REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

# AVALIAÇÃO DA PEGADA DE CARBONO DE CIMENTOS TERNÁRIOS OBTIDO A PARTIR DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO E CINZA VOLANTE

# CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT OF TERNARY CEMENTS PRODUCED FROM BLAST FURNACE SLAG AND FLY ASH

# EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE CEMENTOS TERNARIOS OBTENIDOS A PARTIR DE ESCORIA DE ALTO HORNO Y CENIZA VOLANTE

**Kalebe Kelvy Freire Ferreira**
Graduando de Engenharia Civil, Universidade Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: kalebekelvyfreire@gmail.com

**Mário Henrique Moreira de Moraes**
Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: demoraesmario@gmail.com

**Marcelo De Souza Picanço**
Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: marcelosp@ufpa.br

**Aedjota Matos De Jesus**
Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: aedjota.jesus@unir.br

## Resumo

O aumento do uso de concreto na construção civil eleva a demanda por cimento Portland, cuja produção responde por cerca de 8% das emissões globais de CO2. O estudo foi motivado pela necessidade de alternativas ao cimento Portland, surgindo assim o cimento ternário como alternativa, porém com a necessidade de avaliar seu ciclo de vida. Este estudo teve como objetivo investigar o impacto ambiental, em termos de emissões de CO2-eq, da produção de cimentos ternários formulados com escória de alto-forno (EAF) e cinza volante (CV), cujos resultados também foram comparados ao cimento Portland convencional. O presente estudo utilizou dados provenientes de experimentos conduzidos nos laboratórios da Universidade Federal do Pará (UFPA), referentes à produção de cimento ternário a partir da combinação de CV com EAF e Cimento Portland. Para tanto, foram analisadas duas formulações de cimento ternário (CT1 e CT2) com diferentes proporções de substituição do clínquer, respeitando os limites da NBR 16697. Os resultados mostraram que o CT1 emitiu 297,55 kg de $CO_{2\text{-eq}}$, enquanto o CT2 apresentou 217,04 kg

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

de $CO_{2\text{-eq}}$, contra 865 kg de $CO_{2\text{-eq}}$ do cimento Portland tradicional. A produção e o transporte do cimento Portland foram responsáveis por até 87,21% das emissões totais nos cimentos ternários, confirmando que a clinquerização é o principal fator de impacto. Conclui-se que os cimentos ternários, em especial com menor teor de clínquer, apresentam potencial ambientalmente favorável sem comprometer as exigências normativas.

**Palavras-chave:** Cimento Portland; escória de alto forno; cinza volante; cimento ternário; emissão de CO2.

## Abstract

The increased use of concrete in construction is increasing the demand for Portland cement, whose production accounts for approximately 8% of global CO2 emissions. This study was motivated by the need for alternatives to Portland cement, thus leading to the emergence of ternary cement, but with the need to evaluate its life cycle. This study aimed to investigate the environmental impact, in terms of $CO_{2\text{-eq}}$ emissions, of the production of ternary cements formulated with blast furnace slag (EGA) and fly ash (CV), the results of which were also compared to conventional Portland cement. This study used data from experiments conducted in the laboratories of the Federal University of Pará (UFPA), relating to the production of ternary cement from the combination of BFS with BFS and Portland cement. To this end, two ternary cement formulations (CT1 and CT2) with different clinker replacement ratios were analyzed, respecting the limits of NBR 16697. The results showed that CT1 emitted 297.55 kg of $CO_{2\text{-eq}}$, while CT2 emitted 217.04 kg of $CO_{2\text{-eq}}$, compared to 865 kg of CO2-eq for traditional Portland cement. The production and transportation of Portland cement accounted for up to 87.21% of the total emissions in ternary cements, confirming that clinkerization is the main impact factor. It is concluded that ternary cements, especially those with lower clinker content, have environmentally favorable potential without compromising regulatory requirements.

