XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8428

# Avaliação do ciclo de vida de argamassas geopoliméricas com resíduos da cana-de-açúcar: influência dos pré-tratamentos e ativadores nos impactos ambientais

## Life cycle assessment of geopolymer mortars incorporating sugarcane residues: influence of processing and activators on environmental impacts

**Thiago Vieira Silveira**
Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora | Brasil |
thiagovsilveira.eng@gmail.com
**Aldo Ribeiro de Carvalho**
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto | Brasil |
aldorcarvalho@outlook.com
**Júlia Castro Mendes**
Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora | Brasil |
juliacastro.mendes@ufjf.br

### Resumo

Este estudo avalia os impactos ambientais de argamassas geopoliméricas com resíduos do setor sucroenergético por meio de Avaliação do Ciclo de Vida no SimaPro (cut-off, ReCiPe 2016), a partir de 11 estudos selecionados na Scopus (2001–2025). Os resultados indicam que a calcinação é a etapa de maior demanda energética, enquanto o consumo de ativadores alcalinos, $Na_2SiO_3$ (74,87 kg/t), NaOH (33,30 kg/t) e $K_2SiO_3$ (59,97 kg/t), é o principal responsável pelos impactos ambientais. Verificou-se ausência de correlação entre resistência à compressão e potencial de aquecimento global, com eficiência ambiental variando entre 13% e 146%. Conclui-se que a otimização do traço e o desenvolvimento de ativadores alternativos constituem os principais caminhos para argamassas geopoliméricas ambientalmente eficientes sem comprometer o desempenho técnico.

Palavras-chave: Geopolímeros. Resíduos de cana-de-açúcar. Avaliação do ciclo de vida. Sustentabilidade. Pré-tratamento. Indicadores ambientais

### Abstract

*This study evaluates the environmental impacts of geopolymer mortars incorporating sugarcane industry waste through Life Cycle Assessment in SimaPro (cut-off, ReCiPe 2016), based on 11 studies selected from Scopus (2001–2025). The results indicate that calcination is the most energy-intensive stage, while the consumption of alkaline activators, $Na_2SiO_3$ (74.87 kg/t), NaOH (33.30 kg/t) and $K_2SiO_3$ (59.97 kg/t), is the main driver of environmental impacts. No correlation was found between compressive strength and global warming potential, with environmental efficiency ranging from 13% to 146%. It is concluded that mix design optimization and the development of alternative activators are the main pathways toward environmentally efficient geopolymer mortars without compromising technical performance.*

*Keywords: Geopolymers. Sugarcane residues. Life cycle assessment. Sustainability. Pretreatment. Environmental Indicators*

Como citar:
SILVEIRA, T. V.; CARVALHO, A. R.; MENDES, J, C.; Avaliação do ciclo de vida de argamassas geopoliméricas com resíduos da cana-de-açúcar: influência dos pré-tratamentos e ativadores nos impactos ambientais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

## INTRODUÇÃO

O descarte inadequado de resíduos de biomassa representa um dos principais desafios ambientais da produção agrícola, com potencial de contaminação hídrica, geração de odores e riscos à saúde humana, como doenças infecciosas, respiratórias e oculares [1] [2]. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [3], mais de 750 milhões de toneladas de cana-de-açúcar foram produzidas no Brasil em 2024. Estima-se que cada tonelada de cana-de-açúcar processada gera aproximadamente 300 kg de bagaço e 250 kg de melaço, sendo que o bagaço, quando queimado, produz cerca de 2,5 kg de cinzas por tonelada [4] [5].

O setor sucroenergético apresenta grande potencial para a valorização de resíduos em compósitos cimentícios sustentáveis. Em concretos geopoliméricos, a incorporação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (SCBA) em teores de até 20% melhora o desempenho mecânico e a aderência aço-concreto [6], enquanto as cinzas de palha de cana-de-açúcar (SCSA) contribuem para a estabilidade química e redução do impacto ambiental, configurando-se como alternativa viável em sistemas de ativação alcalina [7].

No entanto, a avaliação dos impactos ambientais e energéticos dos processos de pré-tratamento é essencial para viabilizar a reintegração estratégica desses resíduos na indústria da construção civil. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo investigar os impactos ambientais associados as cinzas de biomassa de cana-de-açúcar (CBC) e seus pré-tratamentos na produção de argamassas geopoliméricas utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

## METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática da literatura na base de dados Scopus (2001–2025) com o intuito de identificar estudos sobre argamassas geopoliméricas produzidas a partir de resíduos de cana-de-açúcar. A pesquisa utilizou como strings de busca ("residue" OR "waste" OR "tailings") AND ("Geopolymer" OR "Alkali-activated" OR "Phosphate based geopolymers" OR "Activated Acid Materials") AND ("Precursor" OR "raw material") AND ("Sugarcane bagasse ash" OR "Bagasse ash" OR "Sugarcane ash" OR "Sugarcane biomass ash"). Em seguida, aplicou-se um filtro por tipo de documento, restrito a artigos de periódicos, de conferência e capítulos de livro. Os critérios de inclusão exigiam o detalhamento das etapas de pré-tratamento, incluindo tempo, temperatura e equipamento utilizado nos processos de secagem, calcinação, moagem e peneiramento, além das proporções do traço e da resistência à compressão aos 28 dias de cura. Foram excluídos da seleção os estudos que não forneceram uma ou mais dessas informações necessárias para a realização da ACV. Ao final, 11 trabalhos atenderam integralmente aos critérios estabelecidos.

Em seguida, a ACV foi conduzida conforme a ABNT NBR ISO 14040 [8] e ISO 14044 [9], utilizando o software SimaPro (versão 10.2.0.0) com os bancos de dados Agri-footprint 6.3 e Ecoinvent 3.10. O sistema de modelagem adotado foi o *cut-off*, no qual resíduos

lignocelulósicos não acarretam impacto ambiental por serem subprodutos de processos industriais já existentes.

O limite do sistema foi definido como do “portão ao portão”, considerando exclusivamente as etapas de preparação das argamassas geopoliméricas em escala laboratorial. Ressalta-se que os resultados apresentados neste estudo não são provenientes de experimentação laboratorial realizada pelos autores, mas de uma metanálise baseada nos dados de inventário extraídos dos trabalhos selecionados na revisão da literatura. A unidade funcional para a quantificação dos fluxos de materiais e energia foi definida em 1 tonelada de argamassa, posto que se trata de um mesmo material e com a mesma finalidade de aplicação, tornando a métrica de resultados comparável, conforme preconizado na ABNT NBR ISO 14040 [8] e ISO 14044 [9]. Dada a falta de dados sobre entradas e saídas dos processos envolvidos de geração de pulverulentos, consumo de água e emissões atmosféricas o inventário focou exclusivamente nos impactos do processamento relacionados à energia, conforme apresentado na tabela 1.

As proporções do traço foram definidas pela compatibilização entre precursores, ativadores e consumo de água, de modo a atender à unidade funcional adotada, preservando as relações estabelecidas por cada autor. Para o estudo de Castaldelli et al. [10], realizou-se a reconstrução do ativador $K_2SiO_3$ a partir de hidróxido de potássio e areia silicosa, devido à ausência desse material no banco de dados. Assim, foi considerado o processo de fusão da areia silicosa com base em materiais ricos em $SiO_2$ utilizados na fabricação de vidro, conforme Beerkens [11], adotando-se o valor médio de 0,64 kWh/kg, equivalente um consumo energético teórico de 1,8 a 2,5 MJ/kg.

A demanda de energia para calcinação foi modelada utilizando a configuração de forno mufla proposta por Castro et al. [12], considerando as fases de aquecimento e manutenção isotérmica. A energia de aquecimento foi calculada a partir da potência nominal e do tempo de rampa, com base em uma taxa constante de 10 °C·min$^{-1}$ e na diferença de temperatura entre as condições ambiente e alvo. Durante a manutenção isotérmica, assumiu-se que a potência de entrada compensava as perdas de calor por condução através das paredes do forno, estimadas pela lei de Fourier utilizando a resistência térmica equivalente e a área de transferência de calor. A energia total corresponde à soma das duas fases.

O consumo energético do peneiramento da SCSA foi estimado a partir dos dados da SCBA, conforme permitido pela normativa [8] na ausência de dados primários, sendo justificado pela similaridade físico-granulométrica entre os materiais. Para a homogeneização, assumiu-se o uso de uma betoneira de 5 hp e 220 V durante 10 min, enquanto secagem e moagem foram baseadas nas informações dos artigos selecionados. Os impactos ambientais foram avaliados pelo método ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.09. Ressalta-se que os métodos para as modelagens adaptadas para atender a uma determinada especificidade já foi realizado e atestado em outras literaturas [13].

