uma menor permeabilidade à água do que o concreto sem as cinzas, tanto na idade de 28, quanto na de 90 dias. Lombardi (2019) certifica que a alteração, mesmo sendo moderadamente dos agregados miúdos por CBC, em argamassas e concretos, reduz os resíduos descartados, também preserva os recursos naturais não renováveis.

Outro estudo foi realizado por Martins Filho e Alves (2017), que demonstrou um avanço tecnológico significativo na área da construção civil. A mistura feita com a substituição de 30% do agregado miúdo apresentou um aumento na resistência à compressão do concreto em relação à mistura padrão. A mistura com 40% de substituição manteve a resistência em relação à mistura padrão. No entanto, com 50% de substituição foi menos resistente que os demais. Estudos têm demonstrado que a utilização da cinza do bagaço como substituto parcial do agregado miúdo pode trazer resultados consideráveis em dosagens e propriedades adequadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste trabalho é apresentar a possibilidade de usar a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) em concreto estrutural, uma vez que se compara traços em que se adiciona a cinza substituindo uma porcentagem do volume do agregado miúdo utilizado na confecção do concreto.

A pesquisa avalia e apresenta as resistências obtidas com ensaio feito à compressão axial, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018), em corpos de prova de concreto com traços definidos: um traço sem cinza, para servir de referência, e outros três diferentes traços contendo CBC, com substituição do volume do agregado miúdo em 3%, 5% e 7%.

Para obtenção dos traços, foi feito um trabalho de caracterização dos materiais, para definição de suas especificações de forma normatizada, seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Essa caracterização determina valores para o cálculo da quantidade de cada material a compor o traço, além de conhecimento das características e qualidades dos insumos utilizados. Foram feitos ensaios de massa unitária da areia e brita, de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006); massa específica da areia, de acordo com a NBR NM 52 (ABNT, 2009); determinação da composição granulométrica da areia e brita, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003); determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção da brita, segundo a NBR NM 53 (ABNT, 2009); massa específica do cimento, de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001).

3.1 CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR (CBC)

Para iniciar o processo de experimentação, realizou-se a coleta da CBC *in loco*, na Usina Jalles Machado, onde coletou-se cerca de 200 kg para ser desenvolvida a pesquisa. A Figura 1 apresenta o processo que o bagaço sofre a incineração, em seguida as cinzas são resfriadas e após isso são armazenadas.

Figura 1 - (A) Queima de CBC em caldeira; (B) Processo de esfriamento da CBC; (C) Coleta da CBC; (D) Amostra da CBC



Fonte: AUTORES, 2022.

A CBC, por apresentar alto índice de umidade, necessitou-se efetuar secagem em estufa de todo o produto coletado. O processo de preparação da CBC ocorreu da seguinte maneira:

1. Disposição da CBC em bandejas metálicas para secagem (Figura 2);
2. Secagem da CBC em estufa com temperatura igual a 200° C (Figura 3);
3. Separação das cinzas já secas para iniciar o processo de experimentação (Figura 4).

Figura 2 - CBC em bandeja metálica para secagem



Fonte: AUTORES, 2022.

Figura 3 - CBC em estufa



Fonte: AUTORES, 2022.

Figura 4 - Amostra da CBC



Fonte: AUTORES, 2022

3.2 AREIA

A densidade da areia natural foi calculada segundo a NBR16916 (ABNT, 2021), com amostra de 500 gramas de areia seca. O resultado obtido foi igual a $2,46 \text{ g/cm}^3$ (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores obtidos no ensaio da densidade da areia

Massa da amostra (g):	500
Massa do conjunto (g):	872
Massa do conjunto após 1 hora (g):	1169
Massa da amostra seca (g):	497
Volume de água adicionado (cm^3):	297,7
Massa específica (g/cm^3):	2,46
Absorção de água:	4,31

Fonte: AUTORES, 2022.

A massa unitária foi determinada de acordo com a NBR16972 (ABNT, 2021). A amostra de areia foi colocada em recipiente de 10,1 litros e pesada, dividindo o peso da areia pelo volume do recipiente, obtendo-se a massa unitária da amostra, igual a 1588,06 kg/m³ (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores obtidos no ensaio da massa unitária da areia

Massa H ₂ O (kg):	16,55
Massa recipiente (kg):	6,50
Massa areia (kg)	16
Volume recipiente (m ³):	0,010
Massa unitária (kg/m ³):	1588,06
Índice de vazios:	99,82%

Fonte: AUTORES, 2022.

