

Análise experimental da viabilidade da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar na produção de concretos estruturais como forma de redução do percentual de agregados miúdos.

Experimental analysis of the viability of the addition of sugarcane sugar ash in the concrete production applied as a way of reducing the aggregate percentage of children.

Amanda Guerra¹
Luah Camargo²
Mariana Oliveira³
André Luis Gamino⁴

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar, ganhando destaque em produção e consumo a região sudeste; todos os anos, milhares de toneladas são processadas nas moendas. Para cada moagem são produzidas quantidades relativas de bagaço e conseqüentemente uma proporção elevada de cinzas. Em busca da necessidade de mercado por novos meios de produção, o setor da construção civil ganhou destaque ao reaproveitamento de materiais; além de movimentar a economia, é importante para sustentabilidade do meio ambiente. As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar apresentam, de acordo com pesquisas bibliográficas, predominantemente, dióxido de silício (SiO_2), característica muito próxima do agregado miúdo – areia – proporcionando potencial de matéria-prima alternativa na produção de concretos, substituindo frações do agregado miúdo. Neste trabalho foi realizada a moldagem e cura de 66 corpos de prova de concreto, de acordo com a NBR 5738 (2015), modificados com redução de agregado miúdo em 30% e 50%; tal redução foi realizada com adição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar. Foram utilizadas formas cilíndricas com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, cimento CP II F – 32 e brita 1 (19 mm). O traço de concreto empregado apresentou proporção: 1: 1,28: 2,37: 0,43, obtido por meio do método INT de dosagem. Para minimizar os efeitos controversos, os corpos de prova passaram por cura adequada, sendo armazenados em tanque d'água saturado com cal e sem contato com outros meios. Das 66 amostras produzidas, 20 foram submetidas ao emprego da cinza do bagaço da cana em 30% de substituição ao agregado miúdo e 20 com emprego de 50%, onde a cura inicial foi realizada em 24 horas e a cura específica em 7, 14 e 28 dias. O concreto produzido passou por testes de abatimento a fim de verificar a trabalhabilidade do material em seu estado fresco. Com intuito de estudar a resistência mecânica do concreto, foram realizados

¹ Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

² Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

³ Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

⁴ Professor Doutor do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

ensaios de compressão axial (NBR 5739, 2018) e compressão diametral (NBR 7222, 2011) para determinar a resistência à tração. Ao realizar as etapas, os dados obtidos foram tabelados e analisados de acordo com o percentual de cinza utilizado. A resistência mecânica final do concreto foi comparada à resistência do concreto estrutural com adição de agregado miúdo em 100%, assim sendo possível verificar uma mudança na resistência dos corpos de prova. As amostras que continham porcentagens de cinzas apresentaram uma perda de resistência em relação ao concreto com quantidades totais de agregado miúdo. Em resposta a perda de resistência do material, foi possível concluir que a cinza do bagaço da cana-de-açúcar apresenta partículas de material extremamente fino, e como consequência desta característica a massa de concreto exigiu uma quantidade de água superior à dos concretos convencionais. Com a alta porcentagem de água que foi empregada a resistência começou a entrar em declínio ($a/c > 0,50$), contudo, um novo estudo de caso poderá ser realizado para combater esta perda, assim sendo empregado o uso de aditivos.

Palavras-Chave: cinza do bagaço da cana-de-açúcar, resistência mecânica, agregado miúdo, concreto estrutural, resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