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8428

**Tabela 1 – Consumo de energia dos processos de pré-tratamento dos resíduos de cana-de-açúcar para as argamassas geopoliméricas e sua proporção de mistura.**

| Artigos | Etapas de pré-tratamento | | | | Mistura | Consumo total de energia (KWh) | Traço | Resistência a Compressão em 28 dias (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Secagem | Peneiramento | Moagem | Calcinação | | | | |
| Ardhira et al. [14] | N/A | N/A | N/A | 6,15 kWh; N/A; 700 °C. | 0,63 kWh; 10 min; | 6,78 | Água: 67,98 dm³<br>FA: 207,69 Kg<br>GGBFS: 103,85 Kg<br>SCBA: 34,62 Kg<br>Areia: 446,23 Kg<br>NaOH: 69,18 Kg<br>$Na_2SiO_3$: 70,45 Kg | 52 |
| Zafar et al. [15] | 22 kWh/t [16] = 1,01 KWh | 11 kWh/t [17]= 0,51KWh | 39 kWh/t [18] = 1,80 KWh | 7,22kWh; 240min; 800 °C. | 0,63 kWh; 10 min; | 11,17 | Água: 33,58 dm³<br>FA: 414,75 Kg<br>SCBA: 46,08 Kg<br>Areia: 460,84 Kg<br>NaOH: 22,38 Kg<br>$Na_2SiO_3$: 22,37 Kg | 16,20 |
| Murugesan et al. [19] | 22 kWh/t [16] = 0,63 KWh | 11 kWh/t [17] = 0,31 KWh | N/A | N/A | 0,63 kWh; 10 min; | 1,57 | Água: 44,73 dm³<br>GGBFS: 257,35 kg<br>SCBA: 28,59 kg<br>MW: 114,38 kg<br>Areia: 457,51 kg<br>NaOH: 57,19 kg<br>$Na_2SiO_3$: 40,25 kg | 74,26 |
| Castaldelli et al. [10] | 22 kWh/t [16] =1,11 KWh | N/A | 45,6 kWh/t [17] = 2,30 KWh | 5,76kWh; 120min; 650 °C + Fusão da Areia silicosa [11] = 14,97 KWh | 0,63 kWh; 10 min; | 19,01 | Água: 90,97 dm³<br>FA: 151,55 Kg<br>SCBA: 50,51 Kg<br>Areia: 606,18 Kg<br>Areia de sílica: 23,39 Kg<br>KOH: 36,58 Kg | 38 |
| Pereira et al. [20] | N/A | 11 kWh/t [17] = 0,66 KWh | 15,2 kWh/t [17] = 0,91 KWh | N/A | 0,63 kWh; 10 min; | 2,2 | Água: 108,02 dm³<br>BFS: 180,42 kg<br>SCBA: 60,13 kg<br>Areia: 601,38 kg<br>NaOH: 29,40 kg<br>$Na_2SiO_3$: 20,65 kg | 39,5 |
| Afriansya et al. [21] | N/A | N/A | N/A | 5,30kWh; 120min; 600 °C | 0,63 kWh; 10 min; | 5,93 | Água: 35,5 dm³<br>FA: 309,5 kg<br>SCBA: 16,3 kg<br>Areia: 521,2 kg<br>SP: 6,5 kg<br>NaOH: 17,9 kg<br>$Na_2SiO_3$: 93,1 kg | 32,95 |
| Moraes et al. [22] | N/A | 11 kWh/t [17] = 0,23KWh | 39 kWh/t [18] = 0,82KWh | 6,39 KWh; N/A; 700 °C. | 0,63 kWh; 10 min; | 8,07 | Água: 500,9 dm³<br>MK: 119.6 kg<br>SCSA: 21.1 kg<br>Areia: 70.4 kg<br>NaOH: 31.8 kg<br>$Na_2SiO_3$: 256.2 kg | 53,30 |
| Moraes et al. [23] | N/A | 11 kWh/t [17] = 0,81KWh | 39 kWh/t [18] = 2,86 KWh | N/A | 0,63 kWh; 10 min; | 4,30 | Água: 87,96 dm³<br>BFS: 171,07 kg<br>SCSA: 73,31 kg<br>Areia: 610,95 kg<br>NaOH: 22,68 kg<br>$Na_2SiO_3$: 34,03 kg | 45 |
| Moraes et al. [24] | N/A | 11 kWh/t [17] = 0,68KWh | 39 kWh/t [18] = 2,38 KWh | N/A | 0,63 kWh; 10 min; | 3,69 | Água: 109,84 dm³<br>BFS: 183,21 kg<br>SCSA: 61,07 kg<br>Areia: 610,70 kg<br>NaOH: 35,18 kg | 44,45 |

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8428

| Artigos | Etapas de pré-tratamento | | | | Mistura | Consumo total de energia (KWh) | Traço | Resistência a Compressão em 28 dias (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Secagem | Peneiramento | Moagem | Calcinação | | | | |
| Frasson e Rocha [25] | N/A | N/A | N/A | 6,23 Kwh; N/A; 700 °C. | 0,63 kWh; 10 min; | 6,86 | Água: 69,2 dm³<br>CST: 187,8 kg<br>CP: 9,9 kg<br>SCM: 2,0 kg<br>Areia: 592,8 kg<br>NaOH: 34,5 kg<br>$Na_2SiO_3$: 103,8 kg | 17 |
| Jittin e Bahurudeen [26] | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,63 kWh; 10 min; | 0,63 | Água: 69,2 dm³<br>GGBFS: 180 kg<br>SCBA: 20 kg<br>Areia: 400 kg<br>NaOH: 12,8 kg<br>$Na_2SiO_3$: 33 kg | 62 |

