

UNIGUAÇU – UNIÃO DE ENSINO SUPERIOR DO IGUAÇU LTDA
FACULDADE UNIGUAÇU
ENGENHARIA CIVIL
PROJETO FINAL DE CURSO II

JACIR VON DENTZ

**Créditos de Carbono na Construção Civil: Uma Análise sobre
redução de emissões do GEE e Sustentabilidade**

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU - PR

2025

JACIR VON DENTZ

Créditos de Carbono na Construção Civil: Uma Análise sobre redução de emissões do GEE e Sustentabilidade

Projeto de pesquisa apresentado como requisito para
aprovação na disciplina de Projeto Final de Curso II do
curso de Engenharia Civil da Faculdade UNIGUAÇU.
Orientador(a): Me. Jaqueline Tomasini Orth

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU - PR

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, p
fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es)
que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos
elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são
cobertos pela licença.

TERMO DE APROVAÇÃO

JACIR VON DENTZ

Créditos de Carbono na Construção Civil: Uma Análise sobre redução de emissões do GEE e Sustentabilidade

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil apresentado, sob a orientação da professora Me. Jaqueline Tomasini Orth, aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel no curso de Engenharia Civil da Faculdade UNIGUAÇU, pela seguinte banca examinadora:

Professora Me. Jaqueline Tomasini Orth
Faculdade UNIGUAÇU

Professora Me. Meire Claudia Barbosa
Faculdade UNIGUAÇU

Professor Me. Gabriel Matsuda
Faculdade UNIGUAÇU

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU, 10 DE NOVEMBRO DE 2025.

A folha devidamente assinada está sob guarda da secretaria do curso.

RESUMO

A construção civil desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social de um país, impulsionando a infraestrutura, a geração de empregos e o crescimento urbano. Porém, esse setor também é um dos principais responsáveis pelos impactos ambientais, principalmente os gases de efeito estufa. Diante desse desafio, organizações públicas e privadas têm estudado e implementado diferentes estratégias para reduzir as emissões dos gases neste setor. Este estudo tem como objetivo analisar a implementação dos créditos de carbono no setor da construção civil, destacando sua relevância na redução das emissões de CO₂ e na promoção de práticas construtivas mais sustentáveis. Após uma análise comparativa de bibliografia do aço, do cimento e blocos e telhas cerâmicos foi possível verificar que muitos processos ainda existem um alto índice de emissão de CO₂ mas que em contrapartida existem estudos e alguns materiais que usam em sua composição materiais recicláveis, que ajudam a diminuir os impactos ambientais gerados e funcionam como compensação de carbono.

Palavras-chave: Inovações, compensação, carbono.

ABSTRACT

The construction industry plays a fundamental role in a country's economic and social development, driving infrastructure, job creation, and urban growth. However, this sector is also one of the main contributors to environmental impacts, particularly greenhouse gases. Faced with this challenge, public and private organizations have studied and implemented different strategies to reduce greenhouse gas emissions in this sector. This study aims to analyze the implementation of carbon credits in the construction industry, highlighting their relevance in reducing CO₂ emissions and promoting more sustainable construction practices. After a comparative analysis of literature on steel, cement, and ceramic blocks and tiles, it was possible to verify that many processes still have high CO₂ emissions. However, there are studies and some materials that use recyclable materials in their composition, which help reduce the environmental impacts generated and function as carbon offsets.

Keywords: Innovations, offsetting, carbon.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 JUSTIFICATIVA	12
3 OBJETIVOS	13
3.1 OBJETIVO GERAL	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4 REVISÃO DE LITERATURA	14
4.1 PANORAMA GERAL	14
4.2 CONSTRUÇÃO CIVIL E SEUS IMPACTOS.....	15
4.3 CRÉDITOS DE CARBONO	17
4.3.1 Créditos de carbono na construção civil	20
4.4 INOVAÇÕES SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	21
5 METODOLOGIA	23
5.1 ETAPA 01: ANÁLISE COMPARATIVA	23
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6.1 ANÁLISE COMPARATIVA	24
6.2 INOVAÇÕES	28
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social de um país, impulsionando a infraestrutura, a geração de empregos e o crescimento urbano. No entanto, esse setor também é um dos principais responsáveis pelos impactos ambientais, especialmente no que se refere às emissões de gases de efeito estufa (GEE). A produção de materiais essenciais, como cimento e aço, envolvem processos industriais com alto consumo de energia, contribuindo significativamente para a liberação de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Além disso, a rápida urbanização e o aumento da demanda por novas edificações e obras de infraestrutura também contribuem para o aumento das emissões, ampliando a urgência pela busca por soluções sustentáveis (Gomes *et al.*, 2021).