Para a determinação da composição granulométrica e obtenção do módulo de finura, seguiram-se as prescrições da NBR17054 (ABNT, 2022). O ensaio foi feito com amostra de 500g, colocada em uma série de peneiras, agitada, e calculada a porcentagem retida em cada uma das peneiras. Obteve-se os seguintes resultados: módulo de finura igual a 3,65 e diâmetro máximo igual a 4,75 mm (Tabela 3).

Tabela 3 - Agregado miúdo – Areia – Total da massa: 500g

Peneiras com abertura de malhas	Massa do material retido (g)	Massa do material retido (%)	Porcentagem, em massa, acumulada
4,75mm	0,7	0,14 %	0,14 %
2,36mm	49,1	9,83 %	9,97 %
1,18mm	97,9	19,61 %	29,58 %
600mm	144,8	29,00 %	58,58 %
300µm	113,3	22,69 %	81,27 %
150µm	27,9	5,59 %	86,86 %
Fundo	65,6	13,14 %	100,00 %
Total		100,00 %	3,65

Fonte: AUTORES, 2022.

3.3 BRITA

A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados no ensaio da densidade da brita, segundo a NBR 16916 (ABNT, 2021).

Tabela 4 - Densidade da brita

Agregado	Densidade na condição seca	Densidade na condição saturada superfície seca	Absorção de água
Brita zero	2,76 g/cm ³	2,78 g/cm ³	0,98 %
Brita 1	2,70 g/cm ³	2,72 g/cm ³	0,96 %

Fonte: AUTORES, 2022.

Para determinação da massa unitária da brita 0 e da brita 1 utilizou-se o método da NBR16972 (ABNT, 2021), obtendo os valores apresentados na Tabela 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 - Massa unitária da brita 0

Massa H ₂ O (kg):	10,25
Massa recipiente (kg):	1,25
Massa brita (kg)	15,7
Volume recipiente (m ³):	0,009
Massa unitária A (kg/m ³):	1740,08
Massa unitária C (kg/m ³):	1612,63
Massa brita C (kg):	14,55

Fonte: AUTORES, 2022.

Tabela 6 - Massa unitária da brita 1

Massa H ₂ O (kg):	10,25
Massa recipiente (kg):	1,25
Massa brita (kg)	15,6
Volume recipiente (m ³):	0,009
Massa unitária A (kg/m ³):	1729,00
Massa unitária C (kg/m ³):	1656,96
Massa brita C (kg):	14,95

Fonte: AUTORES, 2022.

Para a determinação da composição granulométrica e módulo de finura da brita 0 e 1, seguiram-se as prescrições da NBR 17054 (ABNT, 2022). Os ensaios foram realizados com amostras de 7 kg. Para a brita 0 e brita 1, obteve-se módulo de finura igual a 3,32 e 3,88, respectivamente e diâmetro máximo igual a 19,00 mm (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 - Módulo de finura da brita 0

Peneiras com abertura de malhas	Massa do material retido (g)	Massa do material retido (%)	Porcentagem, em massa, acumulada
19,00 mm	97,8	1,4 %	1,4 %
12,50 mm	2112	30,20 %	31,59 %
9,50 mm	4714,6	67,41 %	99,00 %
4,75 mm	64,2	0,92 %	99,92 %
2,36 mm	5,7	0,08 %	100,00 %
Total	6994,3	100,00 %	3,32

Fonte: AUTORES, 2022.

Tabela 8 - Módulo de finura da brita 1

Peneiras com abertura de malhas	Massa do material retido (g)	Massa do material retido (%)	Porcentagem, em massa, acumulada
19,00 mm	85	1,21 %	1,21 %
12,50 mm	5979,3	85,46 %	86,67 %
9,50 mm	919,7	13,14 %	99,81 %
4,75 mm	12,2	0,17 %	99,99 %
2,36 mm	0,8	0,01 %	100,00 %
Total	6997	100,00 %	3,88

Fonte: AUTORES, 2022.

3.4 CIMENTO

O tipo de cimento utilizado para a presente pesquisa foi o CP II F 32, da marca Votorantim, que é composto por fíller, caracterizado por ser um material que preenche os vazios entre os agregados graúdos e miúdos, contribuindo para a trabalhabilidade e resistência a água, ideal para utilização em estruturas de concreto armado. Para o desenvolvimento do trabalho utilizou-se dois sacos de 50kg de cimento. Este cimento pode ser utilizado nos mais variados tipos de obras, possuindo processo de secagem rápida, ficando uniforme após a cura, se o preparo for correto.