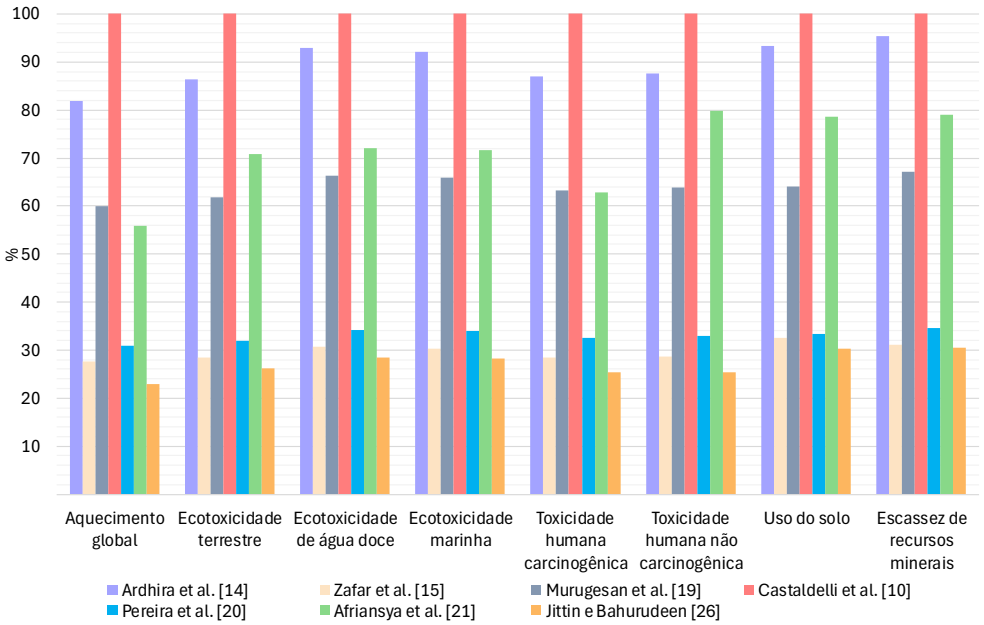
Legenda: FA: Cinzas volantes; GGBFS: Escória granulada de alto-forno moída; MW: Resíduos de mármore; BFS: Escórias de alto-forno; SP: Superplastificante; MK: metacaulim; CST: lama de carvão caulinita; CP: Cimento Portland; SCM: Melaço de cana-de-açúcar; N/A: Não disponível.

Fonte: os autores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

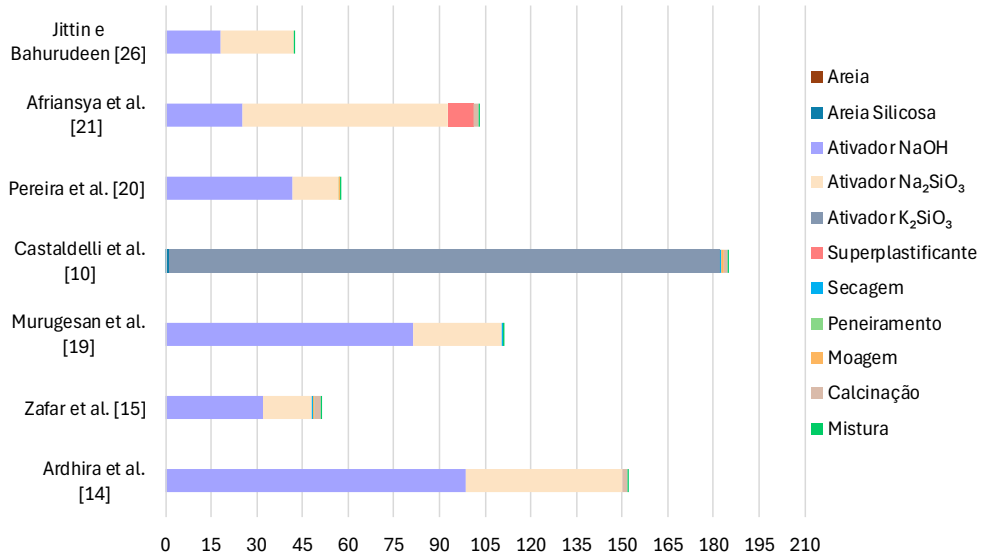
A Figura 1 apresenta os resultados relativos dos principais indicadores de impacto ambiental das argamassas geopoliméricas à base de SCBA. A Figura 2 traz valores absolutos, em kg $CO_2$eq, do indicador de potencial de aquecimento global.

