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.v21i1.8968

Benchmarks para concretos dosados em centrais: estimativa do potencial de redução de CO_2

Benchmarks for ready-mixed concrete: estimating the potential for CO_2 reduction

Tayná Bini
UNILA | Foz do Iguaçu-PR | Brasil | taynabini@gmail.com
Mayara Pastorini Proença
UNILA | Foz do Iguaçu-PR | Brasil | mayarapproenca@gmail.com
Giovanna Patrícia Gava
UNIOESTE| Cascavel-PR | Brasil | gpgava@gmail.com
Emerson Felipe Felix
UNESP | Guaratinguetá-SP | Brasil | emerson.felix@unesp.br
Edna Possan
UNILA | Foz do Iguaçu-PR | Brasil | edna.possan@unila.edu.br

Resumo

Este trabalho objetiva estabelecer *benchmarks* para concretos dosados em centrais e estimar o potencial atual de redução de CO_2 em relação às condições usuais de produção (*Business as Usual* – BAU), por faixa de resistência à compressão aos 28 dias. A pesquisa, de abordagem quantitativa, descritiva e comparativa, analisou 5.387 misturas produzidas por seis centrais dosadoras das regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil, com resistências entre 20 MPa e 50 MPa (Grupo I da NBR 6118). Os dados foram agrupados em faixas de 5 MPa, calculando-se a emissão média, a menor emissão observada e o potencial percentual de redução de CO_2. Ao adotar a menor emissão como *benchmark* ambiental, identificou-se potencial de redução de até 26,9%, com maior potencial nas faixas de 20-25 MPa e 45-50 MPa. O estudo demonstra que dados reais de produção podem orientar as referências de desempenho ambiental e as estratégias de redução de CO_2 em centrais dosadoras.

Palavras-chave: Descarbonização do concreto. Indicadores ambientais. Emissões de CO_2.

Abstract

This study aims to establish benchmarks for concrete produced in ready-mix concrete plants and estimate the current potential for CO_2 reduction relative to a Business as Usual (BAU) reference scenario, representing typical production conditions, across 28-day compressive strength ranges. Adopting a quantitative, descriptive, and comparative approach, the research analyzed 5,387 mixtures produced by six batching plants located in the South and Central-West regions of Brazil, with compressive strengths ranging from 20 MPa to 50 MPa (Group I of NBR 6118). The data were grouped into 5 MPa strength ranges, and the average emissions, the lowest observed emissions, and the percentage potential for CO_2 reduction were calculated. By adopting the lowest emission value as the environmental benchmark, a reduction potential of up to 26.9% was identified, with the greatest potential observed in the 20–25 MPa and 45–50 MPa ranges. The study demonstrates that real production data can support the definition of environmental performance references and CO_2 reduction strategies in ready-mix concrete plants.

Keywords: Concrete decarbonization. Environmental indicators. CO_2 emissions.

Como citar:
BINI, T.; PROENÇA, M. P.; GAVA, G. P.; FELIX, E. F.; POSSAN, E. Benchmarks para concretos dosados em centrais: estimativa do potencial de redução de CO_2. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

INTRODUÇÃO

Em sistemas produtivos, a busca por melhores práticas constitui uma estratégia recorrente para o aprimoramento de produtos e processos, e estudos de *benchmarking* são frequentemente usados para identificar referências de desempenho, comparar práticas operacionais e orientar decisões técnicas [1], uma vez que o *benchmarking* é uma ferramenta de comparação sistemática orientada à identificação de referências de desempenho, capazes de subsidiar processos de melhoria [2].

Essa abordagem pode ser aplicada aos concretos dosados em centrais (CDC), cuja produção varia conforme matérias-primas, parâmetros operacionais, condições climáticas e exigências de desempenho [3]. Com produção de mais de 30 milhões de metros cúbicos em 2023 no Brasil [4], as demandas de descarbonização ampliam a relevância do desempenho ambiental nas centrais dosadoras [5].

