

EMPREGO DE CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇUCAR EM MATRIZES CIMENTÍCIAS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Erika Severino de Miranda¹
Henrique Bueno Machado²
Rafaela de Araújo Oliveira³
Siane Arantes de Oliveira⁴
Andrielli Morais de Oliveira⁵

RESUMO

O processo produtivo do concreto de cimento Portland envolve considerável impacto ambiental, principalmente no que tange à emissão de gases de efeito estufa e extração de recursos naturais. Nesse sentido, diversos estudos têm sido conduzidos a fim de avaliar a aplicabilidade de subprodutos agroindustriais em matrizes cimentícias, sejam como materiais cimentícios suplementares (MCS) ou como agregados miúdos. Neste contexto, por apresentarem elevado teor de sílica amorfa, as cinzas residuais de usinas açucareiras apresentam-se como uma alternativa interessante para uso em matrizes cimentícias. Assim, a presente pesquisa apresenta o potencial de utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) na produção de matrizes cimentícias. Realizou-se nesse artigo, uma revisão bibliométrica da literatura, utilizando a *string* “*sugar AND cane AND concrete AND sustainability*”, na base de dados Scopus. Os resultados apontaram a pouca expressividade do tema no Brasil que, apesar de figurar como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, ainda não explora comercialmente o subproduto e pouco tem desenvolvido em estudos científicos. A principal contribuição do trabalho foi evidenciar o grande potencial de aproximação dos setores agroindustrial e da construção civil a nível nacional e regional.

Palavras-chave: Cimento Portland, Pozolanas, Resíduos agrícolas, Sustentabilidade, Materiais suplementares.

USE OF ASH FROM SUGAR CANE BAGASS IN CEMENT MATRICES: A BIBLIOMETRIC REVIEW

ABSTRACT

The production process of Portland cement concrete involves considerable environmental impact, mainly with regard to the emission of greenhouse gases and the extraction of natural resources. In this sense, several studies have been developed in order to evaluate the applicability of agro-industrial by-products in cementitious matrices, either as supplementary cementitious materials (SCM) or as fine aggregate. In this context, due to their high content of amorphous silica, residual ash from sugar mills is a sustainable alternative, therefore predicting a lower consumption of cement, which generates energy savings, reduces carbon dioxide emissions in the atmosphere and the use of alluvial materials. Thus, this research sought to verify the potential use of sugarcane bagasse ash (SBC) in the production of cementitious matrices. In this article, a bibliometric review of the literature was carried out, using the string “*sugar AND cane AND concrete AND sustainability*”, in the Scopus database. The results showed little expressiveness of the topic in Brazil which, despite being the world's largest sugarcane producer, the country still does not commercially exploit the by-product and has little development in scientific studies. The main contribution of the work was to highlight the great potential for bringing together the agro-industrial and civil construction sectors, mainly at a national and regional level.

Keywords: *Portland cement, Pozzolans, Agricultural waste, Sustainability, Supplementary materials.*

Recebido em 13 de março de 2024. Aprovado em 17 de junho de 2024

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás. E-mail: erikamirandaeng@gmail.com

² Mestre em Construção Civil pela Universidade Federal de Goiás. E-mail: hbm_eng@yahoo.com.br

³ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás. E-mail: rafaela.araujo@discente.ufg.br

⁴ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás. E-mail: sianearantes@hotmail.com

⁵ Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Docente na Universidade Federal de Goiás. E-mail: andriellimorais@ufg.br

INTRODUÇÃO

Dados da GCCA 2050 (2021) indicam que no ano de 2020 foram produzidas 4,2 bilhões de toneladas de cimento e consumidas cerca de 14 bilhões de metros cúbicos de concreto no mundo. No Brasil, em 2022, foram produzidas cerca de 63 milhões de toneladas de cimento (SNIC, 2024). Estudos recentes apontam também que o setor da construção civil tem participação de 39% na emissão de CO₂, sendo somente o processo produtivo do cimento responsável por cerca de 7 a 8% da emissão mundial, contribuindo assim, de forma significativa, para o efeito estufa global (Abbas *et al.*, 2020; Anusha; Dineshkumar, 2022; Athira *et al.*, 2021;). Estima-se que para cada tonelada de cimento Portland produzida, cerca de uma tonelada de CO₂ seja emitida na atmosfera (Aprianti *et al.*, 2015). Sendo assim, estudos que remetam a um processo produtivo de cimento com fontes de energia mais limpas e eficientes, formas de redução das emissões de CO₂ e com materiais recicláveis são justificáveis (Abbas *et al.*, 2020; Aprianti *et al.*, 2015; Athira *et al.*, 2021).

Dessa forma, no que tange à utilização de matérias-primas alternativas tendo em vista a obtenção de concretos de baixo carbono, a utilização de subprodutos agroindustriais como materiais cimentícios não convencionais, denominados materiais cimentícios suplementares (MCS), vêm sendo explorados (Aprianti *et al.*, 2015; Bahurudeen *et al.*, 2015; Shinkhede *et al.*, 2021; Thomas *et al.*, 2021). A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), um subproduto de caldeiras de combustão de cogeração nas indústrias açucareiras, quando submetido a queima controlada, pode ser um material pozolânico (Bahurudeen; Santhanam, 2015; Oliveira; Melo, 2007; Vanderlei *et al.*, 2014).

Ademais, concernente à extração de recursos naturais, a gestão sustentável exige um esforço para identificar alternativas de valorização de resíduos, a exemplo da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, limitando a utilização de recursos não renováveis (Duque-Acevedo *et al.*, 2022; Mohammadi; Ramezaniapour, 2023).

Sabe-se que o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo responsável pela produção de mais de 600 milhões de toneladas destinadas ao setor sucroenergético, o qual ocupa papel de destaque na pauta da exportação. No cenário nacional destacam-se os estados de São Paulo, Goiás e Minas Gerais, como os maiores produtores de cana-de-açúcar do país, respectivamente (CONAB, 2024). Logo, proporcional ao volume de produção da cana-de-açúcar, dá-se também a produção de resíduos.

