

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO EM CONCRETOS INCORPORADOS COM FIBRA/CINZA DE BAGAÇO DE CANA

LETÍCIA CRISTINA TEIXEIRA CAVALCANTE¹, GABRIELA SILVA DE MEDEIROS², BRUNO VICTOR DOS SANTOS SILVA³, THIAGO EDUARDO PEREIRA ALVES⁴ e PAULO FRANCINETE SILVA JÚNIOR⁵

¹Eng. Civil, IFG, Anápolis-GO, leticiatcavalcante@gmail.com;

²Eng. Civil, IFG, Anápolis-GO, gabmedeiros.eng@gmail.com;

³Graduando, IFG, Anápolis-GO, brunosilva.ifg@gmail.com

⁴Dr. Prof. Efetivo, IFG, Anápolis-GO, thiago.alves@ifg.edu.br

⁵Dr. Prof. Efetivo, IFG, Goiânia-GO, paulo.junior@ifg.edu.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
04 a 06 de outubro de 2022

RESUMO: Este trabalho objetivou um estudo acerca da incorporação simultânea de subprodutos gerados pela indústria sucroalcooleira, a fibra de bagaço de cana-de-açúcar (FBC) e a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), em concretos. Foram executados procedimentos preliminares para tratamento da FBC e CBC e a caracterização físico-química desses resíduos. A metodologia incluiu também a dosagem, moldagem e cura dos corpos de prova, assim como a análise da resistência à compressão, módulo de elasticidade e tração por compressão diametral. Foram estudados de forma comparativa o concreto de referência e os concretos com 1% de FBC, 3,5% de CBC e 1% de FBC + 3,5% de CBC. Cabe destacar que, todos os concretos possuíram a mesma dosagem, com relação a/c em quantidades constantes e não utilizaram a adição de aditivos. Os resultados obtidos demonstraram a alteração das propriedades físicas e mecânicas dos concretos com adições e a utilização simultânea de FBC e CBC apresentou o melhor desempenho quanto à resistência à compressão e tração por compressão diametral.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto especial, resíduos, FBC, CBC, resistência.

STRENGTH TO COMPRESSION AND TENSION IN CONCRETE INCORPORATED WITH FIBER/ASH FROM SUGAR CANE BAGS

ABSTRACT: This work aimed to study the simultaneous incorporation of by-products generated by the sugarcane industry, sugarcane bagasse fiber (SBC) and sugarcane bagasse ash (CBC), in concrete. Preliminary procedures were performed for the treatment of FBC and CBC and the physicochemical characterization of these residues. The methodology also included the dosage, molding and curing of the specimens, as well as the analysis of compressive strength, modulus of elasticity and tensile strength by diametrical compression. Reference concrete and concretes with 1% FBC, 3.5% CBC and 1% FBC + 3.5% CBC were comparatively studied. It should be noted that all concretes had the same dosage, with respect to w/c in constant amounts and did not use the addition of additives. The results obtained demonstrated the alteration of the physical and mechanical properties of the concretes with additions and the simultaneous use of FBC and CBC presented the best performance in terms of compressive and tensile strength by diametrical compression.

KEYWORDS: Special concrete, waste, FBC, CBC, strength.

INTRODUÇÃO

Soluções viáveis, sustentáveis e eficazes do ponto de vista tecnológico são buscadas em diversas pesquisas no âmbito da engenharia, principalmente com a utilização de materiais alternativos (FERNANDES; AMORIM, 2014). Neste contexto, a utilização de materiais e concretos especiais é crescente na construção civil. Os concretos especiais possuem em sua composição além dos agregados, cimento Portland e água, insumos especiais, como aditivos, materiais alternativos,

subprodutos, dentre outros, com propriedades e características específicas que, em geral, complementam, reforçam e/ou melhoram as propriedades do concreto de acordo com a finalidade exigida.