3.5 DOSAGEM

Foi determinado uma relação de materiais de 1:1,45:1,65:0,71:0,54, definido pelo método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), que representa: 1 kg de cimento, 1,45 kg de areia, 1,65 kg de brita 1, 0,71 kg de brita 0 e 0,54 kg de água, correspondente ao traço de referência.

Segundo Alves (2006), o método de dosagem ABCP considera uma relação linear entre o peso do agregado e o fator água/cimento. A relação de agregado graúdo e agregado fino é determinada em função dos pesos específicos aparentes dos agregados, determinados por ensaios padronizados.

O traço referência foi calculado para obtenção da resistência à compressão simples do concreto, aos vinte e oito dias, igual a 30 MPa. A pesquisa consistiu em substituir 3%, 5% e 7% do volume do agregado miúdo por cinzas do bagaço da cana-de-açúcar. A Tabela 9 apresenta a relação da quantidade de material, em quilo, para um metro cúbico, utilizada em cada traço estudado.

Tabela 9 – Quantidade de material

Traço	Cimento (kg)	Brita 1 (kg)	Brita 0 (kg)	Areia (kg)	Água (kg)	CBC (kg)
Referência	8,5	14	6	12,34	4,6	-----
3%	8,5	14	6	11,97	4,6	0,370
5%	8,5	14	6	11,72	4,6	0,617
7%	8,5	14	6	11,47	4,6	0,860

Fonte: AUTORES, 2022.

3.6 SLUMP TEST

O *slump test* foi realizado *in loco* (Figura 5), anterior as moldagens, seguindo as exigências da NBR 16889 (ABNT, 2020). O *slump* calculado no traço foi de 10 ± 2 cm (Tabela 10).

Tabela 10 - Slump test (10 ± 2 cm)

Traço	Abatimento (cm)
Traço	11
3 %	10,5
5 %	9
7 %	8

Fonte: AUTORES, 2022.

Figura 5 - Realização do slump test



Fonte: AUTORES, 2022.

3.7 CORPOS DE PROVA (CP)

Os corpos de prova cilíndricos, de dimensões 100 mm x 200 mm (Figura 6), foram moldados nos parâmetros da NBR 5738 (ABNT, 2015) e mantidos em câmara úmida (NBR 9479, ABNT, 2006) até as datas de ensaio de obtenção da resistência à compressão axial: 7, 14 e 28 dias, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Foram moldados, para cada traço, seis corpos de prova, totalizando 24 amostras (Figura 7). Os corpos de prova foram identificados com etiquetas fixadas na parte superior, logo após a moldagem. Depois de retirado das formas, 24 horas após a moldagem, foram identificados com marcações ao longo da peça e submersos em tanque com água (Figura 8).

Figura 6 - Preparação dos cilindros para moldagem



Fonte: AUTORES, 2022.

Figura 7 - Corpos de prova moldados



Fonte: AUTORES, 2022.

Figura 8 - Corpos de prova submersos em tanque com água



Fonte: AUTORES, 2022.

Para cada dia de ensaio definido (7, 14 e 28 dias) romperam-se oito corpos de prova, dois para cada traço (Figura 9).

Figura 9 - Amostras de corpos de prova rompidos



Fonte: AUTORES, 2022.