Nesse contexto, a utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material cimentício suplementar e/ou como agregado miúdo para produção de concretos e argamassas é um modo de aproximar, no âmbito de uma abordagem sustentável e circular, as cadeias produtivas do setor agroindustrial e da construção civil, haja visto se tratar de um material com baixo consumo de energia e consistir em uma forma de destinar resíduos de atividades industriais em substituição aos materiais naturais (Cincotto; Agopyan; John, 1990). Ademais, vale ressaltar que a queima da cana-de-açúcar não resulta em emissão líquida notável de gases de efeito estufa, pois estes são absorvidos pela fotossíntese durante a safra seguinte (Thomas *et al.*, 2021).

Dessa forma, o objetivo do presente estudo é realizar uma revisão bibliográfica sobre o potencial de aplicação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na produção de concretos e argamassas, seja como material cimentício suplementar e/ou como agregado miúdo, tendo em vista as perspectivas regional, nacional e mundial.

MATERIAL E MÉTODOS

Para elaboração do presente estudo foi realizada uma revisão bibliográfica, precedida por uma pesquisa de caráter exploratório em periódicos nacionais e internacionais, além de

banco de dados de teses e dissertações, a fim de verificar a relevância do tema e sua disponibilidade.

Dessa forma, posteriormente, objetivando gerar um recorte da literatura e avaliar a correlação entre a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, o concreto e a sustentabilidade, foi realizada uma pesquisa na base de dados Scopus, utilizando a *string* de busca em títulos, resumos e palavras-chave: *sugar AND cane AND concrete AND sustainability*. Optou-se por utilizar a referida base por se tratar do maior banco de dados de resumos e citações de literatura científica revisada por pares e ser o repositório internacional das principais publicações relevantes para a área.

Desta forma, foram reportados 35 artigos, compreendidos no período entre 2009 e 2024. Adotou-se como critério de inclusão os artigos que abordassem a aplicabilidade da cinza do bagaço da cana-de-açúcar enquanto material cimentício e/ou agregado miúdo; e como critério de exclusão, foi adotado a inadequação ao tema, a existência de duplicidade e a indisponibilidade de acesso para leitura completa. Assim, procedeu-se com a verificação de duplicidade, análise do título e resumo (nesta ordem) e, posteriormente, disponibilidade de acesso. De tal forma, 06 artigos foram eliminados pela leitura do título e resumo, por não estarem atrelados ao tema e outros 05 artigos por não estarem disponíveis para leitura completa. Foram reportados, portanto, 24 artigos concernentes ao tema proposto, aos quais realizou-se a leitura completa.

Como ferramenta complementar para análise dos dados, foi utilizado o *software VOSviewer* para verificação de correlações textuais e associação da produção científica por países.

Após a análise dos artigos foi verificada a necessidade de inclusão de outros estudos, pela metodologia de *SnowBall* com base nas listas de referências bibliográficas. Justifica-se a inclusão dos demais artigos o fato de que os 24 artigos reportados pela pesquisa não apresentaram profundidade em temas inerentes a agregado miúdo e sustentabilidade.

É importante salientar que este artigo se baseou em uma única base de dados referenciados, de modo que não se pode afirmar que o estado da arte será apresentado, sendo oferecido, portanto, um recorte derivado desta metodologia.

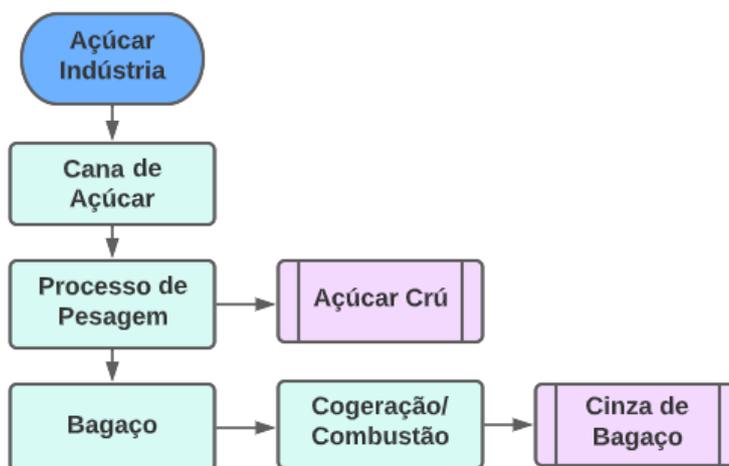
Revisão Bibliográfica

A Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar

A cana-de-açúcar é um vegetal proveniente da Ásia e foi introduzida no Brasil no início do século XVI, quando tiveram início as instalações de engenhos de açúcar, os quais foram, posteriormente, substituídos pelas usinas, conforme é apresentado pelo Sindicato da Indústria de Fabricação de Etanol do Estado de Goiás (SIFAEG, 2021). Após a colheita, a cana-de-açúcar é processada, sendo retirado seu caule e então esmagada para retirada do caldo, o qual irá resultar no açúcar, etanol, cachaça, entre outros produtos.

Nesse processo, a indústria sucroalcooleira gera como resíduo, o bagaço da cana-de-açúcar, matéria fibrosa desfiada resultante do processo de expressão do caldo da cana-de-açúcar. Composto por 50% de celulose, esse resíduo foi inicialmente empregado como matéria-prima na produção de papel (MOHAMMADI; RAMEZANIANPOUR, 2023; THOMAS *et al.*, 2021). Porém, atualmente, é também destinado ao processo de cogeração e combustão, do qual advém a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), conforme fluxograma apresentado na Figura 1 (ANUSHA; DINESHKUMAR, 2022; APRIANTI *et al.*, 2015).

