



# ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE PRÁTICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA NA INDÚSTRIA CIMENTEIRA

*Juliane Patricia de Oliveira<sup>1</sup>, Rafael Augusto da Silva<sup>2</sup>, Vanessa Campagnoli Ursulino<sup>3</sup>, Felipe Nakamura Bassani<sup>4</sup>, Luciana Cristina Soto Herek<sup>5</sup>, Paula Polastri<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas - PPGTL, Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Bolsista ICETI e PROSUP/CAPES.

julianepdeoliveira@outlook.com

<sup>2</sup>Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas - PPGTL, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. ra.engenharia2809@gmail.com

<sup>3</sup>Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas - PPGTL, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. campagnolivanessa1@gmail.com

<sup>4</sup>Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas – PPGTL, Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Bolsista ICETI e PROSUP/CAPES. felipe.n.bassani@gmail.com

<sup>5</sup>Doutora, Professora do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas - PPGTL, Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. luciana.rezende@unicesumar.edu.br

<sup>6</sup>Doutora, Professora do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas - PPGTL, Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. paula.polastri@unicesumar.edu.br

## RESUMO

O crescimento populacional especialmente em áreas urbanas, tem aumentado a demanda da construção civil, setor que além de essencial para o desenvolvimento de um país, gera impactos ambientais significativos. Diante disso, práticas de produção mais limpa (PmaisL) são fundamentais para reduzir esses impactos, especialmente na indústria cimenteira, objetivo do estudo, e setor produtivo com alta emissão de CO<sub>2</sub>, elevado consumo de energia e recursos naturais. A pesquisa buscou explorar como o setor trabalha atualmente e propor possíveis mudanças, visando práticas sustentáveis voltadas a PmaisL. A metodologia utilizada compreendeu revisão de literatura de diversos materiais e estudos de caso da indústria cimenteira, permitindo avaliação crítica das práticas atuais e das possíveis soluções a serem implementadas. Os resultados indicam que além de ir de encontro com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, a adoção de práticas PmaisL no setor pode reduzir significativamente os principais impactos. A implementação de novas tecnologias exige investimentos, pesquisas e adaptações, mas os benefícios alcançados justificam e impulsionam essa transição. Dessa forma, novas práticas sustentáveis na indústria cimenteira não são só uma necessidade ambiental, mas um caminho para garantir a competitividade e eficiência do setor a longo prazo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cimento; Desenvolvimento sustentável; Impactos ambientais; PmaisL; Sustentabilidade.

## 1 INTRODUÇÃO

A população mundial, de acordo com dados das Nações Unidas (UNDESA, 2024), alcançou o marco de mais de oito bilhões de habitantes no ano de 2024, esse número continuará crescendo nos próximos anos, principalmente nas áreas urbanas. Esse fator, tem gerado em todo mundo, principalmente nos países em desenvolvimento, um aumento significativo na demanda no setor da construção civil (Al-Kutti; Islam; Nasir, 2019).

O setor da construção civil é fundamental no desenvolvimento social e econômico do País, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), além de empregar mais de dois milhões de brasileiros em 2022, o setor também realizou o melhoramento de infraestruturas e atendeu a demanda habitacional, colaborando para o bem-estar social.

Entretanto, as consequências do desenvolvimento do setor ocasionam diversos impactos ambientais devido às consideráveis emissões de gases de efeito estufa (GEE), alto consumo de recursos naturais, energia e geração de resíduos (Cordeiro *et al.*, 2020). O que reforça ainda mais a necessidade de ações que visam reduzir os impactos e promover a sustentabilidade na construção civil.



Diante deste cenário, práticas de produção mais limpa (PmaisL) podem ser implementadas em toda extensão da cadeia produtiva do setor, gerando benefícios não só as empresas, mas também ao meio ambiente (da Silva; Quelhas; Amorim, 2017). A indústria cimenteira, um dos setores fundamentais da construção civil, porém bastante poluente, poderia reduzir consideravelmente seus impactos ao implementar práticas de PmaisL.