4 RESULTADOS

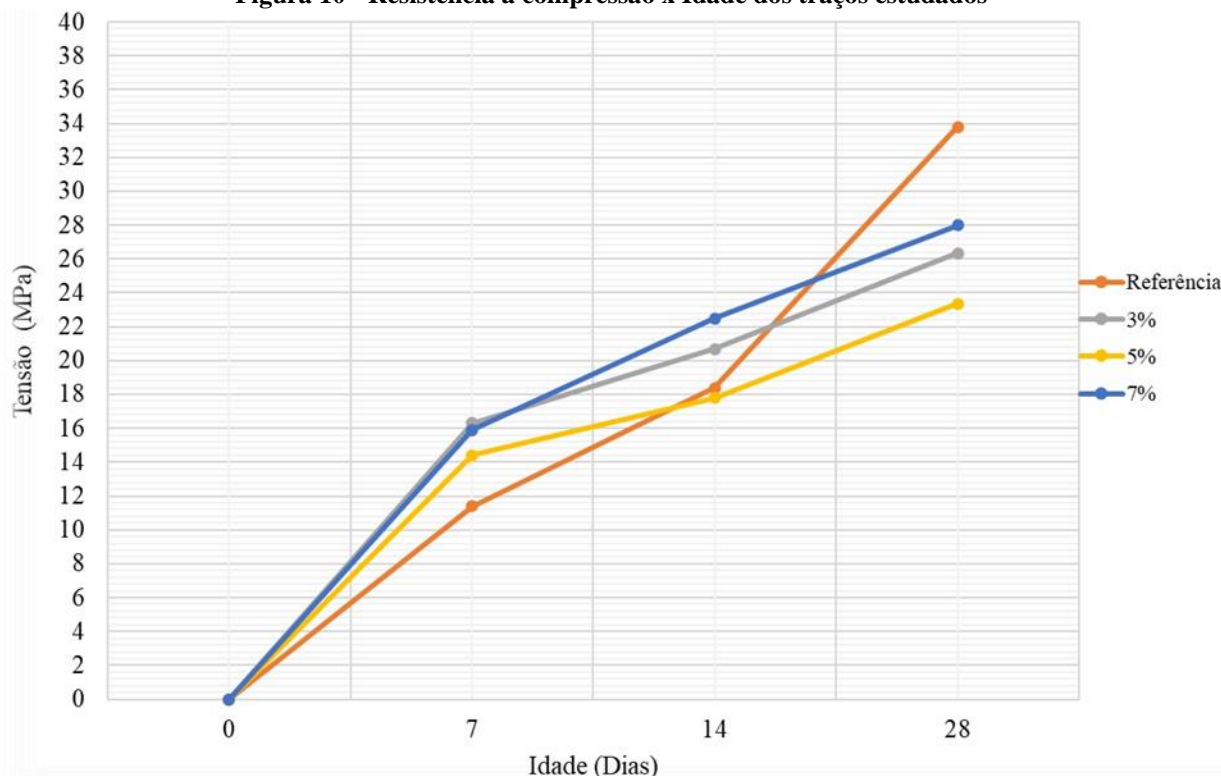
Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, conforme NBR 5739 (ABNT, 2018) nas idades de 7, 14 e 28 dias, com dois CP's de cada um dos traços em cada idade. A média dos resultados à compressão axial de cada traço, em cada idade ensaiada, está expressa na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios à compressão axial (MPa)

Traço	07 dias	14 dias	28 dias
REFERÊNCIA	11,4	18,4	33,8
3%	16,3	20,7	26,35
5%	14,4	17,8	23,35
7%	15,9	22,5	28

Fonte: AUTORES, 2022.

Figura 10 - Resistência à compressão x Idade dos traços estudados



Fonte: AUTORES, 2022.

Analisando os resultados da Tabela 11 e da Figura 10, identifica-se o crescimento da resistência à compressão do concreto ao longo do tempo. Para o traço padrão, de referência, notou-se que a resistência aos 28 dias superou a calculada, que foi de 30 MPa. Quanto aos traços que tiveram as porcentagens de 3%, 5% e 7% de substituição do agregado miúdo, não atingiram os 30 MPa, porém, por se tratar de um material que originalmente não teria essa destinação, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar se tornou promissor como um substituto percentual do agregado miúdo.

Nas idades de 7 e 14 dias dos traços com a substituição de CBC obtiveram resultados superiores ao traço padrão, mas se mantiveram em uma linha crescente ao atingir a idade de 28 dias, não sendo superiores ao traço de referência.

O traço de 5% seguiu o padrão dos demais quanto aos valores crescentes nas idades de rompimento, porém ao atingir a idade de 28 dias, apresentou um valor inferior ao traço de 3%, crendo-se ter sofrido rompimento precoce por razão de má execução e moldagem dos corpos de prova, influenciando no resultado.

5 CONCLUSÃO

O traço com substituição de 7% da areia (0,6kg) por CBC mostrou resultados mais satisfatórios por ter sido o que mais se aproximou dos valores do traço padrão. Apesar de não ter sido com valores superiores ao de referência, os seus resultados ainda o classificam como um concreto estrutural, tendo uma característica a mais em relação ao aspecto final, podendo se manter na coloração natural, economizando processos de revestimentos e acabamentos futuros.