**Figura 1 – Comparativo dos principais indicadores de impacto ambiental das argamassas geopoliméricas formados com SCBA.**




Fonte: os autores.

**Figura 2 – Contribuição do pré-tratamento e dos componentes no $CO_2$eq de argamassas geopoliméricas (SCBA).**



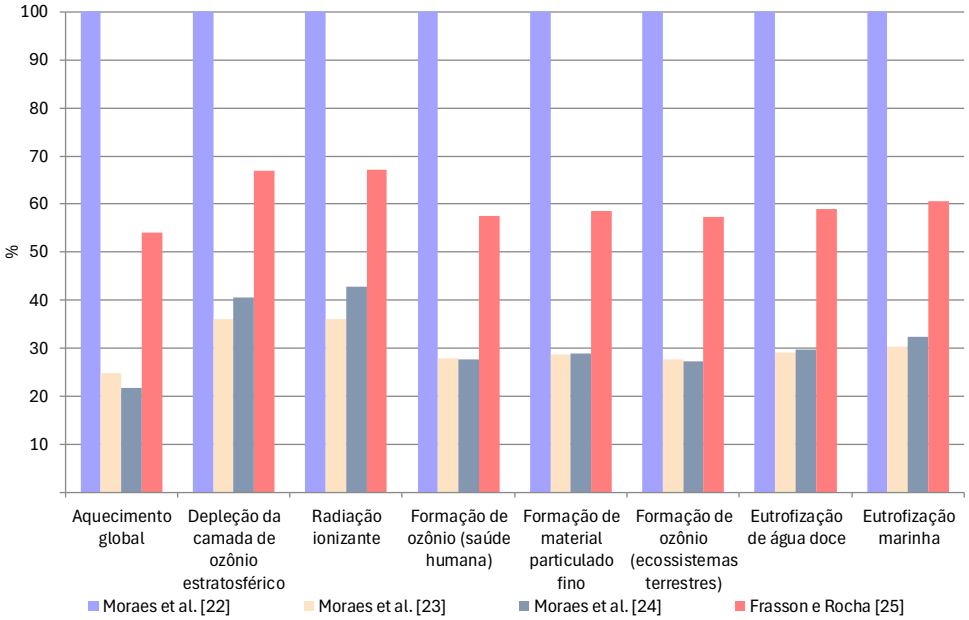

Fonte: os autores.

Os maiores impactos ambientais foram observados em Castaldelli et al. [10] e Ardhira et al. [14]. No primeiro, a carga cumulativa de 24,77 kWh decorrente dos múltiplos estágios de pré-tratamento, associada ao ativador $K_2SiO_3$ e ao elevado consumo de água de 90,97 L/t, contribuiu diretamente para esse comportamento. No segundo estudo, embora o pré-tratamento se limite à calcinação, o fator determinante desloca-se para a composição do traço, com elevada dosagem de ativadores alcalinos de 69,18 kg/t de NaOH e 70,45 kg/t de $Na_2SiO_3$, correspondendo às maiores emissões de $CO_2$eq entre as argamassas avaliadas, conforme demonstrado na Figura 2.

Em contrapartida, Zafar et al. [15] e Jittin e Bahurudeen [26] apresentaram as menores cargas ambientais, resultado da baixa dosagem de ativadores alcalinos e da alta razão agregado/aglomerante de 2,07 e 1,63, respectivamente. Essas proporções reduzem a quantidade de ligantes reativos e a demanda energética nas etapas de pré-tratamento, refletindo diretamente em menor carga ambiental.

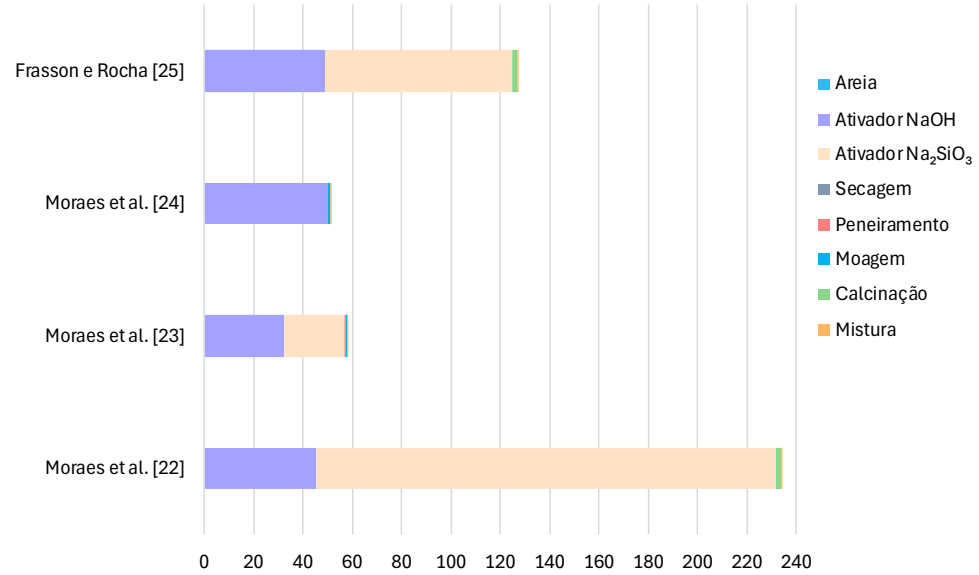
A Figura 3 consolida os resultados relativos dos principais indicadores de impacto ambiental das argamassas geopoliméricas à base de SCSA e melaço de cana-de-açúcar (SCM). Já a Figura 4 apresenta os valores absolutos do potencial de aquecimento global, expressos em kg $CO_2$eq.