A utilização de FBC e CBC em concretos são investigadas com êxito por vários autores ao longo do tempo, como Sarmiento (1996), Silva (2010), Bessa (2011), Lima et al. (2014), Berezuk (2015), Castaldelli et al., (2016), Jagadesh, Ramachandramurthy e Murugesan (2018), Micheal, Moussa (2021) e servem como embasamento para execução dos procedimentos de tratamento preliminar e caracterização desses resíduos. Nesse sentido, este trabalho estudou a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e a resistência à tração por compressão diametral em concretos com a adição de 1% de FBC, 3,5% de CBC e com o uso simultâneo dessas proporções de FBC e CBC. Justifica-se esse tema devido a utilização simultânea de resíduos que fornecem propriedades distintas aos concretos, visto que, ainda não foram encontrados na literatura estudos acerca da utilização simultânea de FBC e CBC em concretos. Dessa forma, pode-se destacar que, fatores econômicos, ambientais e técnicos estão intrinsecamente ligados à relevância de estudos nessa área.

MATERIAL E MÉTODOS

Os resíduos utilizados neste trabalho, FBC e CBC, foram cedidos pela Usina Jalles Machado, uma empresa do setor sucroenergético, localizada no Município de Goianésia, Estado de Goiás. Cabe destacar que a FBC e a CBC coletadas, apresentavam-se sem impurezas, contaminações, restos orgânicos ou insetos.

O processo de preparação da CBC, consistiu inicialmente no processo de secagem em estufa por 48 horas. Após a completa secagem da amostra de CBC, foi realizado o procedimento de quarteramento da amostra conforme prevê a norma de amostragem NBR NM 16915 (ABNT, 2021). Após a execução desses procedimentos, foram executados os ensaios de análise da microestrutura e morfologia por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), teor de umidade, massa específica conforme NBR 16605 (ABNT, 2017), massa unitária e volume de vazios NBR 16972 (ABNT, 2021) e granulometria NM 248 (ABNT, 2003). Cabe destacar que os ensaios foram executados conforme orientações das normativas, prevendo apenas a alteração na quantidade de material utilizado em cada ensaio, para viabilidade de execução, visto que, a CBC, por exemplo apresenta baixo peso e grande volume, isto é, baixa densidade, podendo ser consultadas no trabalho de Cavalcante (2022).

O processo de preparação da FBC consistiu em pré-lavagem, lavagem em água corrente, secagem ao ar, peneiramento e tratamento químico. A pré-lavagem consistiu em despejar as fibras em baldes e submergi-las na água, trocando a água por três vezes, com o intuito de reduzir a considerável quantidade de material fino presente na amostra. Em seguida, a FBC foi colocada em pequenas quantidades em peneiras de 4,8 mm e lavadas em água corrente até estarem visualmente limpas (sem excesso de finos). A escolha da pré-lavagem e lavagem em água corrente foi relacionada à facilidade de execução e futura repetibilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos com esse tipo de lavagem, que possui como objetivo a retirada de quaisquer materiais que não sejam fibras, assim como a retirada superficial da sacarose presente no material.

Após esses processos, as FBC foram dispostas sobre uma lona limpa a fim de permitir a secagem natural, ao ar. Concluída a secagem ao ar da FBC, foi realizado o peneiramento da mesma. Em pequenas quantidades a amostra foi peneirada em 2 intervalos de 5 minutos, utilizando o peneirador mecânico e as peneiras de 95 mm, 4,8 mm e 2 mm. O processo de peneiramento, foi realizado com o objetivo de obter-se o comprimento médio das fibras adotado para realização desse trabalho, entre 1 cm e 3 cm, que correspondeu ao material retido nas peneiras de 4,8 e 2 mm. Posteriormente, realizou-se o processo de tratamento da FBC, que seguiu a metodologia apresentada por Ramirez Sarmiento (1996). Cabe destacar, que o autor sugere a utilização de uma solução de silicato de sódio (NaSiO_3) a 5% e sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) a 30%, contudo, considerando as propriedades químicas e a finalidade, realizou-se a substituição do sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) por sulfato de zinco (ZnSO_4). Cabe ressaltar que as modificações introduzidas nessa metodologia foram condicionadas a um desempenho igual ou superior à redução de absorção de água apresentada nesse referencial bibliográfico. Assim, o procedimento de proteção (mineralização) das FBC, foi realizado com uma solução de silicato de sódio (NaSiO_3) a 5% e sulfato de zinco (ZnSO_4) a 30%. O procedimento para preparação da solução não utilizou temperatura e consistiu basicamente na dissolução dos elementos em água destilada em balões volumétricos.