A substituição parcial do agregado miúdo por CBC visa destinar o enorme volume de resíduos oriundos das grandes empresas de cana-de-açúcar. O percentual de 7% de substituição de

agregado miúdo talvez demonstre um valor não tão significativo, porém ao projetar essa aplicação em grande escala, todos os dias, com a produção de concreto de vários lugares do mundo, a sustentabilidade é desenvolvida com a redução de resíduos descartados, também a preservação dos recursos naturais não renováveis, com a redução da utilização da areia.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K; ORNSTEIN, S. W. **Inserção Urbana e Avaliação Pós - Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social**. Coletânea Habitare. São Paulo: FAUUSP, vol. 1, 2002.

ABREU, Ennes do Rio et al. Avaliação das características do concreto produzido com a cinza do saco da cana-de-açúcar em substituição parcial do cimento Portland e sua viabilidade econômica. 2021. Disponível em: < <http://tede2.unicap.br:8080/handle/tede/1382>>. Acesso em: 02 de set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Amostragem de agregados. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.739**: concreto- ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.181** – Análise Granulométrica de Solos. Dez 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.211** – Agregados Para Concreto – Especificações. Rio de Janeiro, Brasil. Abril 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, p. 5, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.889**: Concreto – Determinação da Consistência. Maio 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.972** - Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17.054** - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Jun. 2022.

BRASIL, 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 10 ago. 2022.

BERENGUER, Romildo Alves. **Estudo da durabilidade e influência da adição da cinza do bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades do concreto**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

CLUBE DO CONCRETO, **Massa Específica Real e Unitária**. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/05/massa-especifica-real-e-unitaria.html>>. Acesso em: 02 out. 2022.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRNAIRN, E DE M. R. **Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolona em materiais cimentícios**. Química Nova, v. 32, n.1, p. 82-86, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/b369LbWjqHzbR5zkwvmxKdK/?lang=pt#:~:text=A%20cinza%20proveniente%20da%20queima,acima%20de%2060%25%20em%20massa.&text=De%20acordo%20com%20as%20condi%C3%A7%C3%B5es,no%20baga%C3%A7o%20em%20estado%20amorfo.>>>. Acesso em 02 jun. 2022.

HELENE, P. CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações. Capítulo 15: Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. Ed. G.C. Isaia. São Paulo. 2005. p. 1600.

HELENE, P. R. L., TERZIAN, P. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: Pini; Brasília, DF: SENAI, 1992. p. 350.

IVSON, C. et al. **Ciências exatas e tecnológicas** | Maceió | v. 1 | n.1 | p. 31-40 | maio 2014 | periodicos. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/download/1285/755/0#:~:text=O%20concreto%20%C3%A9%20o%20material>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

LIMA, Rosimeire S.; LIMA, Ruy Reynaldo R. Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil. **Série de Publicações Temáticas do Crea-PR. Curitiba: Crea**, 2009. Disponível em: <http://cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/cartilhaResiduos_web2012.pdf>. Acesso em 04 set. 2022.

MARTINS FILHO, Sergio Tunis; ALVES, Lucas Samuel. Concreto com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar com granulometria específica. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 12, n. 1, p. 237-246, 2017.

MEDEIROS, Gabriela Silva de et al. Estudo da resistência à compressão e módulo de elasticidade em concretos com adição de cinza e fibra de bagaço de cana-de-açúcar. 2022.

MOURA, Elda Marra de et al. Caracterização e uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo-cimento. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 69-80, 2021.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de Cimento Portland; 13ª ed. Ed. Globo, São Paulo. 1998. p. 307.

RIBEIRO, Denise; DE MOURA, Larissa Santos; DOS SANTOS PIROTE, Natália Stéfanie. Sustentabilidade: formas de reaproveitar os resíduos da construção civil. **Revista de Ciências Gerenciais**, v. 20, n. 31, p. 41-45, 2016

SECCHI, Maicon et al. **Adição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar em compósitos cimentícios reforçados com fibras de sisal.** 2018. Disponível em: <https://ri.ufmt.br/bitstream/1/3099/1/DISS_2018_Maicon%20Secchi.pdf> Acesso em 01 nov. 2022.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. B.; CARDOSO, A. C. F. **Gestão de resíduos da construção civil.** In: Cobrac — Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis: UFSC, de 10 a 14 de outubro de 2004.

UNIP, 2020. **Massa Unitária.** Disponível em: <https://adm.online.unip.br/img_ead_dp/66303.pdf>. Acesso em: 02 out. 2022.

WEIDMANN, Denis Fernandes et al. Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland. 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/106626/264453.pdf?se>>. Acesso em: 02 out. 2022.