Atualmente a indústria cimenteira contribui com mais de 5% das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a nível global, é a terceira maior geradora, além do alto consumo de recursos naturais e energia (Fayomi *et al.*, 2019; UNEP, 2023). A demanda de cimento Portland tende a dobrar até 2050, acompanhando os países em desenvolvimento, o que reforça cada vez mais a necessidade de estudos e inovações envolvendo produto e empresa (Poli/USP, 2024).

Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo, avaliar como o setor produtivo da indústria cimenteira atua nos dias de hoje, seus principais problemas e pontos de significativos impactos ambientais, e tem como objetivo propor possíveis mudanças nos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência e diminuir os impactos do setor, e com isso promover uma indústria com práticas cada vez mais voltadas a PmaisL e menos a técnicas de fim de tubo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de abordagem qualitativa, com objetivo exploratório-descritivo. Foi adotada a metodologia de revisão de literatura narrativa, com diferentes tipos de documentos (artigos, legislações, e textos *online*) sobre a aplicação de práticas de PmaisL e sustentabilidade na indústria cimenteira.

O estudo seguiu cinco etapas de pesquisa e análise, a primeira etapa referente aos impactos ambientais do setor da construção civil, a segunda sobre a indústria cimenteira na atualidade, terceira etapa foi a análise de um estudo de caso, a quarta identificou propostas de melhorias ambientais na fabricação de cimento, e por fim, a última etapa apresentou alguns desafios e as perspectivas integradas do estudo.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 IMPACTOS AMBIENTAIS DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil está diretamente relacionado a diversos impactos ambientais, sendo responsável por significativa geração de resíduos, elevado consumo de recursos naturais e intensas emissões de gases de efeito estufa (GEE), com destaque para o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (UNEP, 2023). Esses fatores colocam a atividade como uma das mais desafiadoras no contexto da sustentabilidade urbana e ambiental.

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024, publicado pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2024), somente no ano de 2023 foram geradas 44 milhões de toneladas de resíduos da construção civil no país, o que corresponde a aproximadamente 30% de todos os resíduos sólidos produzidos nacionalmente. Esse dado alarmante evidencia a necessidade de se adotar medidas eficazes para mitigar os impactos dessa atividade.

Diante desse cenário, torna-se essencial a implementação de estratégias integradas que promovam a racionalização do uso de recursos e a gestão adequada dos resíduos. Entre essas estratégias destacam-se a compatibilização de projetos ainda na fase de planejamento, o treinamento contínuo das equipes envolvidas nas obras, a adoção de



tecnologias construtivas mais limpas e eficientes, e a aplicação de planos de gerenciamento de resíduos com foco na redução, reutilização e reciclagem.

A compatibilização de projetos, por exemplo, permite antecipar e corrigir incompatibilidades antes da execução da obra, o que evita retrabalhos e reduz significativamente o volume de resíduos gerados. Paralelamente, equipes bem capacitadas tendem a realizar a triagem correta dos materiais, contribuindo para o aumento das taxas de reaproveitamento e reciclagem.