Figura 1: Processo de produção da CBC.



Fonte: APRIANTI *et al.* (2015).

Os principais métodos de disposição da CBC consistem no despejo em aterros sanitários ou na sua mistura com a moenda (sujeira lavada da cana-de-açúcar e clarificadas do caldo de cana), para então retornar ao canavial como fertilizante de baixo nível (Arif; Clark; Lake, 2016; Chusilp; Jaturapitakkul; Kiattikomol, 2009). No entanto, segundo os autores, essa prática está diminuindo tendo em vista as preocupações ambientais e a possibilidade de soluções alternativas, como sua utilização na produção de materiais vitrocerâmicos, geopolímeros, produção de zeólita ou de concretos, reduzindo assim a quantidade de cinza descartada no meio ambiente.

Segundo Sua-iam e Makul (2015), embora a CBC possa ser classificada como material pozolânico, um padrão deve ser estabelecido para a sua utilização em substituição ao cimento ou materiais agregados, de modo a apresentar características desejáveis suficientes após seu beneficiamento.

Nesse contexto, Gaddam (2021) afirma que a atividade pozolânica da CBC é atribuída à sílica amorfa produzida quando o bagaço é queimado a temperaturas entre 600°C e 700°C, bem como a quantidade de óxidos de alumínio presentes nas cinzas. Em suma, as variações de composição da CBC decorrem das condições de crescimento da planta, do ambiente de combustão do bagaço, da pureza da matéria-prima do bagaço e, também, do ponto de coleta das cinzas (Arif; Clark; Lake, 2016).

Concernente a esse último, as cinzas coletadas no fundo da caldeira podem conter maiores quantidades de resíduos grosseiros e irregulares e um menor teor de carvão em comparação com as cinzas coletadas dos sistemas de filtragem da caldeira e, essa variabilidade reforça a necessidade de padronização da queima para uso em grande escala (Anusha; Dineshkumar, 2022). França *et al.* (2023) analisaram a utilização da cinza em três condições: primeira, tal como coletadas; segunda, apenas moídas; e terceira, submetidas a nova queima e moagem. Tais processamentos promovem alterações físicas e morfológicas e, nesse sentido, a cinza queimada e moída novamente apresentou melhor desempenho na substituição parcial do clínquer.

A CBC Como Material Cimentício Suplementar

Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) são materiais residuais, naturais ou artificiais, obtidos como subprodutos de outras indústrias - a exemplo das escórias de alto forno,

cinza volante, cinza de casca de arroz, cinza de palha de trigo e cinza de bagaço da cana-de-açúcar (CBC), com propriedades pozolânicas.

A CBC, por sua vez, é dada como um material pozolânico pois, de modo geral, apresenta quantidade significativa de sílica, o que a torna promissora enquanto material suplementar na fabricação do cimento Portland. Isso ocorre porque as altas porcentagens de sílica e outros óxidos são capazes de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento, formando compostos estáveis aglomerantes, aumentando a propriedade ligante do cimento a longo prazo e, também, a resistência em idades avançadas (Aprianti *et al.*, 2015; Nayak; Shukla; Vaishnav, 2023; Paula *et al.*, 2009).

Segundo Bahurudeen e Santhanam (2015), os processos de queima e moagem, de modo geral, influenciam significativamente a atividade pozolânica dos materiais cimentícios suplementares, onde a cinza pode apresentar atividade pozolânica desde que as temperaturas e condições de queima do bagaço sejam controladas, possibilitando o seu uso em concretos e argamassas.

Quando submetida às condições de queima controlada, a CBC adquire características que a torna adequada para ser empregada como material pozolânico (Cordeiro; Toledo; Fairbairn, 2009). Logo, diversos estudos têm sido desenvolvidos buscando caracterizar a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, bem como avaliar aspectos de sustentabilidade com base em critérios ambientais, econômicos, técnicos e sociais (Abrão, 2019; Athira; Bahurudeen; Vishnu, 2021; Bahurudeen; Santhanam, 2015; Cordeiro; Toledo; Fairbairn, 2009; Diniz *et al.*, 2022).

Nesse contexto, Cordeiro, Toledo e Fairbairn (2009) apresentaram um estudo onde pode-se concluir que a temperatura de calcinação é um importante parâmetro para produção da CBC com atividade pozolânica. Segundo os autores, uma temperatura de 600°C em queima controlada apresentou-se apropriada para a produção de uma cinza com propriedades pozolânicas. Outro estudo é o de Bahurudeen e Santhanam (2015), onde foi avaliada a influência da queima da cinza bruta do bagaço nas temperaturas de 600°, 700°, 800° e 900°C e concluíram que a cinza do bagaço queimado a 700°C apresentou atividade pozolânica máxima. O supracitado estudo ainda avaliou a influência da finura, moendo a CBC de 210 a 45 µm e concluiu que a CBC moída a menos de 53 µm pode ser classificada como um material cimentício suplementar.

Outro fator analisado foi o teor de substituição do cimento pela CBC. Em estudo de Bahurudeen *et al.* (2015), resultados de caracterização mecânica e de durabilidade apontam para substituição de até 25% do cimento por CBC, para produzir concreto de boa qualidade. Já no estudo feito por Nykhade e Pammar (2022), resultados satisfatórios foram obtidos substituindo teores de 10% a 15% de CBC no cimento para produção de concreto, aumentando a resistência a compressão em mais de 10% e reduzindo penetração por cloreto em mais de 50%. Em consonância, Sobuz *et al.* (2024) exibiram que, devido a diminuição dos poros e densificação da matriz, melhor resistência foi alcançada com teor de substituição de 10% de cimento pela CBC, considerando resistências à compressão, tração, flexão e módulo de elasticidade; porém, para teores de 15% e 20% de substituição, observou-se redução drástica da resistência, visto que a porosidade da matriz cimentícia superou a atividade pozolânica.