Diante desse desafio, organizações públicas e privadas têm estudado e implementado diferentes estratégias para reduzir as emissões dos gases neste setor. Nesse contexto, os créditos de carbono surgem como uma ferramenta estratégica para promover a sustentabilidade na construção civil. Esse mecanismo possibilita que empresas e projetos que adotam práticas ambientalmente responsáveis, como o uso de materiais de baixo impacto, a otimização de processos construtivos e a incorporação de fontes de energia renovável, gerem certificados que podem ser comercializados para compensar emissões de outras atividades poluentes. Dessa forma, a adoção desse sistema pode gerar vantagens econômicas e incentivar a transição para uma economia mais sustentável (Silva, 2024).

Este estudo tem como objetivo analisar a implementação dos créditos de carbono no setor da construção civil, destacando sua relevância na redução das emissões de CO₂ e na promoção de práticas construtivas mais sustentáveis.

Serão explorados os conceitos fundamentais desse mecanismo, os desafios e oportunidades para sua adoção, bem como os impactos ambientais e econômicos que ele pode proporcionar. Com isso, busca-se compreender como a regulamentação e o uso adequado dos créditos de carbono podem transformar a construção civil em um setor mais alinhado às diretrizes de desenvolvimento sustentável, equilibrando progresso econômico e a responsabilidade ambiental.

2 JUSTIFICATIVA

Os créditos de carbono surgiram como uma forma de premiação para que países e empresas sejam incentivados a reduzir suas emissões de gases do efeito estufa (GEE) contribuindo para a minimização do CO₂ na atmosfera. Com isso, as empresas se organizam para que sejam desenvolvidos sistemas mais sustentáveis e inovações tecnológicas (Oliveira; Santos, 2016).

Ademais, a implementação de créditos de carbono está em concordância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ODS,s, criado em 2015 pela Organização das Nações Unidas (ONU) que visam principalmente minimizar os impactos ambientais e climáticos com metas a serem cumpridas até o ano de 2030 (ONU, 2022).

O objetivo desta pesquisa é fundamentado na importância em encontrar meios de implementar práticas sustentáveis no setor da construção civil e relaciona-las com o mercado de créditos de carbono.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar como funciona o mercado de créditos de carbono, relacionando-o com o setor da construção civil e investigar meios para possíveis implementações de práticas sustentáveis no setor.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Entender o impacto ambiental da construção civil, identificando as principais fontes de emissões de carbono, por meio do sistema SIDAC.
- Realizar uma análise comparativa dos principais materiais utilizados na construção civil, quanto a sua emissão de CO₂ e impactos gerados.
- Avaliar os desafios e oportunidades envolvidas na implementação dos créditos de carbono na construção civil.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 PANORAMA GERAL

A construção civil é um dos setores que mais contribui para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), sendo responsável, no ano de 2019, por aproximadamente 38% do total das emissões. Apenas a fabricação de cimento é responsável por cerca de 8% dessas emissões (UNEP, 2020).

Estados como São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia, lideram a lista de estados que mais geram resíduos de construção no país, e no estado de São Paulo chegando a emitir 23,1 milhões de toneladas por ano (Paulino *et al.*, 2023).

Além disso, a geração de resíduos sólidos, o elevado consumo de água e energia e a utilização de materiais químicos desde as fases iniciais das construções, contribuem para o aumento da poluição, como por exemplo, a contaminação do solo, o desperdício de materiais e a destinação incorreta. Com isso, reforça-se a necessidade de alternativas mais sustentáveis para mitigar esses impactos (Valporto; Azevedo, 2016).