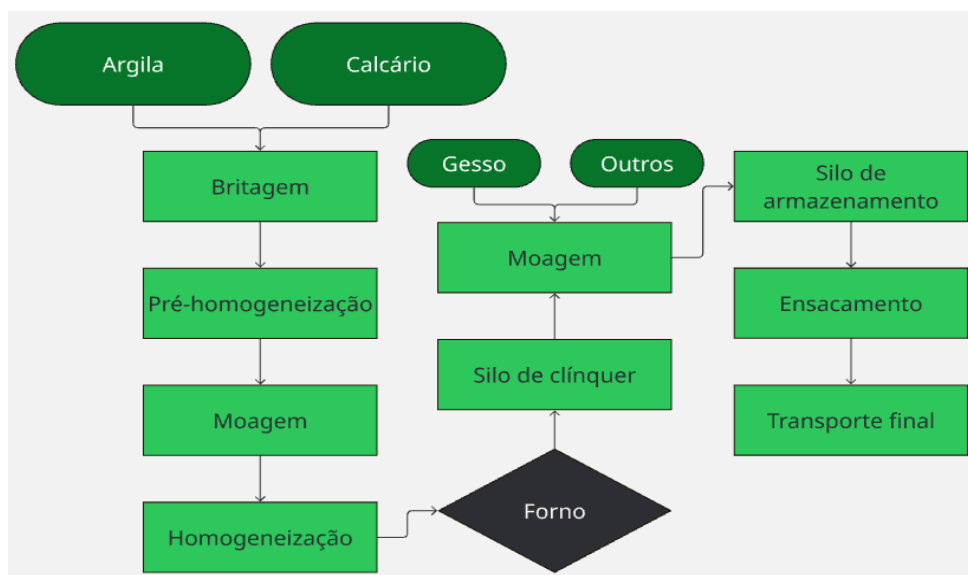
Outra frente fundamental é a busca por alternativas que reduzam o consumo de matérias-primas virgens. Nesse sentido, destaca-se o uso de materiais reciclados, a prática do reuso de água nos canteiros de obra, a utilização de fontes renováveis de energia e o incentivo a construções inteligentes e autossuficientes, que integrem eficiência energética, automação e baixo impacto ambiental desde a concepção até a operação.

Além disso, considerando que a indústria cimenteira é uma das maiores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub> dentro da cadeia da construção civil (UNEP, 2023), é indispensável investir em soluções específicas para este setor. Entre as alternativas promissoras estão o coprocessamento de resíduos, que substitui combustíveis fósseis em fornos de clínquer, e a redução da proporção de clínquer no cimento por meio da incorporação de materiais pozolânicos de origem industrial ou agrícola (resíduos).

Essas práticas não apenas contribuem para a mitigação das emissões de GEE, mas também para o reaproveitamento de resíduos que, de outra forma, seriam descartados, sem seguir a ordem de prioridade apresentada na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Brasil, 2010).

### 3.2 INDÚSTRIA CIMENTEIRA NA ATUALIDADE

A fim de compreender os principais pontos de impacto ambiental e identificar processos e produtos suscetíveis a práticas de PmaisL, é essencial analisar as etapas envolvidas na fabricação do cimento. Na Figura 1, apresenta-se um fluxograma com as principais fases do processo produtivo do cimento (CETESB, 2018; ABCP, 2024).



**Figura 1:** Fluxograma do processo produtivo da indústria cimenteira  
Fonte: Adaptado de ABCP (2024)

A maior parte das emissões de CO<sub>2</sub> ocorre durante a produção de clínquer, que exige temperaturas elevadas nos fornos rotativos. Essas emissões decorrem, majoritariamente,



da decomposição térmica do calcário (calcinação), responsável por cerca de 60% a 65% das emissões diretas, enquanto a queima de combustíveis fósseis (principalmente o coque de petróleo 85% da matriz térmica atual) contribui com os 35% a 40% restantes (CETESB, 2018; GCCA, 2025).

No Brasil, essa proporção é de 63% para a calcinação e 36% para combustíveis, sendo que a energia elétrica representa apenas 1% das emissões, devido à predominância de fontes renováveis na matriz elétrica nacional (SNIC; ABCP, 2019).

O processo produtivo pode ser otimizado com o uso de matérias-primas e combustíveis alternativos, desde que esses resíduos ou subprodutos sejam previamente tratados para garantir segurança e qualidade. O coprocessamento tem sido uma prática crescente no setor cimenteiro, reduzindo tanto o uso de recursos naturais quanto as emissões de gases de efeito estufa (ABCP, 2024). Além disso, a substituição progressiva de clínquer por materiais pozolânicos alternativos (provenientes de resíduos) também tem contribuído para essa redução.