Embora o concreto seja composto por diferentes materiais, o cimento Portland se destaca como um de seus principais constituintes [6], sendo o componente mais emissivo da mistura, correspondendo a mais de 90% das emissões de CO_2 [7]. Sobretudo em razão das emissões de processo decorrentes da clinquerização e do elevado consumo energético envolvido na fabricação do cimento [8-10], esse setor produtivo é responsável por cerca de 7% das emissões globais de CO_2 [11-12]. Todavia, as emissões associadas ao concreto não se limitam ao cimento, abrangendo também etapas de extração e processamento de agregados, transporte de insumos e operações industriais de mistura [13-14]. Por isso, o concreto ocupa posição estratégica nas discussões sobre a descarbonização na construção civil [5,7,15].

Neste contexto, diferentes estudos têm discutido estratégias para a redução das emissões associadas aos materiais cimentícios. No nível da fabricação do cimento, destacam-se medidas como a redução do teor de clínquer, uso de adições minerais, combustíveis alternativos, eficiência energética e captura de carbono [9,16-18]. No nível da produção do concreto, as possibilidades de mitigação envolvem o controle tecnológico, a otimização das misturas e a busca por maior eficiência na relação entre desempenho mecânico e impacto ambiental [5,8,9,13,19-21].

Parte das oportunidades de redução do CO_2 pode ser identificada nas próprias condições produtivas existentes, sem exigir novas tecnologias ou mudanças estruturais [22]. Para isso, é necessário reconhecer referências, ineficiências e metas de aprimoramento em instalações em operação [23]. Com isso, desenvolveu-se este trabalho que, a partir de um banco de dados de produção de concretos dosados em central, avalia comparativamente os indicadores de interesse com base nas variabilidades observadas. Neste estudo, as condições usuais de produção são representadas por uma referência *Business as Usual* (BAU), operacionalizada a partir da emissão média de CO_2 observada em cada faixa de resistência. Essa referência expressa o desempenho ambiental médio da base analisada nas condições correntes de produção, enquanto o *benchmark* corresponde ao menor nível de emissão observado entre concretos de resistência semelhante. A comparação entre ambas

permite estimar o potencial atual de redução de CO_2 associado à aproximação do desempenho médio ao melhor desempenho ambiental registrado na base de dados.

Com base nisso, este artigo tem como objetivo estabelecer *benchmarks* para concretos dosados em centrais e estimar o potencial atual de redução de CO_2, em relação à referência BAU, por meio da comparação entre a emissão média e a menor emissão observada em diferentes faixas de resistência à compressão aos 28 dias. A construção de *benchmarks* ambientais por faixa de resistência pode contribuir para identificar o menor nível de emissão observado em condições reais de produção e para estimar o potencial atual de redução de CO_2 em relação ao desempenho médio da base de dados analisada, alinhando-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa possui abordagem quantitativa, de caráter descritivo e comparativo, desenvolvida a partir da análise de dados reais de produção de concretos dosados em centrais. A base inicial analisada é composta por 6.110 misturas provenientes de seis centrais dosadoras de concreto (CDCs), localizadas nas regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil [24-25]. As centrais foram codificadas como CDC A, CDC B, CDC C, CDC D, CDC E e CDC F e a base contempla três tipos de cimento Portland (CP II-F 40, CP IV 32 RS e CP V-ARI). O banco de dados contém informações referentes à central produtora, à resistência à compressão aos 28 dias, ao tipo de cimento, ao consumo dos materiais constituintes e à relação água/cimento das misturas.

Inicialmente, os dados foram organizados e tratados em ambiente Python, com uso das bibliotecas *Pandas*, *NumPy* e *Matplotlib*. Considerando as composições de cada mistura, as emissões foram calculadas conforme a Equação 1.

$$C = \sum(E_L * Q_L) + \sum(E_{Ag} * Q_{Ag}) + \sum(E_{ad} * Q_{ad}) \quad (1)$$

Em que C corresponde à emissão total de CO_2, expressa em kg de CO_2/m^3; E_L, E_{Ag} e E_{ad} representam, respectivamente, os fatores de emissão associados à produção dos ligantes, dos agregados e dos aditivos, expressos em kg de CO_2/kg; e Q_L, Q_{Ag} e Q_{ad} correspondem, respectivamente, ao consumo de ligante, agregado e aditivo necessário para a produção de 1 m^3 de concreto, expresso em kg/m^3.