Por conta disso, a Resolução N° 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabeleceu que os responsáveis pelas construções, sejam elas privadas ou públicas, serão responsáveis por utilizar formas alternativas para reduzir a produção de resíduos, promover a reciclagem e o descarte adequado dos materiais (Gomes *et al.*, 2021)

Essa resolução ainda classificou os resíduos em quatro categorias, o que ajudou na destinação desses materiais, segundo a Resolução nº 307 do CONAMA, de 2002, os materiais Classe A, são aqueles materiais reutilizáveis ou recicláveis como agregados, concreto, argamassa, tijolos e solos, os materiais Classe B, são aqueles materiais recicláveis para outros usos, como plásticos, papéis, metais e vidros, os materiais Classe C, são aqueles materiais sem viabilidade técnica ou econômica de reciclagem, como os resíduos de gesso e os materiais Classe D são aqueles resíduos perigosos ou contaminados, como tintas, solventes e materiais de demolição, como por exemplo, o amianto.

4.2 CONSTRUÇÃO CIVIL E SEUS IMPACTOS

A construção civil é um dos pilares do desenvolvimento humano. Esse setor abrange as atividades relacionadas ao planejamento, execução e manutenção de edificações, rodovias, pontes, barragens, redes de saneamento, entre outras obras essenciais para a organização e funcionamento do espaço urbano e rural (Nascimento; Moraes; Lopes, 2022).

Historicamente, a construção civil evoluiu de forma substancial, acompanhando o desenvolvimento das civilizações e refletindo os avanços tecnológicos de cada época. Desde as primeiras estruturas rudimentares erguidas por sociedades primitivas até as construções altamente sofisticadas e sustentáveis da atualidade, a engenharia e a arquitetura têm sido impulsionadas pela necessidade de adaptação às condições ambientais, ao crescimento populacional e às demandas econômicas (Gomes *et al.*, 2021).

Segundo Giaquinto (2020), a Revolução Industrial foi um marco para o setor, pois possibilitou a utilização de novos materiais e técnicas construtivas que transformaram as cidades e ampliaram a capacidade produtiva. Com o aumento significativo da população, e conseqüentemente, das demandas no setor da construção civil, evidencia-se a necessidade de equilibrar crescimento e responsabilidade ambiental.

O impacto da construção civil no desenvolvimento econômico e social é inquestionável. O setor representa uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) do país, sendo um dos principais responsáveis pelo avanço da infraestrutura, geração de empregos diretos, aproximadamente 7,5 milhões, e empregos indiretos, cerca de 1,2 milhão, além disso contribui para o desenvolvimento social do país. Entretanto, essa relevância também traz desafios, como a necessidade de adoção de práticas sustentáveis, a gestão eficiente dos recursos naturais e a redução dos impactos ambientais decorrentes da atividade construtiva (Simão *et al.*, 2019).

O impacto ambiental do crescimento da construção civil é uma preocupação crescente, sobretudo em relação à emissão de gases de efeito estufa, ao consumo excessivo de água e energia e à produção de resíduos sólidos. A urbanização acelerada tem pressionado a infraestrutura das cidades, resultando em problemas

como congestionamento urbano e o aumento da impermeabilização do solo (Nascimento; Moraes; Lopes, 2022).

Todavia, esses impactos ambientais, não ocorrem somente durante a execução das obras, e sim, bem antes, com a fabricação dos componentes e materiais que serão utilizados, um exemplo muito comum é a fabricação do cimento, onde existe a extração das rochas de calcário e da argila (matéria-prima base), para posterior processamento. Esse processo de mineração possui altos custos e afeta diretamente os recursos naturais, outro exemplo importante é a madeira, que embora considerada um recurso renovável, pode levar ao desmatamento descontrolado se não for extraída de forma sustentável, comprometendo ecossistemas e a biodiversidade (Laruccia, 2014).

Além disso, a produção de outros materiais que também fazem parte dos processos construtivos, normalmente exigem a extração intensiva de suas matérias-primas, impactando diretamente o meio ambiente (Nascimento; Moraes; Lopes, 2022).