Historicamente, o Brasil apresenta uma das menores intensidades de emissão de CO<sub>2</sub> por tonelada de cimento produzida no mundo. Entre 1990 e 2014, houve uma redução de 18% nas emissões específicas, de 700 para 564 kg CO<sub>2</sub>/t. Essa conquista foi possível graças à modernização do parque industrial, à substituição de fornos via úmida por via seca, ao aumento no uso de combustíveis alternativos (de 9% para 15%) e à redução na proporção de clínquer no cimento (de 80% para 67%) (CETESB, 2018; SNIC; ABCP, 2019).

### 3.3 ANÁLISE DE ESTUDO DE CASO COM APLICAÇÃO DE PMAISL NA PRODUÇÃO DE CIMENTO

O estudo de caso realizado por Ekincioglu *et al.* (2013) analisou a produção de cimento em uma empresa turca que adota práticas voltadas ao desenvolvimento sustentável. A pesquisa destacou o uso de combustíveis alternativos, matérias-primas secundárias, subprodutos industriais e estratégias de eficiência energética, alinhadas aos princípios da PmaisL.

A empresa apresentou um relatório de sustentabilidade com foco em temas como saúde e segurança ocupacional, uso de resíduos como recurso, mudanças climáticas, redução de impactos ambientais, soluções para construções sustentáveis e preservação da biodiversidade.

Entre as técnicas adotadas, destacam-se: a substituição parcial de combustíveis fósseis por alternativos, o uso de matérias-primas alternativas, a redução do teor de clínquer no cimento e a implementação de medidas de eficiência energética. Essas ações visam não apenas à mitigação dos impactos ambientais, mas também à otimização do processo produtivo.

Em 2011, a empresa registrou o uso de 68.500 toneladas de combustíveis alternativos, alcançando uma taxa de substituição térmica de 4,58%. Para o ano de 2020, estabeleceu como meta aumentar essa taxa para 29%, demonstrando o compromisso com a ampliação do uso de fontes energéticas mais limpas. Adicionalmente, obteve-se uma economia de energia de aproximadamente 20% a partir da substituição parcial do clínquer por materiais pozolânicos alternativos, refletindo a menor demanda energética associada à produção de clínquer por tonelada de cimento.

O estudo também evidenciou a substituição de matérias-primas virgens por resíduos oriundos de outras atividades industriais. Exemplos incluem a utilização de solo de escavação em substituição ao calcário e à argila, além do uso de fosfogesso como alternativa ao gesso natural. Complementando essas ações, a empresa investiu na modernização de seus equipamentos, com destaque para a instalação de um sistema de



recuperação de calor residual dos fornos, o que resultou em uma economia de aproximadamente um terço da energia total consumida.

### 3.4 PROPOSTA DE MELHORIAS E PMAISL PARA A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

#### 3.4.1 Substituição do clínquer e uso de adições

A substituição parcial do clínquer por adições é uma das estratégias mais eficazes para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> da indústria cimenteira, os materiais mais utilizados atualmente são, escória de alto-forno, cinzas volantes, argila calcinada e fíler calcário. A substituição por escória e cinza volante está sendo utilizada praticamente em sua capacidade máxima, um dos problemas enfrentados para o aumento do uso, é um menor crescimento da indústria siderúrgica e de usinas termelétricas em comparação a indústria cimenteira (GCCA, 2025; SNIC; ABCP, 2019; Poli/USP, 2024). Estima-se que até 2050 as substituições por essas duas alternativas, em comparação a atualidade, sejam ainda menores.

Há previsão para redução do fator de clínquer no Brasil de 67% para 52% até 2050. O fíler calcário, se destaca como adição promissora devido a sua ampla disponibilidade e baixo custo, apesar de requerer atualização normativa para ampliar seu uso. Estudos como o de Leal *et al.* (2025), utilizam o fíler para substituir o cimento em pastas e argamassas, além de realizar misturas com outros resíduos, suas descobertas se alinham as metas de sustentabilidade globais e da indústria cimenteira.

Além do fíler, outros resíduos são amplamente estudados e viabilizados como possíveis substitutos ao cimento. Al-Kutti, Islam e Nasir (2019), realizaram uma investigação experimental do desempenho de concreto e argamassa com substituições parciais do cimento Portland por cinzas de tamareira.

