

# **COPROCESSAMENTO: REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE CIMENTO**

Co-processing: reuse of industrial waste in cement production

**Cruz, Maria Carolina**

UFPA | Belém, PA | maria.cruz@itec.ufpa.br

**Batista, Lucas**

UFRGS | Porto Alegre, RS | sousa.batista@ufrgs.br

**Corrêa, Brenda**

UFPA | Belém, PA | brenda.arq.correa@gmail.com

**Queiroz, Luciana**

UFPA | Belém, PA | lucianaqueiroz@gmail.com

## **Resumo**

*O cimento é um dos materiais de construção mais consumidos no mundo. No Brasil, o setor da indústria cimenteira é um dos mais expressivos: em 2022, produziu 94 milhões de toneladas de cimento, e cerca de 65,8 milhões de toneladas em 2021. Entretanto, sua produção demanda grande quantidade de energia e matéria-prima causando impactos negativos ao meio ambiente. Não é à toa que a indústria de cimento é responsável por 7% da emissão global de CO<sub>2</sub>. A necessidade de encontrar uma maneira sustentável para a produção de cimento provocou a indústria cimentícia a encontrar no coprocessamento uma possibilidade de redução de emissão de carbono por meio da utilização de combustíveis alternativos gerados a partir de resíduos dos mais diversos setores, além do uso como matérias-primas alternativas. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer, destacando os panoramas nacional e mundial de acordo com as literaturas disponíveis. Os resultados apontaram que a tecnologia de coprocessamento tem potencial para a redução de emissão de carbono a médio e longo prazo, no entanto a prática modifica diretamente a microestrutura do clínquer, podendo produzir cimentos de menor resistência nos primeiros dias.*

**Palavras-chave:** Coprocessamento; Combustíveis Alternativos; Resíduos.

## **ABSTRACT**

*Cement is one of the most consumed construction materials in the world. In Brazil, the cement industry sector is one of the most significant: in 2022, it produced 94 million tons of cement, and around 65.8 million tons in 2021. However, its production requires a large amount of energy and raw materials causing negative impacts on the environment. It is no surprise that the cement industry is responsible for 7% of global CO<sub>2</sub> emissions. The need to find a sustainable way to produce cement led the cement industry to find in co-processing a possibility of reducing carbon emissions through the use of alternative fuels generated from waste from the most diverse sectors, in addition to their use as materials alternative raw materials. Therefore, the present work aimed to carry out a bibliographical review on the co-processing of waste in clinker kilns, highlighting the national and global panoramas according to the available literature. The results showed that co-processing technology has the potential to reduce carbon emissions in the medium and long term, however the practice directly modifies the microstructure of the clinker, potentially producing cements of lower strength in the first few days.*

**Keywords:** Co-Processing; Alternative Fuels; Waste.

## **1 INTRODUÇÃO**

A pauta da sustentabilidade vem promovendo cada vez mais discussões sobre os impactos negativos que o avanço da tecnologia, processos industriais e de mercado vêm provocando ao meio ambiente. Dentre eles, podemos destacar a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) e emissão de gases de efeito estufa (GEE). Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (abrelpe, 2022),

no Brasil, foram gerados cerca de 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2022, sendo grande parte tratada de forma inadequada, constituindo, assim, um tema de utilidade pública. Em relação a emissão de GEE, a discussão vem recebendo cada vez mais atenção nas grandes mídias devido as mudanças climáticas a nível mundial, destacando a recém iniciada fase de *ebulição global*.

Considerando tudo isso, a indústria do cimento, que é responsável pela emissão mundial de 7% de CO<sub>2</sub> (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2023), vem encontrando no coprocessamento uma alternativa sustentável para este problema a partir da reutilização de resíduos de diversas origens na produção de cimento como substitutos de matéria-prima e combustíveis fósseis, além de contribuir para vantagens competitivas e gerar redução de custos.

O coprocessamento é praticado a nível mundial desde a década de 70. No Brasil, ocorre a partir dos anos 1980 sendo cada vez mais incentivado por meio de regulamentações como a Lei nº 12.305 sancionada em 2 de agosto de 2010, denominada Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Dessa forma, este estudo teve como objetivo proporcionar um panorama a respeito da prática do coprocessamento em níveis nacional e internacional, destacando as potencialidades de uma tecnologia sustentável que visa a cooperação entre o segmento de fabricação de cimento e o sistema de gestão de resíduos.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 DEFINIÇÃO DE COPROCESSAMENTO

De acordo com o World Business Council (2014), coprocessamento é definido como a utilização de resíduos selecionados como substitutos de matéria-prima do clínquer, como o calcário e argila, e de combustível fóssil, desde que tenha valor calorífico recuperável, no processo de fabricação do cimento. Desta forma, é possível reduzir a dependência de combustíveis tradicionais e a emissão GEE na atmosfera.