**Keywords:** Portland cement; blast furnace slag; fly ash; ternary cement; CO2 emission.

## Resumen

El aumento del uso de concreto en la construcción civil incrementa la demanda de cemento Pórtland, cuya producción es responsable de aproximadamente el 8% de las emisiones globales de $CO_2$. El estudio fue motivado por la necesidad de alternativas al cemento Pórtland, surgiendo así el cemento ternario como opción, aunque con la necesidad de evaluar su ciclo de vida. El objetivo de esta investigación fue analizar el impacto ambiental, en términos de emisiones de $CO_{2\text{-eq}}$, de la producción de cementos ternarios formulados con escoria de alto horno (EAF) y ceniza volante (CV), cuyos resultados también fueron comparados con el cemento Pórtland convencional. El estudio utilizó datos experimentales obtenidos en los laboratorios de la Universidade Federal do Pará (UFPA), referentes a la producción de cemento ternario a partir de la combinación de CV, EAF y cemento Pórtland, y se analizaron dos formulaciones (CT1 y CT2) con diferentes proporciones de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

sustitución de clínker, respetando los límites establecidos por la NBR 16697. Los resultados indicaron que el CT1 emitió 297,55 kg de $CO_{2}$-eq, mientras que el CT2 registró 217,04 kg de $CO_{2}$-eq, en contraste con los 865 kg de $CO_{2}$-eq del cemento Pórtland tradicional. La producción y el transporte del cemento Pórtland fueron responsables de hasta el 87,21% de las emisiones totales en los cementos ternarios, confirmando que la clinquerización constituye el principal factor de impacto. En conclusión, los cementos ternarios, especialmente aquellos con menor contenido de clínker, presentan un potencial ambientalmente favorable sin comprometer los requisitos normativos.

**Palabras clave**: Cemento Pórtland; Escoria de alto horno; Ceniza volante; Cemento ternario; Emisiones de $CO_{2}$.

## 1. Introdução

O crescente uso do concreto na construção civil eleva a demanda pela produção de cimento Portland, o que resulta em emissões de dióxido de carbono (CO2). A indústria cimenteira é responsável por cerca de 8% das emissões globais de CO2, tendo como principal fator à fabricação do clínquer, devido ao seu potencial de aquecimento global (UWASU; HARA; YABAR, 2014).

Essas emissões incluem gases como dióxido de carbono, óxido nitroso, dióxido de enxofre, amônia entre outros, que são frequentemente expressos em dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-eq}}$) (PETROCHE; RAMIREZ, 2022). Sendo assim, a quantificação de $CO_{2\text{-eq}}$ associada a um produto, processo ou atividade é conhecida como pegada de carbono (PAYÁ et al., 2022).

Diante da necessidade de reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEE) provenientes da indústria cimenteira, o uso de misturas ternárias na produção de cimento tem se destacado como uma alternativa promissora. Esse tipo de sistema cimentício é composto por três materiais distintos e tem como principal objetivo a redução do teor de clínquer (PEREIRA, 2024).

Nesse contexto, utiliza-se de cimentos ternários com perspectiva de diminuir a emissão de GEE por meio da incorporação de resíduos em sua fabricação. Dentre os materiais mais empregados destaca-se a escória de alto-forno e a cinza volante, que, além de contribuírem para o desempenho mecânico e a durabilidade do cimento (PEREIRA, 2024), bem como promovem a redução do

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

consumo de clínquer e, reduz as emissões de GEE (SOUZA et al., 2024).

Todavia, apesar do avanço no uso de cimentos ternários como estratégia para reduzir o consumo de clínquer e as emissões de GEE, ainda há escassez de estudos que avaliem, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o impacto ambiental de sistemas ternários que combinam escória de alto-forno, argila calcinada e fíler, sobretudo no contexto brasileiro (STAFFORD et al., 2016). A ACV permite analisar os impactos ambientais e o consumo de recursos em todas as etapas do ciclo de vida de um produto, desde a extração da matéria-prima, passando pela fabricação e uso, até a gestão dos resíduos gerados (FINNVEDEN et al., 2009).

Nesse sentido, este artigo busca investigar o impacto ambiental, em termos de emissões de $CO_{2\text{-eq}}$, associado à produção de cimento ternário, comparando esses resultados com as emissões geradas pela fabricação do cimento Portland convencional.

## 2. Metodologia

O presente estudo utilizou dados provenientes de experimentos conduzidos nos laboratórios da Universidade Federal do Pará (UFPA), referentes à produção de cimento ternário a partir da combinação de cinza volante (CV) com escória de alto-forno (EAF) e cimento Portland (CPI-40). Os procedimentos metodológicos descrevem as principais técnicas, normas e parâmetros operacionais empregados nos ensaios realizados para a formulação e caracterização do cimento ternário.