Brazil is one of the biggest sugar cane producers, gaining prominence in production and consuming is the southeast region; every year, millions of tons are processed in the mills. For each milling relative quantities of bagasse are produced and consequently a high proportion of ashes. In search of the market's necessity of new means of production, the section of civil engineering gained prominence in reusing materials; besides moving the economy, it's important for the environment sustainability. The ashes of sugar cane bagasse present, accordingly to bibliographic researches, predominantly, silicon dioxide (SiO_2), characteristic that is very close to its fine aggregate – sand – providing potential alternative raw material to producing concrete, replacing fractions of the aggregate. In this work was made the molding and curing of 66 specimens of concrete, according to NBR 5738 (2015), modified with reduction of the fine aggregate in 30% and 50%; such reduction was made with addition of ashes from sugar cane bagasse. It was used cylindrical cut-outs with 10 cm of diameter and 20 cm of height, CP II F – 32 cement and gravel 1 (19 mm). The concrete trace employed presented a proportion: 1: 1.28: 2.37: 0.43, obtained by the INT method of dosing. To minimize the controversial effects, the specimens were adequately cured and stored in a lime-saturated water tank without contact with other means. From 66 samples produced, 20 were submitted to the using of ashes of sugar cane bagasse in 30% of replacement to the fine aggregate and 20 with using of 50%, in which the initial cure was made in 24 hours and the specific cure in 7, 14 and 28 days. The concrete produced has gone through abatement tests in order to verify the workability of the material in its fresh state. With intent of studying the mechanic resistance of concrete, it was performed axial compression tests (NBR 5739, 2018) and diametrical understanding (NBR 7222, 2011) to determinate tensile strength. When performing the steps, the data obtained were tabulated and analysed accordingly to the percentage of ash used. The final mechanical resistance of the concrete was compared to the resistance of structural concrete with addition of the fine aggregate in 100%, making it possible to verify the change in the resistance of the specimens. The samples that contained percentage of ashes presented loss of resistance in comparison to concrete with total quantities of the fine aggregate. In answer to the loss of resistance of the material, it was possible to

elucidate that the ashes of sugar cane bagasse present particles of extremely fine material, and as consequences of its characteristic the concrete mass demanded a quantity of water superior to conventional concretes. With the high percentage of water that was used the resistance started to go into decline ($a/c > 0,50$), however, a new study of the case can be accomplished to fight this loss, therefore being made the use of additives.

Keywords: ashes of sugar cane bagasse; mechanical resistance; fine aggregate; structural concrete; agro-industrial waste.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de grandes dimensões territoriais, com solo fértil e clima matizado entre as regiões; é considerado um dos maiores produtores agroindustriais. Parte da extensão territorial é ocupada pela produção de cana-de-açúcar, destinada para fabricação de combustível, monossacarídeos e energia (UNICA, 2011).

Para cada tonelada de cana processada na usina, são gerados aproximadamente 250 quilogramas do bagaço. Em uma safra prevista em 570 milhões de toneladas, cerca de 140 milhões de toneladas de bagaço estariam abarrotando os pátios das usinas (RABELLO; YONEVA, 2008).

A quantidade produzida do resíduo depende do teor de fibra da cana processada, em média, atingem valores de 46% de fibra e 50% de umidade. Como principais componentes encontram-se a celulose e hemicelulose, representando 70% do peso seco dos resíduos e a lignina, responsável pelo poder calórico (FAPESP, 1998).

O setor da construção civil no Brasil e as indústrias de materiais buscam por recursos que promovam uma qualidade dos produtos, com campo de aplicação, retorno financeiro, inovação, mão de obra acessível e destaque entre a esfera construtiva.

Com a indústria do cimento crescendo no mercado, o concreto ganhou forte atenção entre os pesquisadores: a necessidade de vincular novas técnicas é uma alternativa para discorrer sobre o aproveitamento de materiais, tanto em relação à área de construção como em demais campos.

Estudos recém-realizados mostram a necessidade da busca por substituição dos “agregados naturais” do concreto. Com a produção no Brasil, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar ganhou destaque nas pesquisas: o que antes era considerado material sem valor comercial, hoje é material de aproveitamento (UNICA, 2011).

A queima do bagaço resulta uma cinza com composição química predominantemente de dióxido de silício (SiO_2) e uma porção cristalina, muito parecida com a areia. Quando substituída em proporções específicas entre 30% e 50%, podem levar a uma manutenção das propriedades mecânicas, preenchimento dos microporos e aumento da durabilidade de concretos (MARIN, 2017).