Outra definição é do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2002), que apresenta o coprocessamento de resíduos industriais como sendo a reutilização de material ou substância inservível que não é passível de outro aproveitamento econômico, oriundo de atividades industriais, urbanas, agrícolas e serviços de saúde e comercial, em processos de tratamento térmico cuja operação seja realizada acima de 800°C.

### 2.2 PANORAMA DO COPROCESSAMENTO NO BRASIL

Para amenizar os problemas causados pela crise decorrente da recessão econômica brasileira no final dos anos 80, a indústria do cimento passou a colocar em prática diferentes estratégias com a finalidade de conciliar o custo da automação dos processos de produção e a redução de mão de obra. Ainda na mesma década, foi registrada a primeira utilização de combustíveis alternativos, como a palha de arroz, moinha de carvão vegetal da indústria siderúrgica, casca de coco de babaçu, bagaço de cana, entre outros (SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DO CIMENTO, 2019).

Além disso, o documento supracitado apresenta também quais ações seriam necessárias para alcançar os potenciais energéticos nele representados, incluindo as melhorias nos diferentes indicadores de performance e a redução prevista na emissão de carbono. Para alcançar objetivos a curto e médio prazo, por volta de 2030, seria necessário priorizar ações como: cooperação nacional e internacional de modo a compartilhar dados confiáveis de emissões, bem como indicadores de performance de eficiência energética; desenvolvimento de normas que permitam maior teor de substituição do clínquer mantendo a durabilidade do concreto e obedecendo padrões em vigência internacionalmente; estímulo ao desenvolvimento de pesquisas que estudem tecnologias emergentes para atenuar os gases de efeito estufa, etc.

### 2.3 PRINCIPAIS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS NO COPROCESSAMENTO

Por conta da energia requerida nos processos de produção do cimento, a indústria cimenteira configura um dos cinco setores que mais consomem energia no mundo. Desta forma, existe um constante esforço para que sejam utilizados combustíveis alternativos no lugar de combustíveis fósseis, não apenas pelo consumo de energia, mas também com a finalidade de reduzir impactos ambientais causados pelas emissões de gases que influenciam no efeito estufa e reduzir a intensa exploração de combustíveis não renováveis.

A nível mundial, a literatura científica registra exemplos como o da China, onde o lodo de esgoto apresenta alto percentual de utilização como combustível alternativo. Isso ocorre por conta da grande quantidade de lodo gerada a partir das estações de tratamento de água, chegando a 26,74 toneladas de lodo geradas em 2010 (LI, et al., 2013). Na Europa, a Bélgica foi um dos países com mais rápida adaptação ao coprocessamento, atingindo um percentual de substituição de 52,6% do coque de petróleo por fontes alternativas como a biomassa, além de receber incentivos políticos e sociais (DE BEER, et al. 2017).

Na Indústria brasileira de cimento, os combustíveis fósseis representam cerca de 77% do poder calorífico para a produção do clínquer, enquanto que os pouco mais de 30% provêm de combustíveis alternativos, como de resíduos e biomassa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2022).

Estima-se que no ano de 2016, o Brasil tenha produzido 1,276 bilhão de toneladas de resíduos industriais sólidos e 490.650 m<sup>3</sup> de resíduos industriais categorizados como líquidos. Já o perfil dos resíduos coprocessados é representado como sendo dividido em 89% que podem ser utilizados combustíveis alternativos e 11% como matéria-prima. Os resíduos correspondem a uma substituição térmica média de 14,77% no país (AGUIAR, et al., 2021).

De acordo com a ABCP (2022), entre os substitutos de combustíveis fósseis coprocessados notabilizam-se os pneus inservíveis (53%), o blend (36%), serragem impregnada com óleo, solos contaminados e solventes (9%), e óleos usados (2%). Entre matérias-primas alternativas estão o spent pot lining (SPL), que é um tipo de resíduo da indústria de petróleo (40%), solos contaminados (22%), carepa (13%), outros resíduos em geral (11%), areia de fundição (10%) e de terra de Shredder (4%).

## 2.4 LIMITES DE CONTAMINAÇÃO

Embora o coprocessamento apresente benefícios para o meio ambiente por meio da redução do uso de combustíveis fósseis com a substituição por combustíveis de menor impacto ambiental, é necessário que seja feito um controle sobre o tipo de combustível substituto e seu poder de contaminação.

Dependendo da constituição do resíduo utilizado no coprocessamento, os metais pesados presentes podem ser redistribuídos de várias formas, sendo os mais voláteis (tais como Hg e Tl) emitidos juntamente aos gases pela chaminé principal do forno, os semivoláteis (Cd, Pb, Sb e Se) e os não voláteis (As, Cr, Cu, Ni) normalmente são incorporados ao clínquer, ampliando assim a contaminação da atmosfera por contaminantes perigosos (ROCHA, LINS e SANTO, 2011).