Nesse contexto, os materiais cimentícios suplementares contribuíram para o ganho de resistência tanto devido a reação pozolânica, quanto pelo efeito de enchimento; apresentam menor calor de hidratação do que o cimento Portland comum, bem como reduzem de forma significativa a permeabilidade devido ao refinamento dos poros e, conseqüentemente, implicam em maior durabilidade do concreto (Aprianti *et al.*, 2015; Bahurudeen *et al.*, 2015; Diniz *et al.*, 2022).

Diniz *et al.* (2022) também apontaram que esses materiais são vantajosos para concretos autoadensáveis devido a morfologia irregular e porosa de suas partículas, visto que elevam a retenção de água e reduzem a lubrificidade da pasta, alterando a tensão de escoamento e

desempenhando, portanto, papel importante na trabalhabilidade, fluidez e resistência à segregação. Em contrapartida, ainda segundo Diniz *et al.* (2022), a taxa de carbonatação dos concretos contendo MCS é maior, quando comparado ao concreto com cimento convencional, devido ao menor teor de hidróxido de cálcio (CH), o qual atua como barreira química mantendo a alcalinidade do concreto.

Além das propriedades físicas, químicas e de engenharia, outro aspecto importante a ser observado, além da disponibilidade, é a proximidade geográfica de obtenção desses materiais com relação às indústrias cimenteiras. Nesse ponto, Abrão (2019) destaca que a logística é um dos aspectos mais importantes para a indústria cimenteira, podendo inviabilizar ou não o uso do material devido aos custos do transporte. Desse modo, segundo afirmam Athira, Bahurudeen e Vishnu (2021), a proximidade geográfica dos resíduos ao seu local de descarte/recuperação, é um dos principais parâmetros que influenciam no sucesso da reciclagem do material.

A CBC Como Agregado Miúdo

Visando mitigar a utilização de recursos naturais na produção de concreto, pesquisas mostraram que a substituição do agregado miúdo convencional, a areia, por cinza de bagaço de cana-de-açúcar é também viável (Modania; Vyawahareb 2013; Sande *et al.*, 2021).

Sande *et al.* (2021) utilizaram dois tipos de cinzas de cana-de-açúcar pouco reativas em substituição a 10%, 20% e 30% em massa da areia, os quais consistem em CBC volantes, que são compostas de partículas transportadas pelos gases de combustão para fora da câmara, e CBC residuais, que são cinzas depositadas no fundo da caldeira. Conforme os autores, constatou-se que quando há a substituição de 10% de agregado miúdo por CBC volante, a resistência à compressão aumenta em até 4%; mas se esse percentual for aumentado para 20% e 30%, a resistência diminui em 6,8% e 8,9%, respectivamente. Por outro lado, quando substituído as mesmas porcentagens de agregado miúdo por CBC residuais, a resistência a compressão diminuiu 10,1%, 11,7% e 17,5%, respectivamente.

Ainda nesse contexto, Modania e Vyawahareb (2013) realizaram um estudo de caso para avaliar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e, no estado endurecido avaliar resistência à compressão e à tração, com 7 e 28 dias, substituindo o volume de agregado miúdo por CBC em teores de 10% a 40%. O estudo verificou que a resistência à compressão dos corpos de prova com 10% de substituição, foi superior aos de referência (que utilizaram areia). Porém, quando essa porcentagem foi superior a 10%, houve redução da resistência à compressão. Contudo, observou-se que em maiores idades houve o acréscimo de resistência à compressão, o qual, segundo os autores, se justifica pelas propriedades pozolânicas da CBC.

Já em relação a resistência à tração, obteve-se uma redução da resistência à medida em que se aumenta o teor de substituição da cinza. Ademais, Modania e Vyawahareb (2013) concluíram que a substituição de agregados miúdos em teores de 10% a 20% por CBC, pode ser feita sem que propriedades de trabalhabilidade e resistência sejam perdidas de forma considerável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos artigos reportados pela pesquisa, 24 foram selecionados por serem concernentes ao tema, os quais estão discriminados no Quadro 1. Assim, foram selecionados por conterem informações sobre a origem da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, sua classificação, aplicação e sua proximidade com a indústria da construção civil sob a ótica da sustentabilidade.

Quadro 1: Artigos selecionados (continua).

Autor	Título	Ano	Palavras-chave	País
Sobuz, M.H.R.; Al-Imran, Datta, S.D.; Jabin, J.A.; Aditto, F.S.; Sadiqul Hasan, N.M.; Hasan, M.; Zaman, A.A.U.	Assessing the influence of sugarcane bagasse ash for the production of eco-friendly concrete: Experimental and machine learning approaches	2024	Fresh properties; Hardened properties; Lightweight concrete; Machine learning; Sugarcane bagasse ash; Sustainability	Bangladesh
Mohammadi, A.; Ramezaniyanpour, A.M.	Investigating the environmental and economic impacts of using supplementary cementitious materials (SCMs) using the life cycle approach	2023	CO ₂ emissions; Cost; Durability; Environmental impact; Life cycle assessment; Supplementary cementitious materials (SCMs)	Irã
Kirthiga, R.; Elavenil, S.	Potential utilization of sugarcane bagasse ash in cementitious composites for developing inorganic binder	2023	Fabric-reinforced cementitious matrix; Mechanical strength; Regression analysis; Silica fume; Sugarcane bagasse ash; Supplementary cementitious material	Índia
França, S.; Sousa, L.N.; Saraiva, S.L.C.; Ferreira, M.C.N.F.; Silva, M.V.D.M.S.; Gomes, R.C.; Rodrigues, C.D.S.; Aguilar, M.T.P.; Bezerra, A.C.D.S.	Feasibility of Using Sugar Cane Bagasse Ash in Partial Replacement of Portland Cement Clinker	2023	Eco-friendly Portland cement; sugar cane bagasse ash; supplementary cement material; sustainability	Brasil
Nayak, M.; Shukla, A.; Vaishnav, S.K.	Effect of binary and ternary blending of cement on properties of recycled aggregate concrete	2023	Bagasse; Bending strength; Blending; Compressive strength; Concrete aggregates; Recycling; Sustainable development, Binary blending; Cementitious properties; Environmental problems; High quality; Industrialization; Property; Recycled aggregate concrete; Recycled fine aggregates; Rice-	Índia