Após a execução dos procedimentos preliminares e do tratamento químico da FBC, foram executados os ensaios de composição e morfologia da fibra pós-tratada por meio de MEV, teor de umidade da fibra pré-tratada, absorção de água e massa específica da fibra pré e pós-tratada, conforme referencial bibliográfico de Sarmiento (1996). O ensaio de absorção de água, consistiu na imersão em água de uma massa conhecida de FBC pré-tratada e outra tratada, por tempos iguais e pré-determinados com posterior secagem superficial e nova medição da massa, possibilitando determinar a quantidade de água absorvida pelo material natural e tratado, sendo possível uma avaliação do tratamento químico realizado. A determinação da massa específica da fibra pré-tratada e pós-tratada, ocorreu por meio da técnica de volume de líquido deslocado. Para determinarmos esse índice físico, foi utilizado álcool, uma vez que massa específica das fibras é muito baixa e provetas de vidro devido à forma/estrutura física das fibras.

Com a FBC e CBC devidamente caracterizadas, deu-se início a dosagem dos concretos, que consistiu na adoção inicial de alguns parâmetros e de forma empírica definiu-se o traço. Os parâmetros estabelecidos foram o teor de argamassa igual a 55% e a quantidade total de agregados no traço unitário igual a 4. Vale ressaltar que a relação água cimento (a/c) foi ajustada de acordo com a trabalhabilidade do traço de 1%FBC + 3,5%CBC. Isto é, se a relação a/c adotada para esse traço permitisse a avaliação da consistência através do abatimento do tronco de cone e a execução da moldagem dos corpos de prova seria viável fixar a relação a/c para os traços de 1% FBC e 3,5% CBC.

Com o traço definido foram executadas a rodagem, moldagem e cura dos corpos de prova. Aos 7 e 28 dias de idade foram executados os ensaios de resistência à compressão conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018), módulo de elasticidade conforme a NBR 8522-1 (ABNT, 2021) e o ensaio de resistência à tração por compressão diametral de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

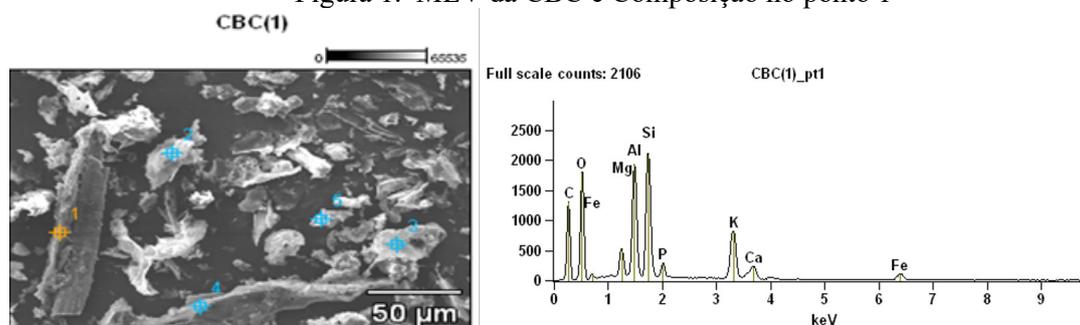
A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física da CBC:

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização da CBC

Caracterização física da CBC					
Umidade	Massa específica	Massa unit. solta	Massa unit. compacta	MDF	DMC
432 %	1,68 g/cm ³	0,14 kg/dm ³	0,17 kg/dm ³	1,31	1,18
*MDF = Módulo de finura *DMC = Dimensão máxima característica					

O valor elevado para o teor de umidade deu-se por conta de a CBC encontrar-se saturada durante a coleta, uma vez que, após a queima do bagaço de cana na indústria os funcionários jogam água para evitar a sua dispersão. Vale destacar que a massa específica encontrada é mais baixa que a massa específica comum da areia média, entretanto, não se diverge dos valores consultados nos referencias bibliográficos. A seguir, na figura 1, os resultados obtidos através do ensaio de MEV:

Figura 1. MEV da CBC e Composição no ponto 1



A análise da microestrutura e morfologia da CBC nos pontos 1, 2 e 3 apontou a predominância do elemento silício (Si) e do elemento oxigênio (O), em conjunto esses elementos formam o composto conhecido como sílica (SiO₂). Uma provável fonte de sílica para CBC é a areia vinda da lavoura, que não é totalmente removida durante a lavagem da cana-de-açúcar (BEREZUK, 2015). Já

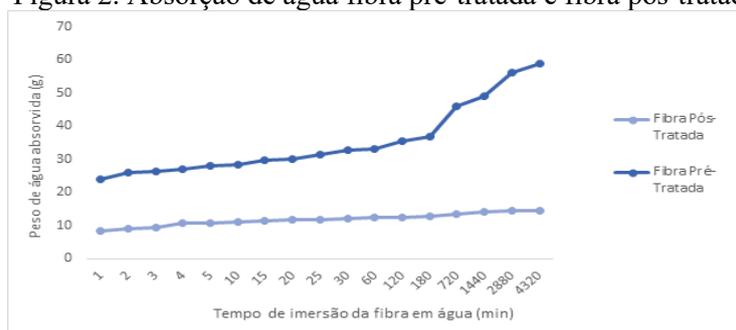
analisando o ponto 4, foi possível verificar a predominância do elemento carbono (C). Dessa forma, a presença do alto teor de carbono em algumas fases da CBC contribui para redução da atividade pozolânica do resíduo.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de caracterização da FBC

Caracterização física da FBC		
Umidade	Massa específica fibra pré-tratada	Massa específica fibra pós-tratada
8,51%	0,5 g/cm ³	0,83 g/cm ³

O teor de umidade encontrado encontra-se abaixo da média, segundo Sarmiento (1996), a umidade média de equilíbrio do bagaço está situada entre 9% e 10% e tem relação com a capacidade de absorção e condição solta da FBC. A seguir os resultados obtidos no ensaio de absorção de água:

Figura 2. Absorção de água fibra pré-tratada e fibra pós-tratada

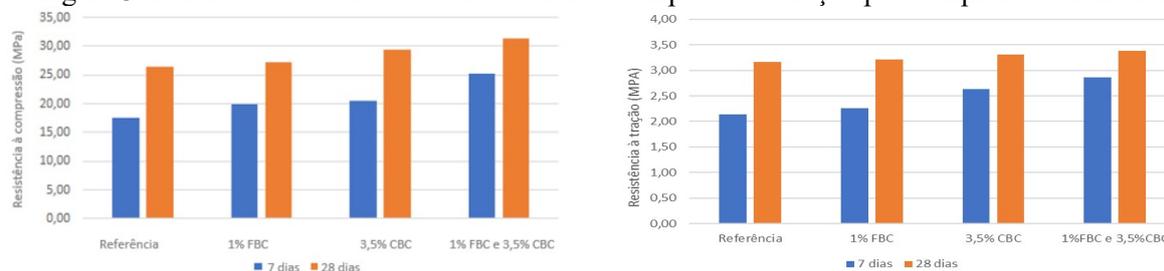


O ensaio de absorção de água demonstrou uma redução de 65,26% da absorção de água pela fibra tratada com silicato de sódio (NaSiO₃) a 5% e sulfato de zinco (ZnSO₄) a 30%. Valor superior a faixa indicada por Sarmiento (1986), entre 50% e 60%. O que demonstra de forma satisfatória a substituição de sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃) por sulfato de zinco (ZnSO₄) no tratamento proposto. Através do ensaio de MEV foi possível perceber a característica áspera causada pela impregnação do silicato de sódio (NaSiO₃) e sulfato de zinco (ZnSO₄), demonstrando em conjunto com os resultados do ensaio de absorção de água os efeitos do tratamento químico proposto.