Os fatores de emissão utilizados (Tabela 1) no cálculo foram obtidos, prioritariamente, na plataforma SIDAC [26]. Para os aditivos, foram consultadas Declarações Ambientais de Produto, ou Environmental *Product Declarations (EPD*s) [27]. Para materiais com menor grau de industrialização, como os agregados naturais, adotou-se o maior valor de emissão disponível, como critério conservador para evitar a subestimação dos impactos diante da ausência de informações específicas sobre sua procedência e processo de obtenção. Para materiais industrializados, como cimento e aditivos, foi utilizada a média aritmética dos valores encontrados nas fontes consultadas.

Tabela 1: Emissões de CO_2 da matéria-prima

Material	Emissão (kg CO_2/kg)	Fonte
Areia natural	0,0130	[26]
Agregados (Brita 0; Brita 1; Pó de Pedra)	0,0050	[26]
Cimento CP V-ARI RS	0,8853	[26]
Cimento CP II-F 40	0,7627	[26]
Cimento CP IV-32 RS	0,6344	[26]
Aditivo	0,2458	[27]

Fonte: Os autores.

Com base nos dados, foram mantidas apenas as misturas com resistência à compressão aos 28 dias entre 20 MPa e 50 MPa, conforme grupo I da NBR 6118 [28] . Esse recorte resultou em uma base final de 5.387 misturas, após a exclusão de 92 registros com resistência inferior a 20 MPa e de 631 registros com resistência superior a 50 MPa. As misturas selecionadas foram agrupadas em intervalos de 5 MPa, correspondentes às faixas de 20 a 25 MPa, 25 a 30 MPa, 30 a 35 MPa, 35 a 40 MPa, 40 a 45 MPa e 45 a 50 MPa. Essa estratégia permitiu comparar concretos com desempenho mecânico semelhante, evitando que misturas de resistências muito distintas fossem avaliadas conjuntamente apenas com base na emissão absoluta de CO_2.

Para cada faixa de resistência, foram calculados o número de misturas, a resistência média aos 28 dias, a emissão média de CO_2, a menor emissão observada, o consumo médio de cimento e o coeficiente de variação das emissões. Para fins deste estudo, a emissão média de CO_2 de cada faixa de resistência foi adotada como referência *Business as Usual* (BAU), por representar o desempenho ambiental médio observado nas condições correntes de produção da base analisada. A menor emissão registrada em cada faixa foi adotada como *benchmark* ambiental, por representar o melhor desempenho ambiental observado na própria base de dados para concretos com resistência equivalente. A adoção desse critério permite comparar a condição usual de produção, representada pela referência BAU, com uma referência interna de melhor desempenho já alcançado em condições reais de produção. Reconhece-se que o uso do valor mínimo é sensível a observações individuais e, portanto, o *benchmark* não deve ser interpretado como uma meta generalizável a todas as centrais, mas como uma referência empírica de melhor desempenho observado no conjunto de dados analisado.

O potencial de redução de CO_2 foi, assim, estimado pela diferença percentual entre a emissão média da faixa e a menor emissão observada na mesma faixa, conforme a Equação 2:

$$PR_{CO_2} = \frac{E_{média} - E_{mínima}}{E_{média}} \times 100 \quad (2)$$

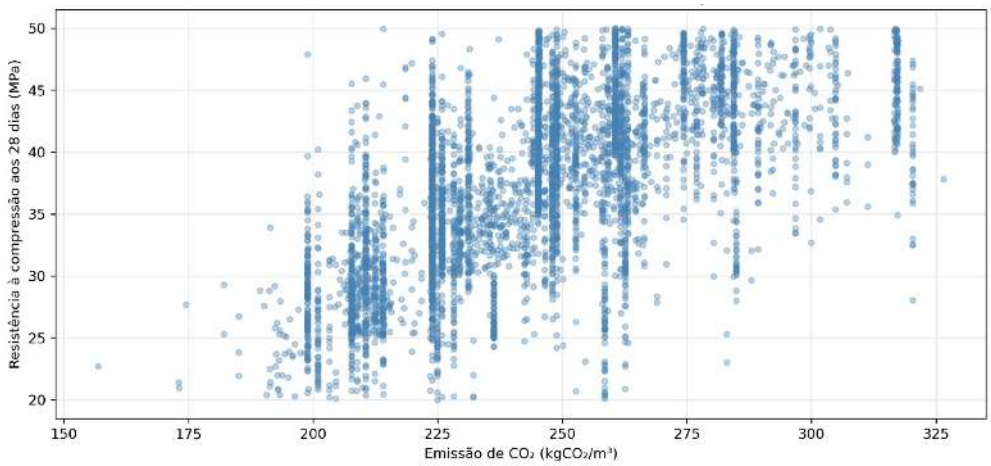
em que PR_{CO_2} é o potencial percentual de redução, $E_{média}$ a emissão média da faixa e $E_{mínima}$ a menor emissão observada. Com esse procedimento, buscou-se estimar quanto as emissões poderiam ser reduzidas caso o desempenho médio da faixa se aproximasse do melhor resultado ambiental observado na base analisada.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8968

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1, apresenta-se a dispersão dos 5.387 dados quanto à emissão de CO_2 e à resistência à compressão axial aos 28 dias. A Figura 2 mostra a distribuição das emissões por faixa de resistência, e a Tabela 2 sintetiza as características das misturas.

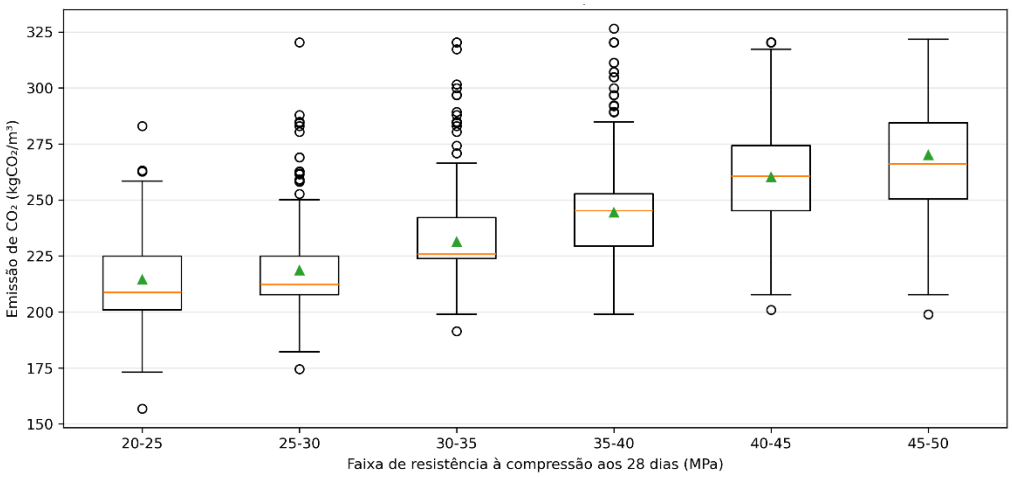
Figura 1: Emissão de CO_2 versus resistência à compressão



Fonte: Os autores.

Embora se observe uma tendência de aumento das emissões à medida que cresce a resistência à compressão, a dispersão dos pontos indica que misturas com emissões semelhantes podem apresentar resistências distintas. Essa variação sugere que a emissão de CO_2 é determinada também por fatores associados ao proporcionamento das misturas, ao tipo e consumo de cimento, aos demais insumos utilizados e às condições produtivas das centrais.

Figura 2: Distribuição das emissões de CO_2 por faixa de resistência



Fonte: Os autores.

A dispersão das emissões em uma mesma faixa de resistência indica potencial de otimização. Entre 30 e 35 MPa, por exemplo, a emissão média foi de 231,4 $kgCO_2/m^3$, com diferença de aproximadamente 129 $kgCO_2/m^3$ entre os extremos. Esse resultado aponta a necessidade de analisar tecnicamente as misturas de menor emissão e sua repetibilidade em produção. Como alguns valores são extremos, sua adoção como

referência requer cautela. Dessa forma, os melhores desempenhos observados na própria base podem ser utilizados como referências comparativas para estimar margens reais de melhoria nas centrais dosadoras.