Um aspecto importante relacionado ao tópico de limites de contaminação é o efeito do cimento na saúde humana (PORTO E FERNANDES, 2006). Em estudo realizado por Júnior e Braga (2009) analisando as condições de trabalho e saúde de operários envolvidos na atividade de coprocessamento de resíduos tóxicos em fornos de cimenteiras no município de Cantagalo no Rio de Janeiro, foram relatados sintomas como náusea, vômitos, cefaleia, vertigem, astenia (fadiga) e quadros clínicos indicativos de infecção aguda causados por exposição a materiais tóxicos.

## 2.5 INFLUÊNCIA DO COPROCESSAMENTO NAS PROPRIEDADES DO CIMENTO

A utilização de combustíveis alternativos durante a produção do cimento causa mudanças nas propriedades do clínquer devido a mudanças no processo de fabricação e influência dos materiais utilizados. Essas mudanças ocorrem devido às diferenças nas temperaturas mínimas de combustão e níveis de ar necessários para a combustão de combustíveis alternativos quando comparados ao carvão e ao coque de petróleo.

A formação de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ocorre por conta da modificação da composição do clínquer na presença de álcalis e sulfatos. Outro efeito observado se deu com alteração das propriedades de fusão do clínquer na zona de combustão. Íons dissociados SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, alteram a viscosidade e a tensão superficial do composto; diminuindo a viscosidade do composto e vice-versa. A combustão dos combustíveis alternativos resulta na formação de maiores cristais poligonais de silicato tricálcico juntamente ao escoamento da fase de fusão do clínquer no espaço intergranular. Estas características microestruturais podem causar deterioração nas características de moagem do clínquer e menor resistência nos primeiros dias em concretos fabricados com o cimento resultante (CHATTERJEE; SUI, 2019).

Em geral, combustíveis alternativos têm um poder calorífico inferior e taxas de combustão mais lentas em relação aos combustíveis convencionais. Desta forma, quando são utilizados durante a queima do clínquer,

esses combustíveis reduzem as temperaturas de pico da chama e a alongam, assim afetando a microestrutura do clínquer (ROCHA, LINS e SANTO, 2011).

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou fazer uma breve revisão bibliográfica acerca do uso da tecnologia de reaproveitamento de resíduos, evidenciado como podem ser reutilizados de maneira sustentável no processo de produção de cimento, bem como as metas definidas para que essa prática continue a tendência de crescimento observada nos últimos anos. Caso o coprocessamento seja realizado de acordo com as legislações criadas para estimular o avanço do coprocessamento, esse método se mostra uma opção viável e proporciona benefícios como a significativa redução de emissão de gases de efeito estufa, o destino adequado para o descarte de resíduos pesados, vantagens competitivas e econômicas e avanços tecnológicos.

Ao utilizar resíduos para geração de energia, é menor o volume de resíduo a ser disposto em outros locais, diminuindo o impacto ambiental devido a disposição de resíduos sólidos. Ademais, podem ser citados benefícios que vão além do processo produtivo do cimento como geração de novos empregos e a preservação de jazidas e fontes não renováveis.

Além disso, o cimento fabricado a partir da tecnologia do coprocessamento necessita de aprimoramentos e estudos mais detalhados a fim de viabilizar qualidade igual ou superior aos cimentos existentes atualmente no mercado, assim o cimento resultante se tornará um produto sustentável ambiental e economicamente.

### 4 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Panorama do Coprocessamento 2022: Uma Tecnologia Sustentável. 2022.
- BRASIL. Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2010.
- BRASIL - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002. **Resolução nº 316, 29 de Outubro de 2002**. Ministério do Meio Ambiente.
- CHATTERJEE, Anjan; SUI, Tongbo. Alternative fuels: Effects on clinker process and properties. **Cement and Concrete Research**, [S. l.], 28 maio 2019.
- DE AGUIAR, David Barreto; MATTOS, Ubirajara Aluizio de Oliveira; ESTEVES, Victor Paulo Peçanha. Avaliação do ciclo de vida da cadeia no coprocessamento de resíduos industriais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S. l.], p. 377-386, jun. 2021.
- DE BEER, Jeroen; CIHLAR, Jan; HENSING, Igor. Status and prospects of coprocessing of waste in EU **cement plants**. Maio 2017.
- LI, Yeqing; WANG, Huanzhong; ZHANG, Jiang; WANG, Jiajun; LAN, Ouyang. Co-Processing Sewage Sludge in Cement Kiln in China. **Journal of Water Resource and Protection**, [S. l.], p. 906-910, set. 2013.
- PORTO, Marcelo Firpo de Souza e FERNANDES, Lúcia de Oliveira. **Understanding risks in socially vulnerable contexts: The case of waste burning in cement kilns in Brazil**. Safety Science, v. 44, n. 3, p. 241–257, Mar 2006.
- ROCHA, Sônia Denise Ferreira e LINS, Vanessa de Freitas Cunha e SANTO, Belinazir Costa do Espírito. **Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 16, n. 1, p. 1–10, Mar 2011.
- Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. (2019). *ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050* (M. G. F. de Oliveira, Ed.).
- World Business Council for Sustainable Development. (2014). *Guidelines for Co-Processing Fuels and Raw Materials in Cement Manufacturing* (2nd ed.).