A incorporação do novo agregado permite diminuir impactos no meio ambiente, através da extração da areia que leva a degradação e assoreamento dos cursos d'água, juntamente com a retirada da vegetação e a formação de depósitos de cinzas no solo. A cada tonelada de bagaço são estimadas cerca 25 quilogramas de cinzas após a incineração (PAES, 2010).

O concreto com adição de cinzas quando comparado aos concretos convencionais (concretos de referência, sem adição de cinzas) consegue ser ligeiramente mais barato, por meio da relação custo/resistência (BESSA, 2011). Para analisar a resistência mecânica do concreto é preciso atentar-se que as ações de tração e compressão não evoluem de forma proporcional ao longo do tempo.

A nova proposta para formação de concretos estruturais permite um estudo sobre redução de custos e materiais, principalmente em grandes obras, onde muitas são as peças concretadas que dão sustentação a estrutura.

O estudo da Areia de Cinza do Bagaço da Cana (ACBC) é de fundamental importância dentro da construção civil; através dos métodos de ensaios empregados é possível comprovar ou não a viabilidade do uso de resíduos agroindustriais como forma de substituição de agregados miúdos, assim como, comparar a resistência mecânica entre os concretos modificados e os convencionais.

MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com os objetivos do trabalho e com base na fundamentação teoria exposta, a metodologia aplicada na pesquisa experimental aponta os principais métodos e elementos utilizados para realização dos ensaios, que carregam os resultados da ideia proposta.

Os corpos de prova moldados neste trabalho apresentam configuração cilíndrica e seguem os parâmetros determinados pela NBR 5738 (2015).

Ensaio de Absorção

A NBR 9778 (2005) tem por objetivo prescrever os parâmetros básicos para execução do ensaio de absorção, através da imersão, índice de vazios e massa específica de concretos e argamassas no estado endurecido.

O ensaio é realizado em uma balança com três amostras de concreto, isentas de óleo e outros materiais aderidos na hora da montagem. O tanque é preenchido com água até a superfície para a completa imersão dos corpos de prova e a balança apresenta uma sensibilidade de aproximadamente 0,025%.

Após a realização do ensaio no período de 72 horas e coleta das massas foi empregado os equacionamentos previstos em norma para determinar a porcentagem de absorção e o índice de vazios dos corpos de prova.

1) Absorção de água por imersão:

$$A = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}} \times 100;$$

M_{sat} = massa do corpo saturado;

M_{seca} = massa do corpo seco em estufa.

2) Índice de Vazios:

$$I = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{sat}} - M_i} \times 100;$$

M_i = massa do corpo saturado, submerso em água;

M_{sat} = massa do corpo saturado;

M_{seca} = massa do corpo seco em estufa.

Ensaio de Resistência à Compressão

A NBR 5739 (2018) prescreve os métodos para ensaiar corpos de prova de concreto à compressão e os aparelhos necessários para realizar a técnica.

Para os ensaios foram utilizados os corpos de prova moldados de acordo com a NBR 5738 (2015) e mantidos em cura saturada durante o período de 7, 14 e 28 dias.

A carga aplicada sobre o molde pela máquina de compressão foi realizada continuamente e sem choques com pequenas variações de velocidade, sempre acrescentando o carregamento até o momento de ruptura do corpo de prova.

Após os resultados obtidos em ensaio, alguns parâmetros do concreto são determinados em função do carregamento aplicado sobre o corpo de prova.

1) Resistência à Compressão:

$$f_c = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2};$$

f_c = resistência á compressão – Mpa;

F = força máxima de rompimento alcançada – Mpa;

D = diâmetro do corpo de prova – mm.