Tabela 2: Características dos concretos do banco de dados analisado por faixa de resistência

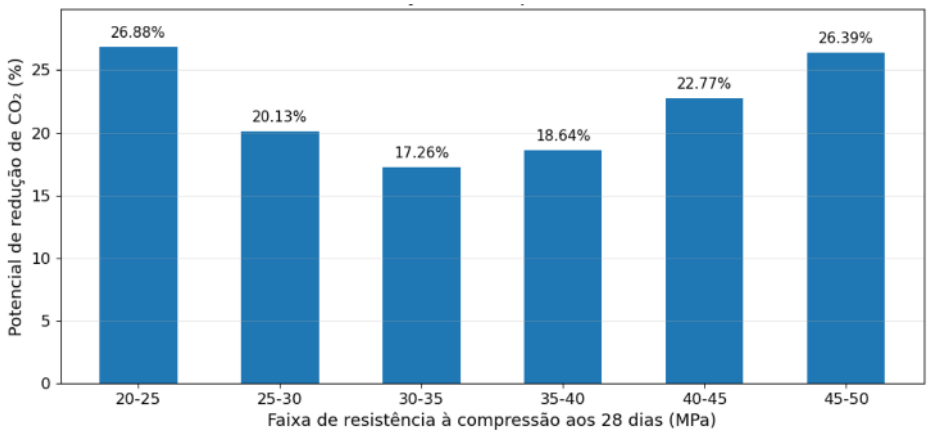
Faixa de resistência	Nº de misturas	*fc* (MPa)	Emissão ($kgCO_2/m^3$)		CV (%)	P (%)	Tipo de cimento*	C (kg/m^3)
			média (BAU)	mínima *(benchmark)*				
20-25	209	22,9	214,5	156,8	9,5	26,9	CP IV 32 RS	225
25-30	753	27,5	218,5	174,5	8,2	20,1	CP IV 32 RS	250
30-35	1051	32,5	231,4	191,4	8,4	17,3	CP II F 40	230
35-40	1378	37,4	244,5	199,0	8,0	18,6	CP II F 40	244
40-45	1224	42,3	260,2	201,0	9,1	22,8	CP II F 40	242
45-50	772	47,3	270,2	199,0	8,6	26,4	CP II F 40	244

fc = resistência à compressão axial média da faixa de resistência. BAU = referência *Business as Usual*. Coeficiente de variação das emissões de CO_2 da faixa de resistência. P= Potencial atual de redução das emissões de CO_2. C = Consumo de cimento do *benchmark*. * Do *benchmark (*mistura de menor emissão) de cada faixa de resistência.
Fonte: Os autores.

As emissões médias (referências BAU) aumentaram com as faixas de resistência, de 214,5 $kgCO_2/m^3$ entre 20 e 25 MPa para 270,2 $kgCO_2/m^3$ entre 45 e 50 MPa. Comportamento aderente à literatura [19, 25], que destaca que concretos de maior resistência tendem a demandar maior consumo de ligante por m^3.

As emissões mínimas observadas em cada faixa foram adotadas como *benchmarks* ambientais, por representarem o menor nível de emissão alcançado na própria base para concretos com resistência próxima. Nas duas primeiras faixas, os *benchmarks* estiveram associados ao cimento CP IV 32 RS, enquanto, nas faixas de 30 a 50 MPa, os menores valores de emissão foram obtidos com o cimento CP II-F 40. Destaca-se, ainda, que as faixas de 35 a 40 MPa e de 45 a 50 MPa apresentaram a mesma emissão mínima, 199 $kgCO_2/m^3$, com o mesmo consumo de cimento, porém com resistências distintas. Além disso, observou-se expressiva variação no consumo de cimento entre misturas pertencentes à mesma faixa de resistência, com amplitudes entre os valores mínimo e máximo variando de 130 a 253 kg/m^3, a depender da classe analisada. A Figura 3 apresenta o potencial de redução obtido para cada faixa de resistência analisada.