Silva *et al.* (2021), analisaram amostras de argamassa com substituição parcial do peso de cimento por cinza de folha de bambu. Os testes de caracterização das cinzas resultaram em um ótimo material pozolânico. A resistência a compressão das amostras não apresentou significância estatística, todos os resultados viabilizaram o uso das cinzas em substituição parcial do cimento Portland.

A pesquisa de Lee *et al.* (2023) avaliou o uso de terra diatomácea residual como substituta parcial ao cimento em amostras de argamassa, seus resultados viabilizaram a substituição de até 20% de cimento pelo resíduo estudado.

Dessa forma, a substituição parcial do clínquer por adições e resíduos alternativos mostra-se essencial para a descarbonização da indústria cimenteira, contribuindo para a sustentabilidade do setor e incentivando o aproveitamento de materiais disponíveis localmente e com bom desempenho técnico.

#### 3.4.2 Combustíveis alternativos e coprocessamento

Durante a produção do clínquer, a redução das emissões de CO<sub>2</sub> pode ser alcançada por meio do uso de combustíveis alternativos, substituindo os fósseis. Esses combustíveis alternativos são oriundos de resíduos ou subprodutos industriais e agrícolas, podendo incluir biomassa, misturas com combustíveis fósseis ou resíduos sólidos. Já existem fornos operando com 100% de combustíveis alternativos, demonstrando o potencial da prática (GCCA, 2025).

No Brasil, a matriz térmica da indústria cimenteira ainda é majoritariamente fóssil (85% coque de petróleo), mas o uso de resíduos como pneus inservíveis, solventes, plásticos, serragem, lodo de esgoto e grãos vencidos já representa 15% da energia



utilizada. A prática do coprocessamento não só reduz emissões como também valoriza energeticamente resíduos que seriam descartados, com forte respaldo legal desde a criação da PNRS - Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010; CETESB, 2018; SNIC; ABCP, 2019).

A indústria cimenteira oferece, com o coprocessamento, uma solução eficaz para o gerenciamento de resíduos não reutilizáveis ou recicláveis, promovendo ao mesmo tempo a recuperação energética e a reciclagem mineral. Os fornos operam em altas temperaturas e por longos períodos, o que garante a destruição segura dos resíduos. Globalmente, espera-se que o uso de combustíveis alternativos cresça de 6% em 2020 para 22% até 2030 e 43% até 2050 (GCCA, 2025).

Em 2024, a Votorantim Cimentos iniciou um projeto, em uma unidade brasileira localizada em Xambioá, no Tocantins, de substituição de combustíveis fósseis por fontes alternativas, como biomassa e pneus. A planta, que já operava com uma taxa de substituição térmica de 34% (carvão vegetal), alcançou rapidamente quase 65% com a instalação de um sistema de injeção de combustível alternativo (coprocessamento) no calcinador (GCCA, 2025).

O objetivo inicial era substituir 68% dos combustíveis fósseis até 2028, mas as expectativas foram superadas poucos meses após a implementação. Combinada a outras medidas de descarbonização e melhorias no processo, a ação resultou em uma queda de 9% nas emissões líquidas de CO<sub>2</sub>, passando de 493 para 449 kg por tonelada de cimento em apenas seis meses (GCCA, 2025).

### 3.4.3 Eficiência energética

A eficiência energética térmica já é amplamente aplicada em escala global, principalmente por meio da adoção de tecnologias avançadas em novas fabricas de cimento e na modernização de plantas já existentes. Nas economias emergentes, esse avanço tem sido mais notável, devido à presença de instalações mais recentes e com melhor desempenho energético (SNIC; ABCP, 2019).

Contudo, a ampliação do uso de combustíveis alternativos pode resultar em uma leve queda na eficiência térmica. Espera-se que, a partir de 2040, tecnologias inovadoras como a eletrificação dos fornos e a utilização de hidrogênio passem a contribuir de forma mais significativa, podendo suprir aproximadamente 10% da demanda energética do setor cimenteiro até 2050 (GCCA, 2025).