DEFINIÇÃO DE OBJETIVO

Este inventário foi elaborado devido à escassez de dados nacionais relativos à produção de agregados alternativos, especialmente no que se refere à produção de cimentos ternários. Neste sentido, os objetivos deste inventário são: i) realizar o inventário do ciclo de vida para a produção de cimento ternário; ii) quantificar os benefícios ambientais obtidos com a produção do cimento ternário e (iii) obter indicadores primários das categorias de impacto ambiental, com foco

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

nas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e nos efeitos sobre a qualidade do ar e da água, com base na categoria de acidificação (ACI).

DEFINIÇÃO DO ESCOPO

O escopo da pesquisa está centrado na região Norte do Brasil, com enfoque nos resíduos gerados por indústrias instaladas no estado do Pará. O estudo é de natureza experimental e exploratória, com abordagem quantitativa, e foi conduzido no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará (UFPA), em Belém. Na tabela 1 tem-se as dosagens dos cimentos ternários analisados neste estudo, obtidos a partir de cimento CPI-40, escória de alto-forno e cinza volante.

Tabela 1 - Composição em massas dos componentes utilizados para dosagem dos cimentos ternários utilizados nesse estudo.

| **Tipos de cimentos ternários** | **CT1** | **CT2** |
|---|---|---|
| Cimento CPI-40 (Kg) | 300 | 200 |
| Escória de alto-forno (Kg) | 300 | 400 |
| Cinza volante (Kg) | 400 | 400 |

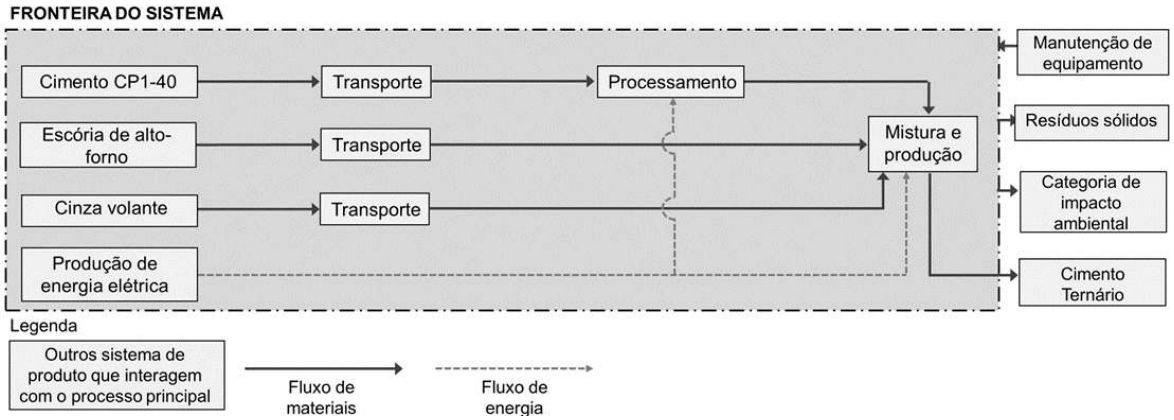
Fonte: Adaptado de Pereira, 2024.

A Figura 1 ilustra o sistema de produto, com seus respectivos processos e fluxos elementares, conforme as etapas definidas no objetivo deste ICV. Esse sistema de produto foi comparado à produção e ao transporte de escória de alto forno provenientes de Marabá/PA (EAF) e cinza volante de Barcarena/PA (CV), ambos destinados ao campus da Universidade Federal do Pará, em Belém/PA.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

Figura 1 - Definição do sistema de produto para produção de cimentos ternários.




Fonte: Autores, 2025.

Ressalta-se que não foram incluídas nos sistemas de produto as fases de produção de concreto, obra, uso, manutenção e demolição. Portanto, não foi considerado todo o ciclo de vida do produto, uma vez que este estudo não se caracteriza como uma ACV. Trata-se, sim, de uma avaliação de desempenho ambiental do produto, mais especificamente, de um ICV de produção de agregado graúdo sintético. Assim, a categoria de desempenho ambiental analisada corresponde às emissões de gases de efeito estufa, expressas em $CO_{2\text{-}eq}$, considerando os limites definidos pela fronteira do sistema do produto.