2) Média dos Valores de Resistência dos Exemplares Rompidos:

$$f_{cm} = \frac{\sum f_i}{n};$$

f_{cm} = valor de resistência média do lote de concreto – MPa;

f_i = valor de resistência dos exemplares rompidos – MPa;

n = número de elementos rompidos.

3) Desvio Padrão das Amostras:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (f_i - f_{cm})^2}{n - 1}};$$

S_c = desvio padrão da dosagem – Mpa;

f_i = valor de resistência dos exemplares rompidos – Mpa;

f_{cm} = valor de resistência média do lote de concreto – Mpa;

n = número de elementos rompidos.

4) Variação das Resistências à Compressão:

$$S_e = \frac{A_i}{d_2 \cdot n_i};$$

S_e = Variação das Resistências à Compressão;

A_i = amplitude de valores de resistência – Mpa;

d_2 = coeficiente relacionado ao número de CP's;

n_i = número de exemplares da amostra;

5) Coeficiente de Variação das Amostras:

$$CV_e = \frac{S_e}{f_{cm}} \times 100;$$

CV_e = coeficiente de variação das amostras – (%);

S_e = Variação das Resistências à Compressão;

f_{cm} = valor de resistência média do lote de concreto – MPa.

De acordo com a NBR 5739 (2018) a ruptura foi classificada a partir dos diversos tipos apresentados pela norma, conforme como: cônica; cônica e bipartida; cônica e cisalhada; cisalhada e colunar.

Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

A NBR 7222 (2011) prescreve os métodos para determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de argamassa e concreto.

Para realizar o ensaio de tração foram utilizados os mesmos equipamentos empregados no ensaio de resistência à compressão, sendo os corpos de prova moldados e curados durante no período de 28 dias.

O ensaio de tração por compressão diametral foi realizado para o concreto de referência e com 50% de emprego de cinza e os valores adquiridos foram empregados na fórmula abaixo, determinada pela NBR 7222 (2015).

1) Resistência à Tração:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot L};$$

$f_{ct,sp}$ = resistência à tração por compressão diametral;

F = carga máxima obtida no ensaio (kn);

D = diâmetro do corpo de prova (mm);

L = altura do corpo de prova (mm).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A porcentagem de absorção de água dos corpos de prova e o índice de vazios foram calculados de acordo com os equacionamentos apresentados pela NBR 9778 (2005) e realizados para o concreto de referência e com adição de cinza.

♦ CONCRETO DE REFERÊNCIA:

1) Absorção de água por imersão:

$$A_1 = \frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{seca}} \times 100 = \frac{3,830 - 3,585}{3,585} \times 100 = \mathbf{6,83\%}$$

2) Índice de vazios:

$$I_1 = \frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{sat} - M_i} \times 100 = \frac{3,830 - 3,585}{3,830 - 3,810} \times 100 = \mathbf{12,25\%}$$

♦ CONCRETO COM CINZA 30%:

1) Absorção de água por imersão:

$$A_1 = \frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{seca}} \times 100 = \frac{3,620 - 3,415}{3,415} \times 100 = \mathbf{6,00\%}$$

2) Índice de vazios:

$$I_1 = \frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{sat} - M_i} \times 100 = \frac{3,620 - 3,415}{3,620 - 3,600} \times 100 = \mathbf{10,25\%}$$

♦ CONCRETO COM CINZA 50%:

1) Absorção de água por imersão:

$$A_1 = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}} \times 100 = \frac{3,305 - 2,970}{2,970} \times 100 = \mathbf{11,28 \%}$$

2) Índice de vazios:

$$I_1 = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{sat}} - M_i} \times 100 = \frac{3,305 - 2,970}{3,305 - 3,290} \times 100 = \mathbf{22,33 \%}$$

Os concretos com adição de cinza apresentaram porcentagens de absorção maiores que o concreto de referência; quanto maior a quantidade de cinza adicionada, maior foi o volume de água absorvido.