### 3.4.4 Alternativas inovadoras e emergentes

Entre as alternativas, a *Carbon Capture and Utilization or Storage* (CCUS), em português, captura de carbono e utilização ou armazenamento, é a principal. Durante o processo e CCUS, são consideradas a captura e separação de CO<sub>2</sub>, transporte, utilização em outras produções ou o armazenamento permanente (GCCA, 2025).

No Brasil a CCUS seria viável apenas a partir de 2040, devido ao fato de alternativas de redução de CO<sub>2</sub> da indústria cimenteira, como, substituição do clínquer e coprocessamento, terem um melhor custo e facilidade de implementação. Em 2050 a CCUS tem estimativa para capturar ao ano 3,3 Mt de CO<sub>2</sub>, no entanto, pesquisas são necessárias para a sua viabilidade técnica e econômica (SNIC; ABCP, 2019).

## 3.5 DESAFIOS E PERSPECTIVAS INTEGRADAS

A indústria cimenteira enfrenta um cenário complexo em sua transição para a sustentabilidade, marcado por desafios técnicos, econômicos e regulatórios. A elevada



dependência do clínquer, exige estratégias robustas para sua substituição por materiais alternativos (CETESB, 2018).

Outro desafio significativo é a ampliação do coprocessamento no Brasil, que, apesar de avanços recentes, ainda apresenta matriz térmica fortemente dependente do coque de petróleo. A expansão do uso de combustíveis alternativos demanda infraestrutura, logística adequada, investimentos e aprovação regulatória para novos resíduos, garantindo a segurança ambiental (SNIC; ABCP, 2019).

As perspectivas para uma maior sustentabilidade no setor incluem a integração de diversas alavancas tecnológicas e operacionais. A redução progressiva do fator de clínquer, aliada ao aumento do coprocessamento, pode gerar ganhos expressivos no curto e médio prazo. No longo prazo, tecnologias emergentes, como a eletrificação de fornos, o uso de hidrogênio e sistemas CCUS, devem complementar os esforços já consolidados.

A combinação dessas estratégias, associada a políticas públicas de incentivo, investimentos em pesquisa e normatizações mais flexíveis, é fundamental para que a indústria atinja as metas globais de neutralidade de carbono até 2050, promovendo uma cadeia produtiva mais sustentável e alinhada aos princípios da economia circular (GCCA, 2025).

#### 4 CONCLUSÃO

Este estudo demonstra que a adoção de práticas de PmaisL no setor produtivo da indústria cimenteira pode reduzir significativamente seus impactos ambientais, tornando o processo produtivo mais sustentável sem comprometer sua eficiência.

A implementação dessas tecnologias exige investimentos iniciais e adaptações nos processos produtivos, mas os benefícios ambientais e econômicos justificam essa transição. Reduzir a dependência de combustíveis fósseis, otimizar o uso de matérias-primas e cimento, e aumentar a eficiência energética são estratégias fundamentais para minimizar os impactos negativos do setor.

Portanto, a modernização da indústria cimenteira por meio de soluções sustentáveis não é apenas uma necessidade ambiental, mas também um caminho viável para garantir a competitividade do setor a longo prazo.

#### REFERÊNCIAS

AL-KUTTI, W.; SAIFUL ISLAM, A. B. M.; NASIR, M. Potential use of date palm ash in cement-based materials. **Journal of King Saud University Engineering Sciences**, v. 31, n. 1, p. 26–31, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Aplicações do cimento**. São Paulo: ABCP, 2024. Disponível em: <https://abcp.org.br/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Panorama do coprocessamento 2024 (Ano base 2023)**. São Paulo: ABCP, 2024. Disponível em: <https://coprocessamento.org.br/panorama-do-coprocessamento-brasil-2024-ano-base-2023/>. Acesso em: 01 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. São Paulo: ABREMA, 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 01 jul. 2025.



BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2010]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 20 mar. 2025.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudo de baixo carbono para a indústria de cimento no estado de São Paulo de 2014 a 2030.** São Paulo: CETESB, 2018. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2018/09/CIMENTO-PUBLICA%C3%87%C3%83O\\_on-line.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2018/09/CIMENTO-PUBLICA%C3%87%C3%83O_on-line.pdf). Acesso em: 01 abr. 2025.

CORDEIRO, G. C.; LEMOS, M. N.; XAVIER, K. V.; LIMA, C. P. F. Production of agroindustrial ashes with pozzolanic activity via acid leaching, conjugated burning and ultrafine grinding. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 4, p. 189–203, dez. 2020.

DA SILVA, J. C. B.; QUELHAS, O. L. G.; AMORIM, M. F. Análise comparativa de modelos e práticas de gestão ambiental em pequenas e médias empresas do setor da construção civil a partir de estudos teóricos. **Interações**, v. 18, n. 1, 2017.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Cimento – Produção mundial pode dobrar sem aumentar CO<sub>2</sub>.** São Paulo: Poli/USP, 2024. Disponível em: <https://www.poli.usp.br/noticias/1527-cimento-producao-mundial-pode-dobrar-sem-aumentar-co2.html>. Acesso em: 24 mar. 2025.

EKINCIOGLU, O.; GURGUN, A. P.; ENGIN, Y.; TARHAN, M.; KUMBARACIBASI, S. Approaches for sustainable cement production - A case study from Turkey. **Energy and Buildings**, v. 66, p. 136-142, 1 nov. 2013.

FAYOMI, G. U.; MINI, S. E.; FAYOMI, O. S. I.; AYOOLA, A. A. Perspectives on environmental CO<sub>2</sub> emission and energy factor in Cement Industry. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 331, n. 1, p. 012035, 1 set. 2019.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION. **Essential concrete.** GCCA, 2024. Disponível em: <https://gccassociation.org/essential-concrete/>. Acesso em: 24 mar. 2025.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION. **Relatório de Progresso Líquido Zero da Indústria de Cimento 2024/25.** GCCA, 2025. Disponível em: <https://gccassociation.org/cement-industry-net-zero-progress-report-2024-25/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa anual da Indústria da Construção 2022.** Brasília: IBGE, 2024.

LEAL, R. G. N.; DÍAZ, O. B.; MORALES, J. R.; GARCÍA, J. I. E. Eco-efficient ternary cements with limestone powder, metakaolin and recycled waste glass: Characterization and sustainability assessment. **Construction and Building Materials**, v. 479, p. 141432, 2025.



LEE, M. G.; HUANG, Y.; SHIH, Y. F.; WANG, W. C.; WANG, Y. C.; WANG, Y. X.; CHANG, H. W. Mechanical and thermal insulation performance of waste diatomite cement mortar. **Journal of Materials Research and Technology**. v. 25, p. 4739-4748, 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Onu Brasil, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SILVA, L. H. P.; TAMASHIRO, J. R.; FRIOL GUEDES DE PAIVA, F.; SANTOS, L. F.; TEIXEIRA, S. R.; KINOSHITA, A.; ANTUNES, P. A. Bamboo leaf ash for use as mineral addition with Portland cement. **Journal of Building Engineering**, v. 42, p. 102769, 2021.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO E ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Roadmap tecnológico do cimento: Rumo a uma economia de baixo carbono**. Rio de Janeiro: SNIC; ABCP, 2019. Disponível em: <https://coprocessamento.org.br/publicacoes/roadmap-tecnologico-do-cimento-brasil-ebook/>. Acesso em: 01 jul. 2025.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. **World Population Prospects 2024: Summary of Results**. New York: UNDESA, 2024. Disponível em: <https://desapublications.un.org/publications/world-population-prospects-2024-summary-results>. Acesso em: 20 mar. 2025.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Building materials and the climate: Constructing a new future**. Nairobi, Kenya: UNEP, 2023. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/building-materials-and-climate-constructing-new-future>. Acesso em: 20 mar. 2025.