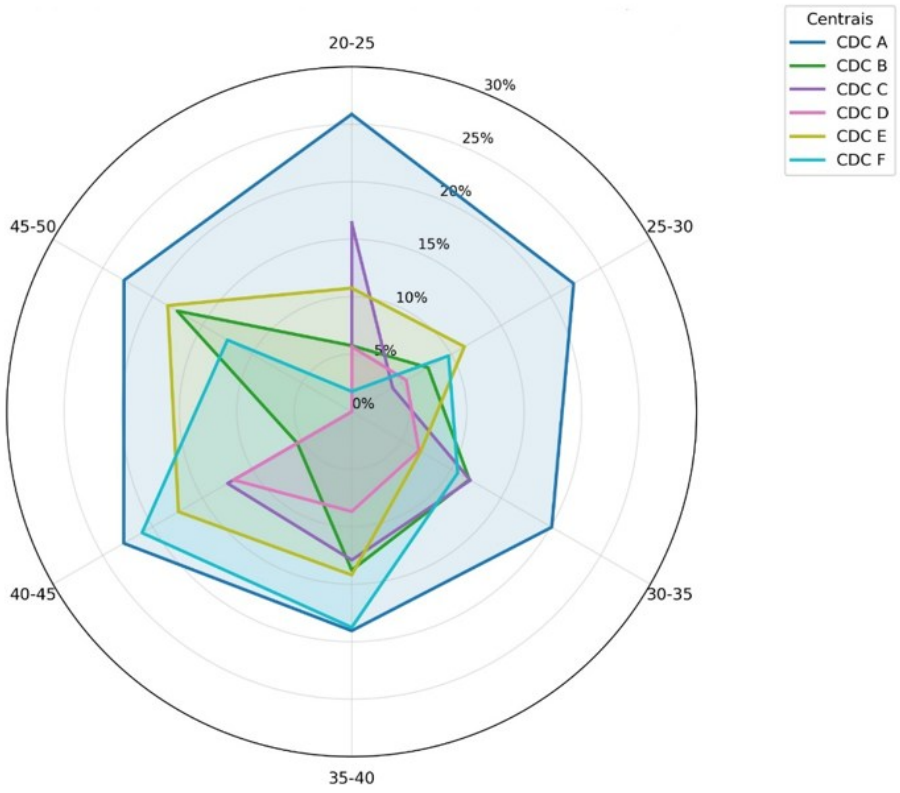
Figura 3: Potencial atual de redução de CO_2 por faixa de resistência



Fonte: Os autores.

Constata-se que todas as faixas de resistência apresentam margem para redução de CO_2 em relação às respectivas referências BAU. As maiores reduções potenciais foram observadas nas faixas de 20 a 25 MPa e 45 a 50 MPa, com 26,9% e 26,4%, respectivamente, indicando maior distância entre o desempenho ambiental médio e o *benchmark* realizado. Os concretos situados na faixa de 30 a 35 MPa apresentaram o menor potencial de redução, com 17,3%, seguidos pela faixa de 35 a 40 MPa, com 18,6%. Nessas faixas, as misturas adotadas como *benchmark* utilizaram 230 kg/m³ e 244 kg/m³ de cimento, respectivamente, com emprego de CP II-F 40. Conforme observado na Figura 2, esses grupos apresentam menor afastamento entre os valores centrais de emissão e os menores valores registrados, sugerindo maior proximidade entre o desempenho médio da faixa e o *benchmark* ambiental adotado. Partindo para uma análise por CDC, conforme Figura 4, o potencial de redução de CO_2 varia de forma expressiva entre as CDCs e para todas as faixas de resistência.

Figura 4: Potencial de redução de CO_2 por faixa de resistência e CDC



Fonte: Os autores.