			husk ash; Sugar-cane bagasse	
Sankeeth, S.; Kumara, B.S.; Damruwan, H.G.H.; Herath, H.M.S.T.; Lewangamag, C.S.; Koswattage, K.R.	Comparative Study on the Mechanical Properties of Concrete by Substituting Cement with Sugarcane Bagasse Ash	2023	Cement composites; Concrete; Mechanical properties; Sugarcane bagasse ash	Sri Lanka
Zulqar Nain, M.; Kasilingam, S.	Influence of rice husk ash and bagasse ash on durability of concrete	2023	Cement; Durability; Rice husk ash; Sugarcane bagasse ash; Sustainability	Índia
Duque-Acevedo, M.; Lancellotti, I.; Andreola, F.; Barbieri, L.; Belmonte-Ureña, L.J.; Camacho-Ferre, F.	Management of agricultural waste biomass as raw material for the construction sector: an analysis of sustainable and circular alternatives	2022	Agricultural waste biomass; Bioeconomy; Building products; Construction sector; Eco-friendly materials; Waste valorization	Espanha, Itália
Anusha, G.; Dineshkumar, R.	Study on paver blocks using waste plastics and sugarcane bagasse ash	2022	Paver blocks; Concrete; Polyethylene Terephthalate (PET); Sugarcane bagasse ash (SCBA); Sustainability	Índia
Diniz, H. A. A.; dos Anjos, M. A.; S.,Rocha, A. K.; A.,Ferreira, R. L. S.	Effects of the use of agricultural ashes, metakaolin and hydrated-lime on the behavior of self-compacting concretes	2022	Agricultural ashes; Durability; Supplementary cementitious materials; Sustainability	Brasil
Nikhade, A.; Pammar, L.	Parametric study of concrete by using SCBA, metakaolin. rice husk ash in concrete - A review	2022	Agricultural by-product; Economical concrete; Metakaolin; Sustainability	Índia
Wagh, M.; Waghe, U.P.	Development of self-compacting concrete blended with sugarcane bagasse ash	2022	Segregation; Self-compacting concrete; Strength Properties; Sustainability	Índia
Thomas, B.S.; Yang, J.; Bahurudeen, A.; Abdalla, J.A.; Hawileh, R.A.; Hamada, H.M.; Nazar, S.; Jittin, V.;	Sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in concrete – a review	2021	Blended cement; Durability; Electrical resistivity; Mechanical properties; Permeability; Sustainability	China, Emirados Árabes, Índia, Malásia, República da Coréia e

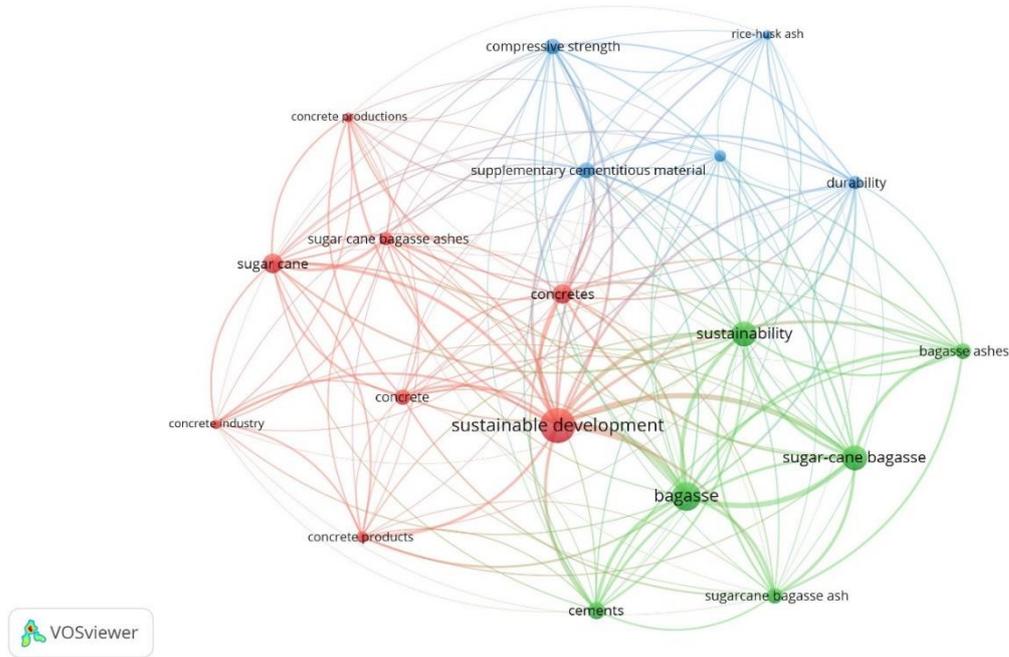
Ashish, D.K.				Reino Unido
Gaddam, K.	Sustainability Studies on Concrete Partial Replacement of Sugarcane Granular Bagasse-ash in Cement	2021	Bagasse ash; Compressive strength; Flexural strength; Split tensile strength; Sugar cane	Índia
Iyer Murthy, Y.; Gandhi, S.	Synergic effect of cathodic protection and mineral admixture on the corrosion resistance of reinforcements in concrete	2021	Cathodic protection; Concrete; Corrosion; Half-cell potential; Sugarcane Bagasse Ash	Índia
Torres de Sande, V.; Sadique, M.; Pineda, P.; Bras, A.; Atherton, W.; Riley, M.	Potential use of sugar cane bagasse ash as sand replacement for durable concrete	2021	Agricultural waste; Bio-ashes; Bio-concrete; Building waste materials; Circular economy; Eco-efficiency; Industrial ashes; Sand substitution; Sugar cane bagasse; Sustainability	Inglaterra e Espanha
Shinkhede, S.; Katare, V.; Joglekar, S.; Madurwar, M.; Mandavgane, S.	Comparison of different concrete compositions based on sustainability score	2021	Analytical hierarchy process; Lifecycle assessment; multicriteria decision-making; sustainability assessment; sustainability score	Índia
Athira, G.; Bahurudeen, A.; Vishnu, V.S.	Quantification of geographical proximity of sugarcane bagasse ash sources to ready-mix concrete plants for sustainable waste management and recycling	2021	Circular economy; Network analysis; proximity analysis; ready-mix concrete; sugarcane bagasse ash	Índia
Abbas, A.N.; Al-Nealy, H.; Al-Saadi, A.; Imran, M.	The effect of using sugarcane bagasse ash as a cement replacement on the mechanical characteristics of concrete	2020	Bagasse ash; Cement; Compression strength; Split tensile strength; Substitution; Sugar-cane	Iraque
Aprianti S, E.	A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (SCM) for concrete production – a review part II	2017	Agricultural waste; Artificial waste; Concrete; Industrial waste; Supplementary cementitious material (SCM)	Malásia