**Figura 3 – Comparativo dos principais indicadores de impacto ambiental das argamassas geopoliméricas formados com SCSA e SCM.**




Fonte: os autores.

**Figura 4 – Contribuição do pré-tratamento e dos componentes no $CO_2$eq de argamassas geopoliméricas (SCSA e SCM).**

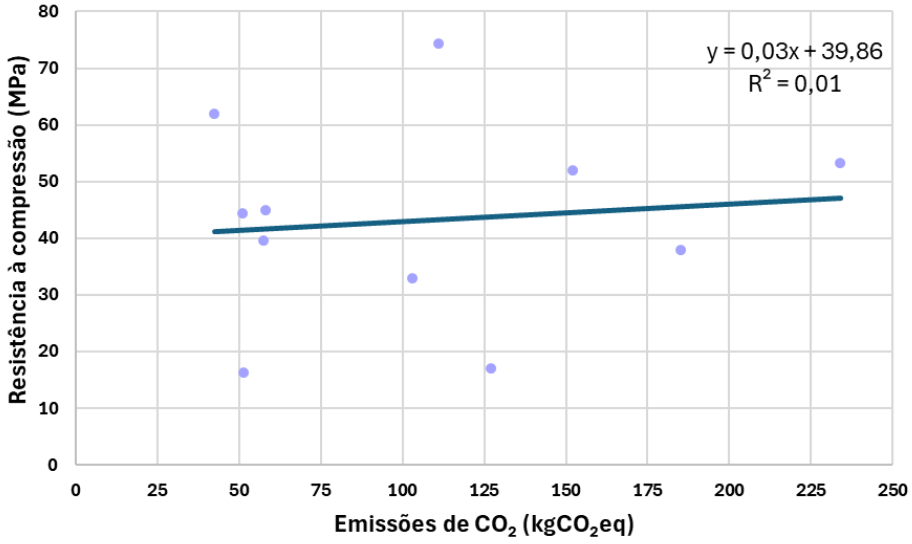



Fonte: os autores.

Nesse grupo, Moraes et al. [22] e Frasson e Rocha [25] apresentaram os maiores valores absolutos em todas as categorias de impacto avaliadas. Esse resultado está diretamente associado ao elevado consumo de $Na_2SiO_3$ de 256,2 kg/t e 103,8 kg/t, respectivamente, somado à contribuição da calcinação, responsável por mais de 80% da demanda energética total do processo. Em contrapartida, Moraes et al. [23] e Moraes et al. [24] exibiram menores cargas ambientais, devido ao consumo reduzido de $Na_2SiO_3$ de 34,03 kg/t e 35,18 kg/t, respectivamente, e da menor contribuição das etapas de pré-tratamento em relação às demais argamassas do grupo.

Além dos indicadores ambientais, a Figura 5 confronta resistência à compressão e emissões de $CO_2$eq para todas as argamassas avaliadas, investigando se maior desempenho mecânico está necessariamente associado a maior carga ambiental.

**Figura 5 – Relação entre $CO_2$eq e resistência à compressão das argamassas geopoliméricas.**




Fonte: os autores.

Nota-se na Figura 5 que não é possível identificar uma tendência consistente entre a resistência à compressão e o potencial de aquecimento global das argamassas avaliadas, indicando que formulações com maior desempenho mecânico não estão necessariamente associadas a maiores emissões de $CO_2$eq. Esse comportamento demonstra que, por meio do ajuste da razão agregado/aglomerante e da redução na concentração de ativadores alcalinos, é possível alcançar elevadas resistências sem incremento da carga ambiental.

## CONCLUSÃO

O inventário indicou que a calcinação é a principal etapa consumidora de energia, responsável por 66% (46,26 kWh) da carga total, com valores entre 5,30 e 14,97 kWh conforme as condições de queima e média de 4,20 kWh nos estudos analisados.