Além do alto consumo de recursos naturais, a indústria de materiais de construção é uma das maiores emissoras de gases de efeito estufa (GEE). A fabricação do cimento, por meio do processo de calcinação, libera grandes quantidades de dióxido de carbono. O aço, durante sua produção em siderúrgicas, também gera emissões expressivas de CO₂, além de outros poluentes atmosféricos, como óxidos de enxofre e material particulado (Simão *et al.*, 2019).

Outrossim, a grande quantidade de resíduos sólidos provenientes de demolições, reformas e processos construtivos representa um dos principais desafios para a sustentabilidade. Concreto, tijolos, metais, plásticos e madeira descartados inadequadamente resultam em acúmulo de entulho, ocupação desordenada de aterros sanitários e degradação de áreas naturais (Gomes *et al.*, 2021).

O consumo considerável de energia e água é mais um fator de grande relevância ambiental. A produção de materiais, o funcionamento de máquinas pesadas e a operação de canteiros de obras exigem altos volumes de água, eletricidade e combustíveis fósseis, contribuindo para o aumento das emissões de gases poluentes. Em muitas regiões, o consumo excessivo pode comprometer o abastecimento hídrico local, tornando urgente a implementação de sistemas de reaproveitamento e o uso de tecnologias mais eficientes para reduzir o desperdício (Laruccia, 2014).

A poluição ambiental decorrente da atividade construtiva também merece destaque, pois afeta o solo, a água e o ar. A contaminação do solo ocorre por meio do descarte inadequado de resíduos químicos, como tintas, solventes e óleos industriais, comprometendo sua fertilidade e alterando ecossistemas naturais. O impacto sobre os recursos hídricos decorre tanto do consumo excessivo quanto da contaminação de rios e lençóis freáticos por resíduos de construção e escoamento de produtos. No que se refere à qualidade do ar, a liberação de poeira, material particulado e gases poluentes afeta a saúde humana e contribui para fenômenos como a inversão térmica e a intensificação do efeito estufa (Gomes *et al.*, 2021).

Diante da magnitude desses impactos, torna-se imperativo adotar medidas mitigadoras que promovam práticas construtivas mais sustentáveis. A reutilização de materiais, a implementação de certificações ambientais, o uso de fontes renováveis de energia e a aplicação de técnicas inovadoras na construção são algumas das estratégias que podem contribuir para a pegada ecológica do setor (Simão *et al.*, 2019).

4.3 CRÉDITOS DE CARBONO

No contexto das mudanças climáticas, o papel dos créditos de carbono é amplo, haja vista que eles proporcionam uma forma de “compensar” as emissões de CO₂, incentivando investimentos em soluções que resultem em benefícios ambientais, como a plantação de árvores, a implementação de tecnologias limpas e o aprimoramento de processos industriais. Ao possibilitar que empresas e países adquiram créditos de carbono para compensar suas emissões, o mecanismo promove um modelo de desenvolvimento que balanceia o progresso econômico com a responsabilidade ambiental. Dessa forma, os créditos de carbono desempenham um papel fundamental na estratégia global para reduzir as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, contribuindo para mitigar as consequências adversas das mudanças climáticas (Ribeiro, 2005).

O marco inicial para a criação desse sistema aconteceu na Convenção: Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), em 1997, onde foi criado o Protocolo de Kyoto, que tinha por objetivo buscar a estabilização na emissão dos gases do efeito estufa para combater o aquecimento global (Andrade; Costa, 2008).

Segundo Andrade; Costa (2008), por meio do protocolo de Kyoto, os países poderiam utilizar mecanismos flexíveis, como por exemplo, o comércio de emissões, a organização de projetos de redução de emissões em outros países e o uso de tecnologias de captura e armazenamento de carbono. Além do dióxido de carbono, ele abrangia outros gases, como o metano, o óxido nitroso, o hexafluoreto de enxofre, o hidrofluorcarbonos e o perfluorcarbonos.

O Protocolo de Kyoto seguiu ativo até o ano de 2020, quando foi substituído pelo Acordo de Paris, que trouxe atualizações sobre o tema e adesão de um número maior de países (ONU, 2024).