Sua-Iam, G.; Makul, N.	Utilization of coal- and biomass-fired ash in the production of self-consolidating concrete: A literature review	2015	Bottom ash (BA); Electric power plant; Fly ash (FA); Rice husk ash (RHA); Self-consolidating concrete (SCC); Sugarcane bagasse ash (SBA)	Tailândia
Bahurudeen, A.; Kanraj, D.; Gokul Dev, V.; Santhanam, M.	Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete	2015	Durability; Heat of hydration; Portland pozzolana cement; Sugarcane bagasse ash; Supplementary cementing materials; Sustainability	Índia
Aprianti, E.; Shafigh, P.; Bahri, S.; Farahani, J.N.	Supplementary cementitious materials origin from agricultural wastes - A review	2015	Agricultural waste; Compressive strength; Concrete; Pozzolans; Supplementary cementitious material	Malásia
Toledo Filho, R.D.; Koenders, E.; Pepe, M.; Cordeiro, G.C.; Fairbairn, E.; Martinelli, E.	Rio 2016 sustainable construction commitments lead to new developments in recycled aggregate concrete	2013	Recycling & Reuse of materials; Sustainability	Brasil, Itália e Holanda

Fonte: Autores (2024).

Análises foram realizadas a fim de verificar o perfil das publicações científicas obtidas a partir desse recorte da literatura. Assim, conforme Figura 2, observam-se os termos textuais mais citados, os quais apontaram para uma expressividade das questões relacionadas à sustentabilidade. O mapa gerado demonstra que três clusters são formados, sendo o maior relacionado à sustentabilidade, o segundo relacionado ao próprio material, o CBC, e o terceiro relacionado às propriedades analisadas com a inclusão da cinza. Desta forma, os artigos devolvidos pela string escolhida, representam amostra assertiva para este trabalho.

Figura 2: Mapa de dados do texto.

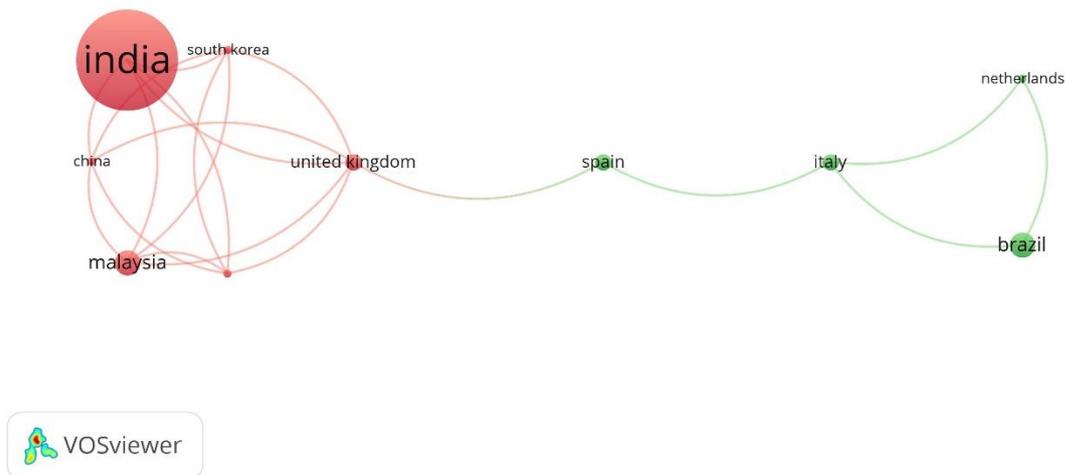


Fonte: Autores (2024).

Ainda, conforme pode-se observar na Figura 3, o Brasil não figura entre os principais países pesquisadores do tema, com participação discreta, apresentando 3 documentos, enquanto a Índia se destaca participando de 12 publicações, formando assim o maior cluster.

Porém, no que tange à produção da cana-de açúcar, destacam-se o Brasil e a Índia como os maiores produtores mundiais, ocupando o primeiro e segundo lugar, respectivamente. Assim, são localidades onde, conseqüentemente, pode-se encontrar o resíduo de CBC em abundância (Athira; Bahurudeen; Vishnu, 2021; Bahurudeen *et al.*, 2015; Wagh; Waghe, 2022).

Figura 3: Mapa coprodução por países.



Fonte: Autores (2024).