O índice de vazios das amostras também foi gradativamente maior ao longo do acréscimo de material. Ao utilizar um fator de 50% de cinza na produção dos corpos de prova, o concreto foi classificado como uma substância deficiente, que não apresentará um bom desempenho quando aplicados nas construções, principalmente em áreas molhadas e de exposição a intempéries devido ao seu alto teor de absorção (Tabela 01).

Tabela 01 – Classificação dos concretos segundo teor de absorção.

Concreto	Amostras	Absorção	Classificação
Referência	1	6,83 %	Deficiente
	2	5,16 %	Convencional
Cinza 30%	1	6,00 %	Convencional
Cinza 50%	1	11,28 %	Deficiente
	2	10,63 %	Deficiente

Para análise dos corpos de prova, foram realizados ensaios de compressão axial durante os períodos de 7, 14 e 28, dias para os traços de concreto. A força aplicada em função do tempo foi utilizada para determinar se o concreto atingiu a resistência à compressão estimada. Os resultados são apresentados a seguir.

Concreto de Referência - 7 dias

Por meio das forças adquiridas no ensaio de compressão foi calculada a resistência à compressão de cada corpo de prova e a resistência média das amostras a partir dos equacionamentos previstos em norma (Tabela 02).

Tabela 02 – Ensaio de Compressão Axial – Concreto Referência 7 dias.

Amostras	Força (kN)	Resistência à Compressão (MPa)
1	155,91	19,85
2	130,46	16,61
3	72,20	9,19
4	163,92	20,87
5	123,59	15,73
6	163,41	20,81

Média dos Valores de Resistência dos Exemplos Rompidos:

$$f_{cm} = \frac{\sum f_i}{n} = \frac{(19,85 + 20,87 + 15,73 + 20,81)}{4} = \mathbf{19,31 \text{ MPa}}$$

Concreto de Referência - 14 dias

A tabela 03 mostra a força obtida em laboratório que os corpos de provas atingiram antes da ruptura e a resistência à compressão.

Tabela 03 – Ensaio de Compressão Axial – Concreto Referência 14 dias.

Amostras	Força (kN)	Resistência à Compressão (MPa)
1	138,71	17,66
2	113,18	14,41
3	226,26	28,81
4	210,45	26,79
5	208,34	26,53
6	212,64	27,07

Média dos Valores de Resistência dos Exemplos Rompidos:

$$f_{cm} = \frac{\sum f_i}{n} = \frac{(28,81 + 26,79 + 26,53 + 27,07)}{4} = \mathbf{27,30 \text{ MPa}}$$

Concreto de Referência - 28 dias

A tabela 04 mostra a força obtida em laboratório que os corpos de provas atingiram antes da ruptura e a resistência à compressão.

Tabela 04 – Ensaio de Compressão Axial – Concreto Referência 28 dias.

Amostras	Força (kN)	Resistência à Compressão (MPa)
1	102,05	12,99
2	193,79	24,67
3	152,02	19,35
4	222,27	28,30
5	225,50	28,71
6	173,47	22,09

Média dos Valores de Resistência dos Exemplares Rompidos:

$$f_{cm} = \frac{\sum f_i}{n} = \frac{(12,99 + 24,67 + 19,35 + 28,30 + 22,09)}{5} = \mathbf{21,48 \text{ MPa}}$$

Desvio Padrão das Amostras:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (f_i - f_{cm})^2}{n - 1}} = \frac{(72,08 + 10,18 + 4,54 + 46,51 + 0,37)}{5 - 1} = \mathbf{5,78 \text{ MPa}}$$

$$f_{ck,est.} = f_{cm} - 1,65 \cdot S_c = 21,48 - 1,65 \cdot 5,78 = \mathbf{11,94 \text{ MPa}}$$

Concreto com Cinza 30% - 7 dias

Por meio das forças adquiridas no ensaio de compressão foi calculada a resistência à compressão de cada corpo de prova e a resistência média das amostras a partir dos equacionamentos previstos em norma (Tabela 05).