A partir disso, um dos mecanismos desenvolvidos para alcançar as metas estabelecidas pelo acordo, foi a criação dos créditos de carbono.

Os créditos de carbono representam um passo importante na busca por um futuro mais sustentável. Eles são considerados uma ferramenta econômica para lidar com o problema das mudanças climáticas, incentivando a redução de emissões e permitindo que empresas e países alcancem suas metas de sustentabilidade (Kinea, 2022).

Conforme Ribeiro (2005), o funcionamento do mercado de créditos de carbono é simples: um crédito de carbono equivale a uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂), ou seja, quantos mais créditos de carbono um país ou empresa produz, menos toneladas de gases do efeito estufa são emitidos na atmosfera, essa equivalência pode ser melhor visualizada na Figura 1.

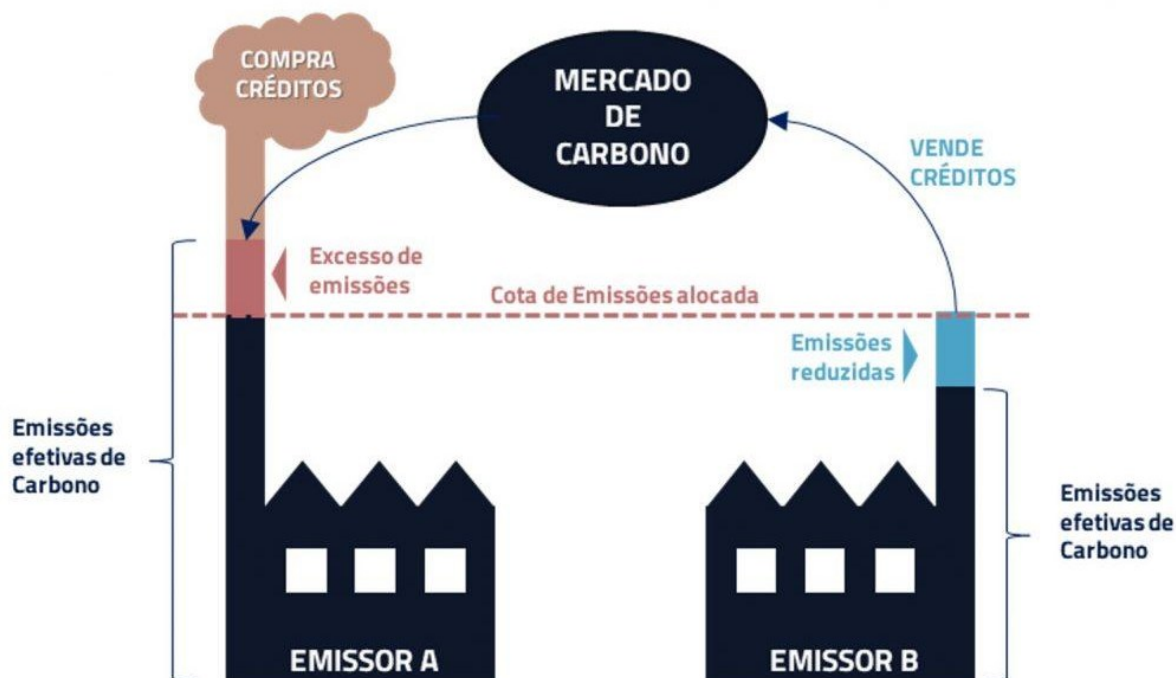
Figura 1: Equivalência de créditos de carbono.



Fonte: SUZANO, 2023.

As empresas podem gerar esses créditos de carbono por meio de atividades como, iniciativas de energia limpa, o gerenciamento de energia, administração da terra, florestamento e reflorestamento. As empresas ou até mesmo países que através de suas atividades removeram mais gases do efeito estufa do que emitiram durante suas operações, podem vender seus créditos para aqueles que não atingiram a meta, ajudando a compensar parte das emissões de carbono do planeta, os valores giram em torno de U\$ 4 a U\$6, a Figura 2 demonstra um esquema de operação (Suzano, 2023).

Figura 2: Mercado de créditos de carbono.