REQUISITOS DOS DADOS

Foram considerados dados primários, referentes às distâncias de transporte dos insumos e à potência nominal dos equipamentos empregados, bem como dados secundários, obtidos a partir da base de dados Ecoinvent versão 3.8 (2021) e de literatura técnica nacional. Para tanto, os dados primários de entrada considerados nos processos de produção e transporte de insumos utilizados para produção dos cimentos ternários foram:

- Distância de transporte dos insumos cimento CPI-40 (191 Km), EAF (554 Km) e CV (112 Km);
- Potência e tempos dos equipamentos empregados no preparo dos cimentos ternários (estufa, moinho de bolas e argamassadeira).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

Com base na dosagem dos cimentos ternários e nos dados primários e secundários, foram realizados os cálculos para determinar o impacto ambiental, por meio da ferramenta Planilhas Google. As análises consideraram a unidade funcional e as fronteiras do sistema estabelecidas neste estudo.

## 3. Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta o resumo das emissões de $CO_{2\text{-eq}}$ referentes à produção do cimento ternário 1, composto por escória de alto-forno, cinza volante e cimento Portland. Verifica-se que a emissão total foi de 297,55 kg de $CO_{2\text{-eq}}$ para produção de 1 tonelada de cimento ternário.

Tabela 2 - Resumo da memória de cálculo da emissão de $CO_{2\text{-eq}}$ para a produção de uma tonelada do Cimento Ternário 1.

| **Processos envolvidos na emissão de $CO_{2\text{-eq}}$** | **Quantidade (kg)** | **Quantidade (%)** |
|---|---|---|
| Produção e transporte de Cimento Portland CPI-40 | 259,50 | 87,21 |
| Coleta e transporte da cinza volante | 4,84 | 1,63 |
| Coleta e transporte de escória de alto forno | 17,95 | 6,03 |
| Consumo de energia elétrica | 15,26 | 5,13 |
| Total de emissão de $CO_{2\text{-eq}}$ | 297,55 | 100 |

Fonte: Autores, 2025.

Os resultados mostram que a produção e o transporte do cimento Portland são responsáveis por 87,21% de todas as emissões de $CO_{2\text{-eq}}$ na fabricação do cimento ternário. Esse resultado está de acordo com o que foi apontado por Souza et al. (2024), que destacam que, dentro desse processo, a produção de clínquer é o principal fator que impacta negativamente o meio ambiente durante a fabricação do cimento ternário.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

O estudo de Souza et al. (2024) aponta que, para produzir 1 tonelada do cimento LC3, foram emitidos 537,5 kg de $CO_{2\text{-eq}}$. Ao comparar com os resultados obtidos por essa pesquisa, observa-se que a produção do cimento ternário de Souza et al. (2024) foi 44,64% maior que o encontrado por este estudo. Essa diferença ocorre devido a dosagem adotada, enquanto neste estudo analisou-se um cimento ternário com 30% de cimento Portland, Souza et al. (2024) utilizou 50% do mesmo componente.

A Tabela 3 resume as emissões de $CO_{2\text{-eq}}$ associadas à produção do cimento ternário 2, no qual se verifica que a emissão total foi de 217,04 kg de $CO_{2\text{-eq}}$ para a fabricação de 1 tonelada de cimento ternário. O qual apresentou uma baixa na quantidade de $CO_{2\text{-eq}}$ em relação ao cimento ternário 1, essa diferença de emissão se deve a quantidade de cimento Portland utilizado em cada mistura conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 3 - Resumo da memória de cálculo da emissão de $CO_{2\text{-eq}}$ para a produção de uma tonelada do Cimento Ternário 2.

| **Processos envolvidos na emissão de $CO_{2\text{-eq}}$** | **Quantidade (kg)** | **Quantidade (%)** |
|---|---|---|
| Produção e transporte de Cimento Portland CPI-40 | 173,00 | 79,71 |
| Coleta e transporte da cinza volante | 4,84 | 2,23 |
| Coleta e transporte de escória de alto forno | 23,93 | 11,03 |
| Consumo de energia elétrica | 15,26 | 7,03 |
| Total de emissão de $CO_{2\text{-eq}}$ | 217,04 | 100 |

Fonte: Autores, 2025.