Tabela 05 – Ensaio de Compressão Axial – Concreto Cinza 30% 7 dias.

Amostras	Força (kN)	Resistência à Compressão (MPa)
1	81,59	10,39
2	126,06	16,05
3	101,24	12,89
4	65,66	8,36
5	95,02	12,10
6	124,57	15,80

Média dos Valores de Resistência dos Exemplares Rompidos:

$$f_{cm} = \frac{\sum f_i}{n} = \frac{(10,39 + 16,05 + 12,89 + 12,10 + 15,80)}{5} = \mathbf{13,45 \text{ MPa}}$$

Concreto com Cinza 30% - 14 dias

A tabela 06 mostra a força obtida em laboratório que os corpos de provas atingiram antes da ruptura e a resistência à compressão.

Tabela 05 – Ensaio de Compressão Axial – Concreto Cinza 30% 14 dias.

Amostras	Força (kN)	Resistência à Compressão (MPa)
1	142,24	18,11
2	122,03	15,54
3	125,32	15,96
4	110,14	14,02
5	120,81	15,38
6	147,05	18,72

Média dos Valores de Resistência dos Exemplares Rompidos:

$$f_{cm} = \frac{\sum f_i}{n} = \frac{(15,54 + 15,96 + 14,02 + 15,38 + 18,72)}{5} = \mathbf{15,92 \text{ MPa}}$$

Concreto com Cinza 30% - 28 dias

A tabela 06 mostra a força obtida em laboratório que os corpos de provas atingiram antes da ruptura e a resistência à compressão.

Tabela 05 – Ensaio de Compressão Axial – Concreto Cinza 30% 28 dias.

Amostras	Força (kN)	Resistência à Compressão (MPa)
1	153,76	19,58
2	102,66	13,07
3	174,58	22,23
4	113,37	14,43
5	135,17	17,21
6	190,48	24,25

Média dos Valores de Resistência dos Exemplares Rompidos:

$$f_{cm} = \frac{\sum f_i}{n} = \frac{(19,58 + 13,07 + 22,23 + 14,43 + 17,21 + 24,25)}{6} = \mathbf{18,46 \text{ MPa}}$$

Desvio Padrão das Amostras:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (f_i - f_{cm})^2}{n - 1}} = \frac{(1,25 + 29,05 + 14,21 + 16,24 + 1,56 + 33,52)}{6 - 1} = \mathbf{4,38 \text{ MPa}}$$

$$f_{ck,est.} = f_{cm} - 1,65 \cdot S_c = 18,46 - 1,65 \cdot 4,38 = \mathbf{11,23 \text{ MPa}}$$

Nenhuma das amostras atingiram a resistência estimada de 30 MPa, e os traços de concreto com adição de cinza demonstraram resistências inferiores ao concreto de referência.

A queda de resistência foi proporcionada principalmente pelo aumento do fator água/cimento e pela qualidade dos materiais envolvidos, sendo a brita desuniforme, a areia grossa e a qualidade e composição característica da cinza do bagaço da cana.

Com o aumento da relação água/cimento perde-se resistência e a vida útil da estrutura do concreto, pois ocorre o aumento da porosidade da pasta endurecida.

A figura 01 representa um comparativo entre as resistências à compressão de alguns autores e do trabalho realizado.