Fonte: KINEA, 2022.

Segundo Ribeiro (2005), existem dois principais tipos de créditos de carbono, sendo eles, a certificação de redução de emissões (CER), onde são emitidos e supervisionados por fundos institucionais, com o principal objetivo de compensar o impacto ambiental de determinados projetos, como usinas de energia, esta certificação precisa estar de acordo com o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris e a redução de emissões voluntária (VER), onde esses créditos de carbono são negociados em mercados voluntários livres de regulamentação de terceiros.

Contudo, essas operações apresentam vantagens e desvantagens, segundo Andrade; Costa (2008), as principais vantagens são, os incentivos as empresas e organizações na redução dos gases do efeito estufa e a facilidade para os

investimentos em energia renovável, já suas desvantagens envolvem principalmente o custo e complexidade no processo de implementação e gerenciamento do programa.

4.3.1 Créditos de carbono na construção civil

A gestão de resíduos na construção civil vem desempenhando, com o passar dos anos, um papel fundamental na busca por práticas sustentáveis e na tentativa de diminuir os impactos ambientais que são causados pelos processos existentes nesse setor (Carvalho, 2023).

Segundo a APC (2024), uma das estratégias que vem ganhando destaque como estratégia de sustentabilidade nos projetos de construção civil é a compensação de carbono, pois no setor da construção civil as emissões de carbono são expressivas em quase todos os processos envolvidos, como por exemplo, a utilização de equipamentos pesados movidos a diesel, como escavadeiras, guindastes e caminhões, e também, a produção de materiais como cimento e aço que liberam grandes quantidade de CO₂.

Ainda segundo o APC (2024), para que seja possível aplicar a compensação de carbono no setor da construção civil, faz-se necessário realizar a coleta de dados operacionais, ou seja, dentro da construção civil existem inúmeros pontos, equipamento e processos com diferentes níveis de emissão, é importante entender todos esses detalhes para que seja realizada a coleta de dados de forma precisa e correta, porém, devido a tantas fontes, o desenvolvimento e conclusão da coleta de dados pode se tornar complexa e demorada.

De acordo com Carvalho (2023), com essa contabilização feita, as empresas responsáveis podem iniciar programas que gerem créditos de carbono, a fim de compensar os impactos ambientais gerados pelas obras, um exemplo simples e prático que pode ser implementado é o reflorestamento, criação de áreas verdes ou geração de energia renovável, a Figura 3 exemplifica a compensação de carbono.

Figura 3: Exemplo de compensação para créditos de carbono.



Fonte: APC, (2024).

Segundo dados da Revista Valor Econômico (2022), no ano de 2021, as incorporadoras e construtoras movimentaram no mercado mundial cerca de U\$ 1 bilhão, destes aproximadamente U\$ 25 milhões em créditos de carbono apenas no Brasil. Mesmo que ainda não haja uma legislação definida e que determine metas, o setor de construção civil tem antecipado seus passos, movimentando as atividades e ajudando a mitigar os impactos ambientais causados.

Ainda segundo a revista, apenas no ano de 2021 a Incorporadora Even, conseguiu movimentar, em créditos de carbono, aproximadamente 17,2 mil toneladas de CO₂, associadas ao transporte de materiais, as construções e as manutenções de seus edifícios, e, portanto, registrando a marca de 100% de compensação de carbono em suas atividades.

4.4 INOVAÇÕES SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Conforme a resolução do CONAMA n° 307 (2002), os resíduos de construção civil são classificados em 4 grupos principais, a fim de facilitar a destinação correta e a reciclagem desses resíduos.

Além da importância de criar um planejamento de obras que minimizem os impactos e não gerem resíduos de forma descontrolada, alguns meios são implementados como, por exemplo, a utilização dos resíduos na própria obra, como

entulho reciclado para concretos não estruturais, a doação de materiais que se encontram em bom estado e até mesmo a destinação desses resíduos para usinas de reciclagem, que tornam esses materiais agregados reciclados, como areia, sendo reintroduzidos nos ciclos produtivos (Caetano; Eugénio, 2015).