A CDC "A" apresentou a menor ecoeficiência relativa e a maior margem de melhoria interna, com potencial de redução de CO_2 entre 19,1% e 25,9% nas faixas avaliadas. Já a CDC D apresentou o melhor desempenho do grupo, destacando-se por proporcionamentos de concreto com menor consumo de cimento e resultados de *fc* (resistência obtida) mais próximos de *fck* (resistência de projeto). Constata-se que as oportunidades de redução de CO_2 dos concretos dosados em centrais dependem de condições e do controle de produção, do proporcionamento das misturas, do tipo e do consumo de cimento, do controle tecnológico e das características dos insumos. Logo, os resultados destes benchmarks permitem avaliar oportunidades de redução de CO_2

por faixa de resistência de concretos do grupo I dosados em centrais, o que possibilita o aprimoramento do proporcionamento das misturas e do controle tecnológico das centrais dosadoras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de 5.387 misturas de concretos dosados em central, com resistências entre 20 MPa e 50 MPa, permitiu estabelecer *benchmarks* por faixa de resistência à compressão aos 28 dias, concluindo-se que:

a) As emissões médias de CO_2 aumentaram de 214,5 $kgCO_2/m^3$ na faixa de 20 a 25 MPa para 270,2 $kgCO_2/m^3$ na faixa de 45 a 50 MPa, comportamento associado à maior demanda por ligantes em concretos de maior desempenho mecânico.

b) Mesmo entre concretos com resistências semelhantes, houve diferenças relevantes de emissão e variações de 130 a 253 kg/m^3 no consumo de cimento, indicando influência das condições de proporcionamento.

c) As emissões mínimas observadas foram significativamente inferiores às respectivas referências BAU, evidenciando margem de melhoria. O potencial de redução de CO_2 variou de 17,3% a 26,9%, com valores mais elevados nas faixas de 20 a 25 MPa e de 45 a 50 MPa.

d) A CDC A apresentou as maiores emissões de CO_2 em todas as faixas de resistência analisadas e, consequentemente, os maiores potenciais de redução.

e) Os *benchmarks* ambientais definidos pelas menores emissões observadas em cada faixa, evidenciam desempenhos já alcançados em condições reais de produção e permitem apontar oportunidades de redução de CO_2.

Como limitação, destaca-se que os *benchmarks* estão associados à base analisada e dependem dos fatores de emissão, dos insumos e das condições produtivas consideradas. Estudos futuros podem incluir outras CDCs, regiões, classes de resistência e análises complementares de custo, durabilidade e otimização multiobjetivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (DTI), no âmbito do projeto INCT-IMCEDEC.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o primeiro autor utilizou a ferramenta de inteligência artificial generativa e de apoio à edição (ChatGPT, da OpenAI) para tradução do resumo, revisão ortográfica e aprimoramento de códigos em Python

empregados no cálculo de parâmetros e na geração de gráficos e tabelas inseridas no texto. Após o uso dessas ferramentas, todo o conteúdo foi revisado, editado e validado pelo autor, que assume integral responsabilidade pela versão final do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] BHUTTA, K. S.; HUQ, F. Benchmarking: best practices: an integrated approach. **Benchmarking: An International Journal**, v. 6, n. 3, p. 254-268, 1999. DOI: https://doi.org/10.1108/14635779910289261.

[2] KAEMMERER, L. **Benchmarking:** achieving the best in class. Golden: National Renewable Energy Laboratory, 1996. Disponível em: https://docs.nrel.gov/docs/legosti/old/21119.pdf. Acesso em: 22 abr. 2026.

[3] VARGAS, J. F. *et al.* Machine-learning-based predictive models for compressive strength, flexural strength, and slump of concrete. **Applied Sciences**, v. 14, n. 11, p. 4426, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/app14114426.

[4] IBGE. **Pesquisa Industrial Anual**: Produto 2023. Tabelas completas (ODS/XLSX). Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9044-pesquisa-industrial-anual-produto.html. Acesso em: 25 fev. 2026.

[5] NGUYEN, T. T. *et al.* Managing and predicting embodied carbon emissions for ready-mix concrete products using model-agnostic meta-learning technique. **Journal of Building Engineering,** v. 111, artigo 113554, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.113554.

[6] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2014.