Contudo, os resultados indicam que o pré-tratamento, embora relevante, não é o principal fator dos impactos ambientais das argamassas geopoliméricas. Esse papel é atribuído ao consumo de ativadores alcalinos convencionais, $Na_2SiO_3$, NaOH e $K_2SiO_3$, com consumo médio de 74,87 kg/t, 33,30 kg/t e 59,97 kg/t, respectivamente. Embora a utilização de subprodutos industriais como precursores confira às argamassas geopoliméricas um potencial de baixo impacto ambiental, esse benefício é comprometido pelo consumo dos ativadores alcalinos. Tal contradição evidencia a necessidade de busca por novos ativadores sustentáveis. Em contrapartida, formulações com menor teor de ativadores, maior razão agregado/aglomerante e pré-tratamentos menos intensivos apresentam melhor desempenho ambiental.

Além disso, não foi observada relação direta entre resistência à compressão e potencial de aquecimento global, indicando que elevados desempenhos mecânicos podem ser alcançados sem aumento proporcional das emissões de $CO_2$eq. A relação entre MPa/kg $CO_2$eq, oscilou entre 13% e 146% entre os traços avaliados, reforçando que a escolha do traço é determinante para o desempenho ambiental. Formulações com kg $CO_2$eq semelhante, como Zafar et al. [15] e Moraes et al. [24], ambas com aproximadamente 51 kg $CO_2$eq, apresentaram eficiências distintas de 32% e 87%, respectivamente, em função das diferenças na resistência à compressão obtida. Esse comportamento evidencia que sustentabilidade e viabilidade técnica são objetivos conciliáveis, sendo a redução do consumo de ativadores alcalinos ou a busca por fontes alternativas de ativação as principais estratégias para mitigar os impactos ambientais dessas argamassas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado a Aldo Ribeiro de Carvalho (código de financiamento 001), a Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Juiz de Fora (PROPP/UFJF) pela concessão de bolsa de pesquisa júnior a Thiago Vieira Silveira, a Fundação de Apoio e Desenvolvimento ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FADEPE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## DECLARAÇÃO

Durante a confecção deste artigo os autores utilizaram o ChatGPT para verificação e aperfeiçoamento gramatical. Após a utilização da(s) ferramenta/serviço, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

## REFERÊNCIAS

[1] L. Gebbie, T. T. Dam, R. Ainscough, R. Palfreyman, L. Cao, M. Harrison, I. O'Hara e R. Speight, "A snapshot of microbial diversity and function in an undisturbed sugarcane bagasse pile," *BMC Biotechnology,* vol. 20, 28 Fev 2020.

[2] T. S. T. Ibrahim e T. S. Workneh, "The environmental impact of the sugar industry waste in Sudan," *Environmental Monitoring and Assessment,* vol. 195, 22 Jun 2023.

[3] IBGE, "Produção de Cana-de-açúcar," Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica, 2024. [Online]. Available: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br.

[4] R. P. A. Almeida e G. C. Cordeiro, “Sustainable approach to simultaneously improve the pozzolanic activity of sugarcane bagasse ash and the vinasse fertilization potential,” *Cleaner Engineering and Technology,* vol. 13, Abr 2023.

[5] C. A. Oliveira, L. T. Fuess, L. A. Soares e M. H. R. Z. Damianovic, “Thermophilic biomethanation of sugarcane molasses comparing single and two-stage systems: Process performance and energetic potential,” *Bioresource Technology Reports,* vol. 12, Dez 2020.

[6] W. M. Shaban, A. M. Heniegal, M. Amin, A. M. Zeyad, I. S. Agwa e H. H. Hassan, “Influence of sugarcane bagasse ash on mechanical properties of geopolymer concrete,” *Journal of Building Engineering,* vol. 79, 15 Nov 2023.

[7] J. C. B. d. Moraes, J. P. B. Batista, M. J. B. d. Moraes, L. M. Gavioli, M. M. Tashima, J. L. Akasaki, A. Font, L. Soriano, M. V. Borrachero e H. H. Hassan, “Durability to chemical attacks and life cycle assessment of alkali-activated binders based on blast furnace slag and sugar cane straw ash,” *Journal of Building Engineering,* vol. 98, 1 Out 2023.

[8] ABNT, “NBR ISO 14040 - Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura,” International Organization for Standardization, 2006.

[9] ISO, “14044 - Gestão ambiental — Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações,” International Organization for Standardization, 2006.

[10] V. Castaldelli, J. Moraes, J. Akasaki, J. Melges, J. Monzó, M. Borrachero, L. Soriano, J. Payá e M. Tashima, “Study of the binary system fly ash/sugarcane bagasse ash (FA/SCBA) in SiO2/K2O alkali-activated binders,” *Fuel,* vol. 174, pp. 307-316, 15 Jun 2016.