Observa-se que, mais uma vez, o processo de produção e transporte do cimento Portland foi responsável por 79,71% de todas as emissões de $CO_{2\text{-eq}}$ na produção do cimento ternário. Em comparação, o transporte de CV e EAF apresentou contribuições menores, de apenas 2,23% e 11,03%, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Stafford et al. (2016), que também destacam a relevância do processo de produção e transporte do cimento Portland nas emissões totais. No estudo desses autores, a etapa de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

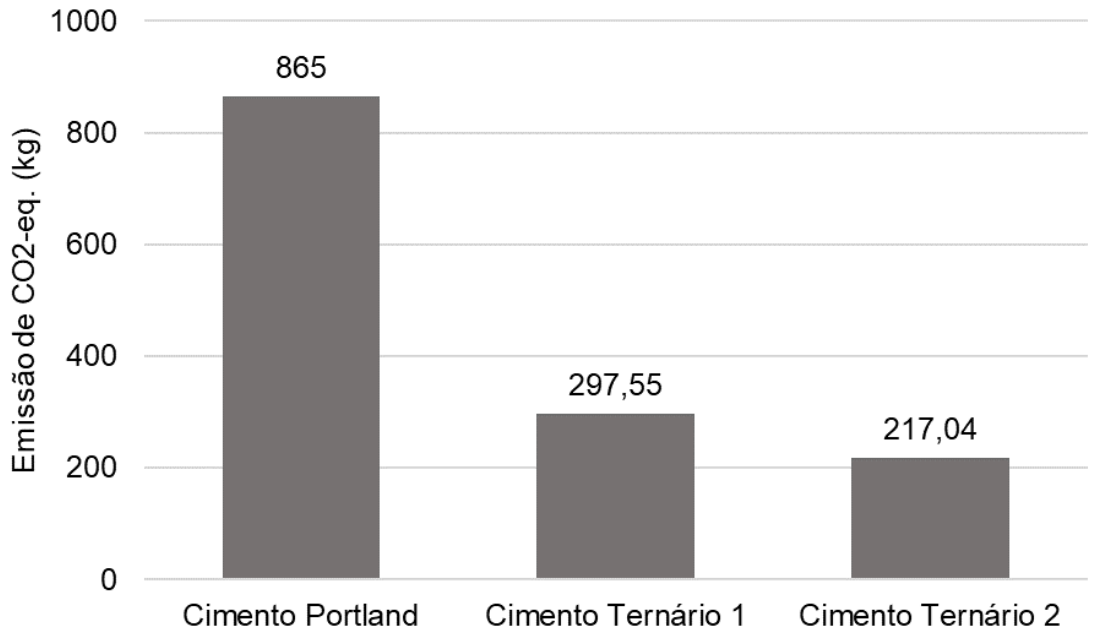
**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

clinquerização e transporte representou cerca de 62,41% do total de $CO_{2\text{-eq}}$.

Assim como observado por esse estudo, que identificou o processo de produção e transporte do cimento Portland como o principal responsável pelas emissões de $CO_{2\text{-eq}}$ responsável por 79,71% do total emitido, Radwan et al. (2022) também destacam a relevância dessa etapa. Em seu estudo, a clinquerização respondeu por 54,06% das emissões de $CO_{2\text{-eq}}$, enquanto a CV e a EAF contribuíram com apenas 0,31% e 4,38%, respectivamente. Esses resultados reforçam que a produção de clínquer é o fator com maior carga ambiental na fabricação de cimentos ternários.

A Figura 2 apresenta um gráfico comparativo das emissões de $CO_{2\text{-eq}}$ para a produção de 1 tonelada dos cimentos ternários 1 e 2, em relação ao cimento Portland tradicional. Observa-se que a produção de 1 tonelada de cimento Portland tradicional apresenta a maior emissão de $CO_{2\text{-eq}}$ (865 kg). Resultado semelhante foi encontrado por Malacarne et al. (2021), que apontam cerca de 912 kg de $CO_{2\text{-eq}}$ para a produção da mesma quantidade de cimento Portland.

Figura 2 - Gráfico da pegada de carbono para a produção de uma tonelada de diferentes tipos de cimento.




Fonte: Autores, 2025.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

Já o cimento ternário 2 apresentou o menor impacto ambiental entre as misturas analisadas, emitindo 217,04 kg de $CO_{2\text{-eq}}$ para a produção de 1 tonelada, 647,96 kg de $CO_{2\text{-eq}}$ a menos em comparação ao cimento Portland tradicional. Resultado semelhante foi observado por Souza et al. (2024), onde reportaram, que para a produção de 1 tonelada do cimento ternário LC3, foram emitidos 537,5 kg de $CO_{2\text{-eq}}$, representando 327,5 kg de $CO_{2\text{-eq}}$ a menos em relação ao cimento Portland convencional.