Nesse contexto global, portanto, aproximadamente 600 toneladas de bagaço da cana-de-açúcar são geradas anualmente em todo o mundo (GADDAM, 2021). Segundo dados do Conselho Nacional de Abastecimento – CONAB (2024), a produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2022/23 totalizou 610,13 milhões de toneladas, sendo 8,2 milhões de hectares de área plantada, aproximadamente, e expectativa de produção de 637 milhões de toneladas para a safra 2023/24 (CONAB, 2024).

Nesse sentido, conforme dados da FIESP (2001), a cada tonelada de cana moída, são gerados 260kg de bagaço, os quais quando queimados, geram em torno de 6,2kg de cinza. Ou seja: para cada tonelada de cana moída tem-se 26% transformadas em bagaço e 0,62% em cinza (Cordeiro *et al.*, 2004).

A partir dos dados levantados acima, estima-se que o Brasil, ao produzir cerca de 610 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano - adotando-se como base a produção de 2022/23 - geraram o equivalente a 158 milhões de toneladas de bagaço que, após a queima, resultaram em cerca de 3,78 milhões de toneladas de CBC.

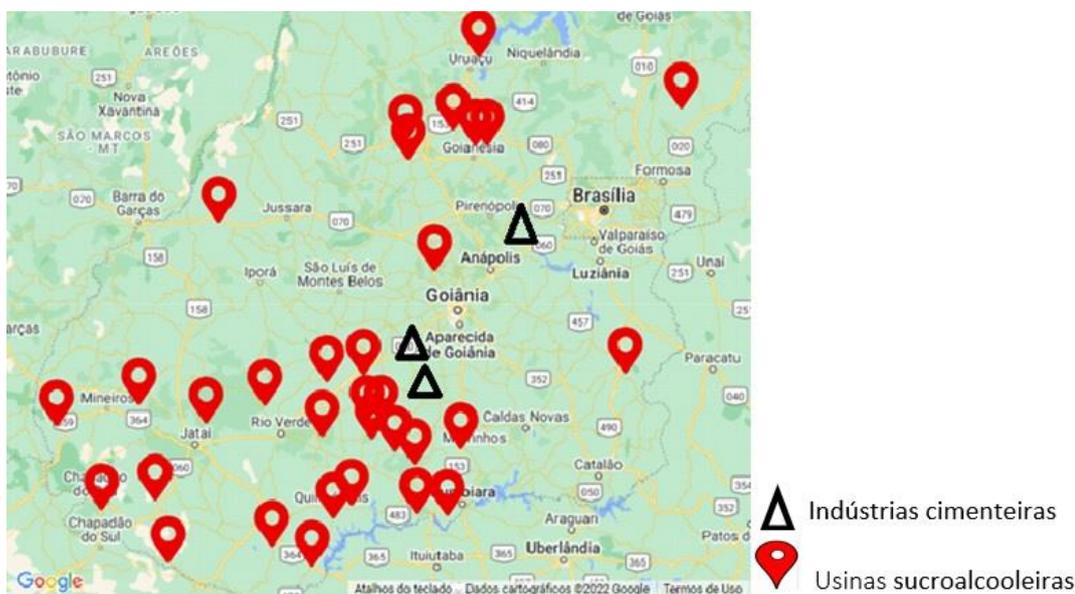
No que tange ao consumo de cimento, por sua vez, segundo dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC (2024), o Brasil produziu no ano de 2022 cerca de 63,5 milhões de toneladas de cimento. Nesse contexto, em uma revisão de literatura realizada por Thomas *et al.* (2021), verificou-se que a CBC pode ser usada como material cimentício suplementar em até 20% de substituição do cimento. É possível, portanto, estimar quantitativamente a capacidade nacional de reaproveitamento da CBC enquanto material cimentício suplementar (MCS).

Assim, adotando-se como base o ano de 2022, em que a produção brasileira foi de cerca de 63,5 milhões de toneladas de cimento e, utilizando o resíduo gerado na proporção de 20% de substituição ao cimento Portland, conforme estudo de Thomas *et al.* (2021), poderiam ser reaproveitadas em torno de 12,7 milhões de toneladas de CBC, na produção do cimento. Então, sabendo-se que o país gera anualmente cerca de 3,78 milhões de toneladas de CBC, pode-se afirmar que, numericamente, a indústria cimenteira nacional tem larga capacidade de consumir o resíduo gerado pela planta sucroalcooleira, na produção do cimento.

Ademais, observando o potencial a nível regional, o estado de Goiás configura como o segundo maior produtor de cana-de-açúcar do país, atrás apenas do estado de São Paulo, com área plantada de 956 mil hectares e produção superior a 71 milhões de toneladas na safra 2022/23 (CONAB, 2024). No entanto, pelo recorte realizado nessa pesquisa, não há registros na literatura que sugerem a atuação do Estado no desenvolvimento de práticas e/ou conhecimento científico sobre o tema.

Nesse sentido, conforme dados do Sindicato da Indústria de Fabricação de Etanol do Estado de Goiás (SIFAEG, 2021) existem 32 usinas sucroalcooleiras ativas em Goiás, como pode-se observar na Figura 4.

Figura 4: Localização das usinas do estado de Goiás.



Fonte: Adaptado de SIFAEG (2021).

Em relação às plantas produtoras de cimento, o Estado de Goiás possui 03 unidades, localizadas nas cidades de Cezarina, Cocalzinho e Edealina. Assim, considerando a relativa proximidade geográfica, admite-se existir potencial logístico para aproximar essas cadeias produtivas dentro do Estado de Goiás, o que viabiliza a inserção da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material cimentício suplementar na produção de cimento Portland.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse artigo analisou as publicações reportadas pela *string* “*sugar AND cane AND concrete AND Sustainability*”, acerca da cinza do bagaço da cana-de-açúcar e suas aplicabilidades como material cimentício suplementar e/ou agregado miúdo na produção de concretos e argamassas, buscando avaliar o potencial de reutilização de um subproduto agroindustrial, que atualmente é descartado, na cadeia produtiva da indústria da construção civil.