[11] R. BEERKENS, “ANALYSIS OF ELEMENTARY PROCESS STEPS IN INDUSTRIAL GLASS MELTING TANKS - SOME IDEAS ON INNOVATIONS IN INDUSTRIAL GLASS MELTING,” *Ceramics-Silikaty,* vol. 52, pp. 206-217, 9 Out 2008.

[12] G. G. P. D. Castro, G. J. d. S. N. Rezende, L. F. Maciel e L. V. d. A. d. Almeida, “Metodologia construtivista: dimensionamento e fabricação de um forno tipo mufla de alto desempenho,” *Brazilian Journal of Development,* vol. 5, nº 11, 2019.

[13] A. R. d. Carvalho, M. M. Carrara, G. d. S. Pacífico, B. L. S. d. Barros e L. C. &. T. M. d. Oliveira, “Effects of red ceramic waste on the thermomechanical properties of concrete and its life cycle assessment,” *Materials and Structures,* pp. DOI: https://doi.org/10.1617/s11527-025-02880-x, 2026.

[14] P. Ardhira, S. K. Shukla e D. Sathyan, “Synthesis of geopolymer mortar from biomass ashes and forecasting its compressive strength behaviour,” *Case Studies in Construction Materials,* vol. 21, Dez 2024.

[15] I. Zafar, K. Rashid, M. Ahmad e M. Ltifi, “Thermo-chemico-mechanical activation of bagasse ash to develop geopolymer based cold-pressed block,” *Construction and Building Materials,* vol. 352, 17 Out 2022.

[16] R. Manohar e R.Velraj, “Bagasse Dryer,” *International Journal of Applied Engineering Research,* vol. 10, pp. 37009-37016, 2015.

[17] Y. Bayapureddy, K. Muniraj e M. r. G. Mutukuru, “Enhancing material properties of agro-industrial waste sugarcane bagasse ash—Way towards sustainable development,” *Sustainable Futures,* vol. 7, jun 2024.

[18] G. C. Cordeiro, P. V. Andreão e L. M. Tavares, “Pozzolanic properties of ultrafine sugar cane bagasse ash produced by controlled burning,” *Heliyon,* vol. 5, Out 2019.

[19] T. Murugesan, R. Vidjeapriya e A. Bahurudeen, “Development of Sustainable Alkali Activated Binder for Construction Using Sugarcane Bagasse Ash and Marble Waste,” *Sugar Tech,* vol. 22, p. 885–895, 18 Abr 2020.

[20] A. Pereira, J. L. Akasaki, J. L. Melges, M. M. Tashima, L. Soriano, M. V. Borrachero, J. Monzó e J. Payá, “Mechanical and durability properties of alkali-activated mortar based on sugarcane bagasse ash and blast furnace slag,” *Ceramics International,* vol. 41, pp. 13012-13024, Dez 2015.

[21] R. Afriansya, P. Astuti, V. S. Ratnadewati, J. Randisyah, T. Y. Ramadhona e E. A. Anisa, “INVESTIGATION OF SETTING TIME AND FLOWABILITY OFGEOPOLYMER MORTAR USING LOCAL INDUSTRY AND AGRICULTURE WASTE AS PRECURSOR IN INDONESIA,” *International Journal of GEOMATE,* vol. 21, pp. 64-69, Nov 2021.

[22] J. C. B. d. M. Moraes, J. Batista, J. Batista, J. Akasaki, A. Font, M. Tashima, L. Soriano, M. Borrachero e J. Payá, “Influence of sugar cane straw ash in metakaolin-based geopolymers,” *Construction and Building Materials,* vol. 444, 20 Set 2024.

[23] J. C. B. d. Moraes, M. M. Tashima, J. L. P. Melges, J. L. Akasaki, J. Monzó, M. V. Borrachero, L. Soriano e J. Payá, “Optimum Use of Sugar Cane Straw Ash in Alkali-Activated Binders Based on Blast Furnace Slag,” *Journal of Materials in Civil Engineering,* vol. 30, 2018.

[24] J. C. B. d. Moraes, D. C. d. A. Queiroz, J. L. Akasaki, J. L. P. Melges, M. Borrachero, J. Payá e M. M. Tashima, “Possibilities of Reusing Sugar Cane Straw Ash in the Production of Alternative Binders,” *Key Engineering Materials,* vol. 668, pp. 304-311, Out 2015.

[25] B. J. Frasson e J. C. Rocha, “Drying shrinkage behavior of geopolymer mortar based on kaolinitic coal gangue,” *Case Studies in Construction Materials,* vol. 18, Jul 2023.

[26] V. Jittin e A. Bahurudeen, “Production of cleaner binders by reusing agricultural by-products: An approach towards zero cement concrete for sustainable future infrastructure,” *Journal of Cleaner Production,* 20 Abr 2024.