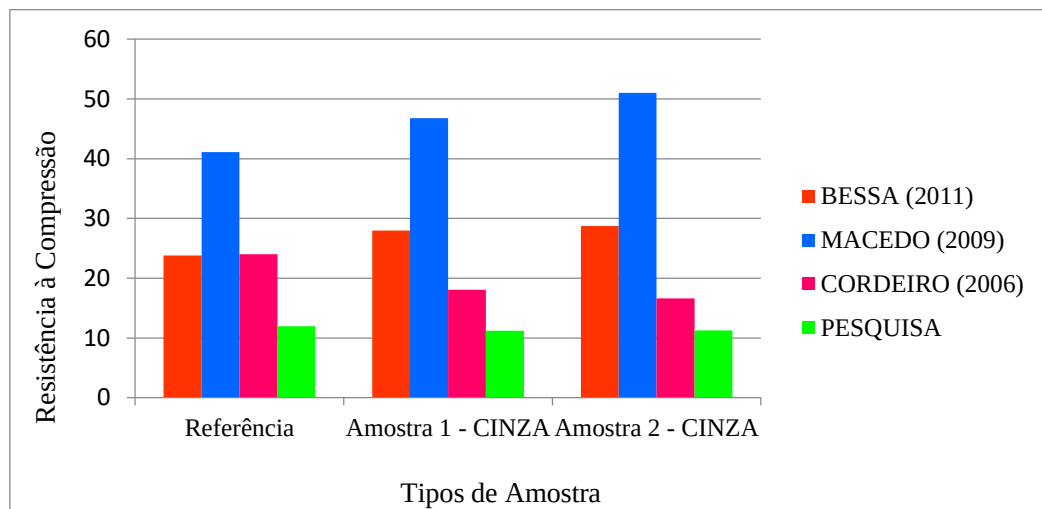


Figura 01 – Comparativo da resistência à compressão de autores e do trabalho realizado.

O concreto de referência e com adição de cinza foi classificado com rupturas do tipo “F” e “G”, que de acordo com a norma devem ser desconsiderados para uso, a menos que, seu resultado seja posto em conceitos comparativos com outros concretos para estudo de qualidade (Figura 02 e 03).



Figura 02– Ruptura do tipo “G”.



Figura 03– Ruptura do tipo “F”.

Resistência à Tração por Compressão Diametral

A resistência à tração por compressão diametral foi desenvolvida para o concreto de referência e com cinza em 50% no período de 28 dias. Os resultados são apresentados na tabela 06.

Tabela 06 – Ensaio de Compressão Diametral –28 dias

Amostras	Resistência Concreto Referência (MPa)	Resistência Concreto 50% Cinza (MPa)
1	3,20	3,05
2	3,40	3,15
3	3,11	2,42
4	3,63	2,67
5	3,41	3,39
6	3,29	2,86

Para o concreto de Referência:

$$f_{ct,sp} = \frac{3,29 + 3,41 + 3,63 + 3,11 + 3,40 + 3,20}{6} = 3,34 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 0,3 \cdot 11,94^{2/3} = 1,57 \text{ MPa}$$

Para o concreto 50% de Cinza:

$$f_{ct,sp} = \frac{2,86 + 3,39 + 2,67 + 2,42 + 3,15 + 3,05}{6} = 2,92 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 0,3 \cdot 11,27^{2/3} = \mathbf{1,51 \text{ MPa}}$$

A resistência à tração do concreto quando utilizado a cinza do bagaço da cana-de-açúcar foi menor em algumas amostras do que o concreto de referência, porém os valores de resistência média ficaram muito próximos, um fator que pode ocasionar esta diferença é o tipo e a qualidade do material utilizado na substituição do agregado miúdo.

Para todos os corpos de prova rompidos ao ser aplicado a carga diametralmente a fissura ocorreu ortogonal ao seu diâmetro, abrindo a peça ao meio (Figura 04). Os concretos com adição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar quando aplicadas as cargas romperam-se mais rápido e com menos velocidade de carregamento que o concreto de referência.



Figura 04 – Compressão diametral: sentido da fissura

Conclusões

Por meio dos resultados e discussões realizadas foi possível estabelecer conclusões a respeito da viabilidade do uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição do agregado miúdo para a produção de concretos.

Segundo parâmetros físicos analisados na metodologia deste trabalho, a cinza do bagaço da cana apresentou propriedades que assemelham a areia, como a exemplo, o tamanho de seus grãos reduzidos.