Foi possível verificar que resíduos industriais e agrícolas, como a cinza do bagaço da cana-de-açúcar são sustentáveis e podem ser convertidos em matéria-prima para produção de concretos, seja como adição pozolânica na produção do cimento Portland ou mesmo como agregado miúdo, reduzindo assim o passivo ambiental associado à emissão de gases de efeito estufa e à extração de recursos naturais.

A revisão bibliográfica aponta para o fato de que, além de ser sustentável, o uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar contribui para o ganho de resistência tanto pela reação pozolânica, como pela densificação da pasta, reduzindo de forma significativa a permeabilidade e, conseqüentemente, aumentando a durabilidade do concreto, isto quando comparado ao concreto de referência e alcançando-se as proporções ideais de utilização.

No que tange ao cenário mundial e concernente às publicações científicas, a Índia se firma como o principal cluster pesquisado, apresentando forte ligação com os países asiáticos. Assim, observa-se que o país já faz análises mais detalhadas sobre o tema, explorando inclusive questões logísticas para verificar a viabilidade do uso da CBC.

Já o Brasil, mesmo sendo o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, aparece de maneira modesta no quesito desenvolvimento científico. Ademais, os números apresentados sugerem que a utilização da CBC como material cimentício suplementar, a nível nacional, tem viabilidade para ocorrer e que a CBC gerada como resíduo das usinas pode ser completamente reaproveitada para tal. No entanto, esta não é a realidade prática observada através da leitura dos artigos.

Não diferente do status nacional, o recorte utilizado também não demonstrou se a CBC é aproveitada em Goiás para a produção de cimento ou em substituição ao agregado miúdo, mesmo com todas as condições logísticas favoráveis frente a presença de 32 usinas sucroalcooleiras e 3 usinas de cimento no estado, geograficamente próximas.

Constatou-se também que são escassas as pesquisas relacionadas a utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo, o que seria interessante uma vez que a extração de areia pode provocar desequilíbrios ambientais nos rios.

Por fim, verificou-se que, apesar do consenso observado no meio técnico científico, ainda não há aplicação prática da CBC no setor da construção civil. Assim, é necessário que haja uma aproximação entre o setor agroindustrial com o da construção civil, visando tornar a aplicabilidade da CBC uma prática comercial e sustentável efetiva.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, P.C.R.A. **O uso de pozolanas como materiais cimentícios suplementares: Disponibilidade, reatividade, demanda de água e indicadores ambientais.** Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2019, 144 p.

ARIF, E; CLARK, M.W.; LAKE, N. **Sugar cane bagasse ash from a high efficiency co-generation boiler: Applications in cement and mortar production.** Construction and Building Materials, v. 128, p. 287-297, 2016.

ATHIRA, V., CHARITHA V., BAHURUDEEN A., ATHIRA G. **Agro-waste ash based alkali-activated binder: Cleaner production of zero cement concrete for construction.** Journal of Cleaner Production, v. 286, p. 125429, 2021.

BAHURUDEEN, A.; SANTHANAM M. **Influence of different processing methods on the pozzolanic performance of sugarcane bagasse ash.** Cement and Concrete Composites, v. 56, p. 32-45, 2015.

CHUSILP, N.; JATURAPITAKKUL, C.; KIATTIKOMOL, K. **Effects of LOI of ground bagasse ash on the compressive strength and sulfate resistance of mortars.** Construction and Building Materials, v. 23, p. 3523-3531, 2009.

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **Optimization of rice husk ash production.** Internacional Symposium on Vegetable plants and their fibers as building materials, p. 334-342, 1990.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar,** Brasília, DF, 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em março de 2024.

CONCRETE FUTURE: GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION, GCCA. **Concrete future – Roadmap to Net Zero.** Londres, 2021. Disponível em: <<https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2021/10/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Document-AW.pdf>>. Acesso em abril de 2022.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO, R. D; FAIRBAIRN, E. M. R.; TAVARES, L. M.; OLIVEIRA, C. H. **Influence of mechanical grinding on the pozzolanic activity of residual sugarcane bagasse ash.** RILEM Publications SARL,. p. 731-740, 2004.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO, R. D. ; FAIRBAIRN, E. M. **Caracterização de cinza do bagaço da cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios.** Revista Química Nova. v. 32, p. 82-86, 2009.

FIESP/CIESP. **Ampliação da oferta de energia através da biomassa (bagaço da cana-de-açúcar).** São Paulo, SP, 2001.

MODANIA, P.O., VYAWAHAREB, M. R. **Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete.** Procedia Engineering, v.51, 2013.

OLIVEIRA, F.L., MELLO, E.F. **A mineração de areia e os impactos ambientais na bacia do rio São João, RJ.** Revista Brasileira de Geociências. v. 37, p. 374- 389, 2007.

PAULA, M. O., TINÔCO I. F.F., RODRIGUES C.R., SILVA E.N., SOUZA C.F. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, p. 353-357, 2009.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE FABRICAÇÃO DE ETANOL DO ESTADO DE GOIÁS, SIFAEG. **Cana-de-açúcar - O associativismo como vetor de desenvolvimento da produção sucroenergética goiana.** Goiânia, GO, 2021. Disponível em: <<https://sifaeg.com.br/cana-de-acucar/>>. Acesso em maio de 2022.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO, SNIC. **Produção nacional de cimento por regiões e estados em 2021.** São Paulo, 2022. Disponível em: <<http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1660573969.pdf>>. Acesso em maio de 2022.

VANDERLEI, R. D., PEINADO H.S., NAGANO M.F., MOLIN R.G.D. **Cinza do Bagaço de cana-de-açúcar como agregado em concretos e argamassas.** REEC-Revista eletrônica de Engenharia Civil, v. 8, p.21-31, 2014.