## 4. Conclusão

A pesquisa evidenciou a viabilidade ambiental da substituição parcial de cimento Portland por escória de alto-forno e cinza volante na formulação de cimentos ternários, o que visou reduzir as emissões de gases de efeito estufa associadas à indústria cimenteira. Para isso, realizou-se um ICV dos cimentos ternários a partir da categoria de impacto ambiental de emissões de GEE.

Os resultados obtidos evidenciam que a produção de cimento ternário, em especial com menor teor de cimento Portland (cimento ternário 2), apresenta uma redução de 74,91% nas emissões de $CO_{2\text{-eq}}$, quando comparada ao cimento Portland convencional. Isso ocorre porque para produzir 1 tonelada de cimento ternário 2, foram emitidos 217,04 kg de $CO_{2\text{-eq}}$ contra 865 kg no cimento Portland.

A análise também demonstrou que o processo de produção e transporte do cimento Portland é o principal responsável pelo impacto ambiental, visto que correspondeu por até 87,21% das emissões nos cenários avaliados. Esses resultados estão de acordo com estudos encontrados na literatura, o que reforça que a clinquerização é a etapa de maior carga ambiental, enquanto a utilização de adições minerais, como CV e EAF, contribui para reduzir a pegada de carbono do produto final.

Dessa forma, os resultados corroboram o potencial ambiental dos cimentos ternários, em especial quando formulados com maiores proporções de substitutos ao cimento Portland convencional. Para pesquisas futuras, recomenda-se a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

elaboração de um ICV que contemple, além das emissões de GEE, outras categorias de impacto ambiental. Além disso, se faz necessário a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida completa, abrangendo todas as etapas do "berço ao túmulo", de forma a proporcionar uma análise mais aplicada do desempenho ambiental dos cimentos ternários

**Referências**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portand - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

FINNVEDEN, Göran; HAUSCHILD, Michael Z.; EKVALL, Tomas; GUINÉE, Jeroen; HEIJUNGS, Reinout; HELLWEG, Stefanie; KOEHLER, Annette; PENNINGTON, David; SUH, Sangwon. Recent developments in life cycle assessment. **Journal of environmental management**, v. 91, n. 1, p. 1-21, 2009.

PAYÁ, Jordi; MONZO, Jose; BORRACHERO, Victoria; SORIANO, Lourdes; TASHIMA, Mauro M. Ativadores alternativos para cimentos ativados por alcalinos. **Revista ALCONPAT**, v. 12, n. 1, p. 16-31, 2022.

PEREIRA, Mike S. **Desenvolvimento de proporções ternárias com resíduos industriais da amazônia para produção de cimento**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2024.

PETROCHE, Daniel M.; RAMIREZ, Angel D. The environmental profile of clinker, cement, and concrete: a life cycle perspective study based on Ecuadorian data. **Buildings**, v. 12, n. 3, p. 311, 2022.

RADWAN, Mohammed K. H.; ONN, Chiu Chuen; MO, Kim Hung; YAP, Soon Poh; CHIN, Ren Jie; LAI, Sai Hin. Sustainable ternary cement blends with high-volume ground granulated blast furnace slag–fly ash. **Environment, development and sustainability**, v. 24, n. 4, p. 4751-4785, 2022.

SOUZA, Sheila Miranda C.; NUNES, Kaio Sales de T.; MEDEIROS, Susane Eterna L.; MEDEIROS, Diego Lima; SANTOS, Tiago Assunção. Desempenho ambiental da produção dos cimentos ternários à base de argila calcinada e resíduos de mármore. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 20, p. 1-12, 2024.

STAFFORD, Fernanda N; RAUPP-PEREIRA, Fabiano; LABRINCHA, João A; HOTZA, Dachamir. Life cycle assessment of the production of cement: A Brazilian case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 1293-1299, 2016.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 01/12/2025 - **Accepted:** 10/12/2025
**Vol**: 21.03
**DOI**: 10.61164/2n5cpe75
**Pages:** 1-12

UWASU, Michinori; HARA, Keishiro; YABAR, Helmut. World cement production and environmental implications. **Environmental Development**, v. 10, p. 36-47, 2014.