Com o baixo módulo de finura os concretos produzidos com a adição de cinza apresentaram uma porcentagem de absorção de água superior ao concreto convencional, cerca de 50% a mais que as amostras de referência.

O alto teor de água na pasta de concreto acarretou interferências nas propriedades mecânicas do material, principalmente em seu estado endurecido.

Os concretos produzidos com 30% e 50% de cinza não apresentaram os melhores resultados em relação aos ensaios realizados e comparados ao concreto de referência. Durante os períodos de cura foi possível concluir que houve uma redução da resistência média dos corpos de prova, bem como a resistência estimada aos 28 dias.

A resistência à tração também sofreu uma redução durante o período de cura, conforme apresentado; ao analisar a resistência média dos corpos de prova conclui-se que a pesar do concreto com adição de cinza não ter superado os valores de referência, a diferença entre as duas amostras foi considerada de baixa proporção, ou seja, os valores encontraram-se bem próximos, sendo 1,51 MPa concreto com cinza e 1,57 MPa para concreto de referência.

O uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar não aumentou significativamente o valor final do concreto e o ganho em relação à melhoria do desempenho mecânico foi menor.

O emprego de materiais agroindustriais no setor da construção civil permite a redução do impacto ambiental causada pela sua destinação inadequada e a descoberta de elementos alternativos que podem ser empregados em construções sustentáveis.

Porém, o concreto com adição de cinzas não é viável para ser utilizado em construções, porque suas propriedades são afetadas com o emprego da cinza, de forma principal a resistência à compressão, tração e absorção de água pelo material.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%205738%20-%2015_aula.pdf>. Acesso em: 04 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 4 p. Disponível em: <<http://files.israel-tecnico-qualidade.webnode.com/200001169-522fc532a8/NBR%205739%20%20Concreto%20%20Ensaio%20de%20Compress%C3%A3o%20de%20Corpos-de-pro.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:** Argamassa e concreto – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 3 p. Disponível em: <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/04/concreto-e-argamassa-e28093-determinac3a7c3a3oda-resistc3aancia-c3a0-trac3a7c3a3o-por-compressc3a3o-diametral-de-corpos-de-prova-cilc3adndricos.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecido: determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 3 p. Disponível em: <<http://files.mvalin.com.br/2000001297f3cb803a7/NBR%2009778%20%20Argamassa%20e%20concreto%20endurecidos%20%20Determinacao%20.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

BESSA, Sofia A. L. **Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana.** 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4184/4074.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

PAES, Matheus H. Emprego das cinzas do bagaço da cana na construção civil. **Portal Biossistemas Brasil**, Pirassununga, jun. 2010. Disponível em: <<http://www.usp.br/portalbiossistemas>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

RABELLO, Tânia; YONEYA, Fernanda. Bagaço de cana, 'resíduo' cada vez mais lucrativo. **Estadão**, São Paulo, set. 2008. Disponível em: <<https://www.estadao.com.br/noticias/geral,bagaco-de-cana-residuo-cada-vez-mais-lucrativo>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

UNICA. **Bagaço de cana pode ganhar valor substituindo areia na construção civil**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/33630022920327850689/bagaco-de-cana-pode-ganhar-valor-substituindo-areia-na-construcao-civil>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

UNICA. **Novos horizontes comerciais para o bagaço de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/industria/tecnologia/horizontes-comerciais-bagaco-cana-de-acucar-160217>>. Acesso em: 01 abr. 2019.

MACEDO, Pamela C. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91450/macedo_pc_me_ilha.pdf?sequence=1>. Acesso em: 01 abr. 2019.

CORDEIRO, Guilherme C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço da cana-de-açúcar e da casca do arroz como aditivos minerais em concreto**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <www.coc.ufrj.br/es/documents2/doutorado/2006-2/848...cordeiro-doutorado/file>. Acesso em: 01 abr. 2019.