[7] POSSAN, E. Entre o verde e o cinza: descarbonização do cimento Portland e durabilidade do concreto: uma revisão crítica. **Revista Alconpat**, v. 16, n. 1, 2026.

[8] BARBHUIYA, S. *et al*. Concreto de baixo carbono: avanços, desafios e direções futuras na construção sustentável. **Discover Concrete and Cement**, v. 1, n. 3, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s44416-025-00002-y.

[9] ZAJAC, M. *et al*. CO_2 mineralization methods in cement and concrete industry. **Energies**, v. 15, p. 1-26, 2022.

[10] SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Roadmap tecnológico do cimento**: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. Disponível em: http://snic.org.br/relatorio_roadmap.php. Acesso em: 13 maio 2024.

[11] GCCA. **Global cement and concrete industry announces roadmap to achieve net zero CO_2 emissions by 2050**. London: Global Cement and Concrete Association, 2021. Disponível em: https://gccassociation.org/news/global-cement-and-concrete-industry-announces-roadmap-to-achieve-groundbreaking-net-zero-co2-emissions-by-2050/. Acesso em: 26 fev. 2026.

[12] IEA. **Technology Roadmap:** Low-Carbon Transition in the Cement Industry. Paris: International Energy Agency, 2018. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/cbaa3da1-fd61-4c2a-8719-31538f59b54f/TechnologyRoadmapLowCarbonTransitionintheCementIndustry.pdf. Acesso em: 26 fev. 2026.

[13] KIM, A.; MILLER, S. A. Achieving industrial decarbonization targets: a case study and roadmap for a net-zero cement industry in California. **Environmental Research Letters**, v. 18, n. 10, p. 104019, 2023.

[14] HERMAWAN, H. *et al.* Identification of source factors of carbon dioxide (CO_2) emissions in concreting of reinforced concrete. **Procedia Engineering**, v. 125, p. 692-699, 2015.

[15] WORLD ECONOMIC FORUM. **Cement is a big problem for the environment**. Geneva: World Economic Forum, 2024. Disponível em: https://www.weforum.org/stories/2024/09/cement-production-sustainable-concrete-co2-emissions/. Acesso em: 10 nov. 2025.

[16] SCRIVENER, K. L. *et al*. Eco-efficient cements: potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 2-26, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015.

[17] MILLER, S. A. *et al.* Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050. **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 115-124, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.026.

[18] HABERT, G. *et al.* Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, p. 559-573, 2020.

[19] DAMINELI, B. L. *et al*. Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 8, p. 555-562, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.009.

[20] DAMINELI, B. L. *et al*. Eco-eficiência do uso do cimento em concreto: estado atual, possibilidades e tendências. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54., 2012, Maceió. **Anais [...].** São Paulo: IBRACON, 2012.

[21] SILVA, F. B. *et al*. Variability of environmental impact of ready-mix concrete: a case study for Brazil. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 323, artigo 012132, 2019. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012132.

[22] MILLER, S. A.; HORVATH, A.; MONTEIRO, P. J. M. Readily implementable techniques can cut annual CO_2 emissions from the production of concrete by over 20%. **Environmental Research Letters,** v. 11, n. 7, artigo 074029, 2016

[23] FERNÁNDEZ, D. *et al.* Productivity and energy efficiency assessment of existing industrial gases facilities via data envelopment analysis and the Malmquist index. **Applied Energy**, v. 212, p. 1563-1577, 2018.

[24] PROENÇA, M. P. **CONCRETOS PRODUZIDOS EM CENTRAIS DOSADORAS NO BRASIL:** AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE CARBONO E LIGANTE. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana. 2025.

[25] BINI, T. **Indicadores de ecoeficiência de concretos produzidos em central e em laboratório.** Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2025.

[26] SIDAC. **Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC).** [S. l.]: SIDAC, 2026. Disponível em: https://sidac.org.br. Acesso em: 29 jan. 2026.

[27] ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION. **The International EPD System:** plasticizing admixture for concrete. Estocolmo: International EPD System, 2021. Disponível em: https://www.environdec.com/library. Acesso em: 26 jan. 2026.

[28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.