Os resultados do ensaio de módulo de elasticidade aos 7 e 28 dias, não revelaram ganhos quanto às adições de FBC e CBC quando comparado ao concreto de referência. Sendo o módulo de elasticidade do concreto de referência 29 GPA e o do concreto com 1%FBC e 3,5%CBC de 28 GPA.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão e tração por compressão diametral apresentaram ganhos de resistência nas duas idades, sendo o concreto de uso simultâneo (FBC e CBC) com melhores resultados. A seguir os gráficos do exposto anteriormente:

Figura 3. Resultados dos ensaios de resistência à compressão e tração por compressão diametral



CONCLUSÃO

Os procedimentos preliminares e os ensaios executados para caracterização da FBC e da CBC são de suma importância, já que cada material possui suas características e particularidades, que variam de acordo com o tipo de cana, com o tempo de queima, com o controle de temperatura, com o processo de moagem, tratamento químico, dentre outros fatores. Nessa perspectiva, os resultados obtidos com os ensaios físicos e químicos foram satisfatórios e apontaram a viabilidade técnica de incorporação desses resíduos nos concretos. Com os resultados da resistência à compressão e da

resistência à tração por compressão diametral é possível afirmar que as adições individuais de 1% de FBC e 3,5% de CBC e a adição simultânea de 1% de FBC + 3,5% de CBC provocaram alterações nas propriedades físicas e mecânicas do concreto. A vista disso, a adição simultânea, apresenta uma interação entre a FBC e a CBC que desempenhou os melhores resultados de resistência à compressão e à tração por compressão diametral nas duas idades (7 e 28 dias).

AGREDECIMENTOS

A rede federal de ensino e ao laboratório de engenharia do IFG Campus Anápolis.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos - Rio de Janeiro, 2018.
- _____. NBR 7222 Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – Rio de Janeiro, 2011.
- _____. NBR 8522-1:2021. Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 1: Módulos estáticos à compressão – Rio de Janeiro, 2021.
- _____. NBR 8953 Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência – Rio de Janeiro, 2015.
- _____. NBR 9778 Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – Rio de Janeiro, 2009.
- _____. NBR 16605 Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica – Rio de Janeiro, 2017.
- _____. NBR 16972 Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios – Rio de Janeiro, 2021.
- _____. NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica – Rio de Janeiro, 2003.
- BEREZUK, F.D. Avaliação do ciclo de vida do concreto convencional com cinza do bagaço de cana-de-açúcar em substituição parcial da areia. Tese (Pós graduação) -Engenharia urbana, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2015.
- BESSA, S.A.L. Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana. Tese (Doutorado) – Engenharia urbana, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.
- CASTALDELLI, V. N. et al. Study of the binary system fly ash/sugarcane bagasse ash (FA/SCBA) in SiO₂/K₂O alkali-activated binders. Fuel, v. 174, p. 307–316, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 03/06/2021.
- CAVALCANTE, L.C.T. Estudo da influência da adição de fibra e cinza de bagaço de cana sobre a resistência à tração de concretos. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia civil da Mobilidade) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022.
- FERNANDES, A.; AMORIM, J. Concreto Sustentável aplicado na construção civil. CADERNO EXATAS, 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br>. Acesso em: 10/06/2021.
- SARMIENTO, C.R. Argamassa de cimento reforçada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar e sua utilização como material de construção. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1996.
- SILVA, J.F. Propriedades físicas e mecânicas de argamassa reforçada com fibras do bagaço de cana-de-açúcar (FBC). Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010.
- JAGADESH, P.; RAMACHANDRAMURTHY, A.; MURUGESAN, R. Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. Construction and Building Materials, v. 176, p. 608–617, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 08/06/2021.
- LIMA, S.; SALES, A.; MORETTI, J.; SANTOS, T. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado em concretos e argamassas. REVISTA TECNOLÓGICA, 2014. Disponível em: <http://eduem.uem.br>. Acesso em: 05/06/2021.
- MICHEAL, A.; MOUSSA, R. R. Investigating the Economic and Environmental Effect of Integrating Sugarcane Bagasse (SCB) Fibers in Cement Bricks. Ain Shams Engineering Journal, n. xxxx, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 10/06/2021.