Além de todos esses pontos, uma inovação vem sendo estudada nos últimos anos, sendo ele, o potencial energético dos resíduos de construção civil em biodigestores. Borges e Ferreira (2018), afirmaram que além dos resíduos orgânicos que são gerados no decorrer das obras, os resíduos de construção civil promovem à liberação de matéria orgânica, e por meio dessa liberação é possível alternativa viável, com a finalidade de promover práticas mais sustentáveis, transformando a matéria orgânica industrial em energia e, conseqüentemente, produzindo o chamado biogás.

A produção e a utilização do biogás que é proveniente de materiais da construção são revertidas em benefícios ao meio ambiente, ajudando a diminuir os impactos ambientais causados pela construção civil, além de poder baratear o uso da energia no setor, e além disso, o uso do biogás favorece a diminuição de emissão de agentes causadores do efeito estufa, contribuindo, portanto, com o desenvolvimento sustentável e a compensação de carbono (Borges; Ferreira, 2018).

5 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos, esta pesquisa foi dividida em duas etapas.

A primeira etapa consistiu em realizar uma análise comparativa com os dados disponibilizados no Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção – SIDAC, dos três materiais que mais são utilizados na construção civil e da energia e transporte, a fim de entender quanto CO₂ é emitido para ser possível sua empregabilidade em diversos setores. Além disso, foi importante verificar o setor de energia e transporte, pois mesmo que não seja muito falado é um setor que impacta diretamente o meio ambiente.

Com isso, foi possível realizar o levantamento e verificar quais as suas principais fontes de emissão de carbono nesses materiais, como é possível reduzir esses efeitos, quais práticas sustentáveis poderiam ser adotadas e como o conceito de créditos de carbono pode se encaixar em cada situação.

A segunda etapa consiste em propor inovações sustentáveis para auxiliar o setor da construção civil a realizar a destinação correta dos resíduos, a diminuir a emissão de gases do efeito estufa e verificar a possibilidade e viabilidade dessas inovações realizarem a compensação de carbono.

5.1 ETAPA 01: ANÁLISE COMPARATIVA

O SIDAC é um sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção, com ele é possível acessar diversas informações voltadas aos aspectos ambientais dos produtos utilizados na construção civil. Esse sistema cria uma base de dados nacional com indicadores de desempenho ambiental dos produtos, bem como a Avaliação do Ciclo de Vida. Ele ajuda a acessar informações de forma rápida e prática para que seja possível viabilizar a redução de carbono e do gasto excessivo de energia.

Para a análise comparativa foi separado três materiais que são muito comuns na construção civil:

- Blocos e telhas cerâmicos.
- O aço (CA-50).
- O cimento.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ANÁLISE COMPARATIVA

Para a análise comparativa foi utilizado como base o sistema SIDAC, que possui um banco de dados com indicadores de desempenho ambiental, ele foi compilado no ano de 2022 pelo Ministério de Minas e Energia.

O primeiro setor analisado foi o de blocos e telhas cerâmicas. Para que seja possível utiliza-los na construção civil, os blocos e as telhas cerâmicas precisam estar em cumprimento das normas da ABNT.

Para os blocos cerâmicos segue-se a norma técnica ABNT NBR 15270-1: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1: Requisitos, referentes às suas características geométricas, físicas e mecânicas. As telhas cerâmicas, por sua vez, devem atender aos requisitos da ABNT NBR 15310: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.

Não apenas a fabricação em si dos blocos e telhas cerâmicas geram resíduos e emissão de CO₂, o processo inicial e o transporte até as fábricas também precisam ser considerados, como por exemplo, a extração da argila e os combustíveis não renováveis que são queimados para o transporte até o local de fabricação (Cleto; Von Mühlen; Belizario-Silva, 2022).

Além disso, a maioria dos fornos que faz a secagem dos blocos e telhas cerâmicas possuem energia térmica por meio do processo de queima da lenha, o que contabiliza 26 % da energia térmica de todo o processo de fabricação. Outro ponto importante é que quando comparados os processos as telhas tendem a demandar mais energia térmica do que blocos, o que está associado com temperaturas de queima mais altas, exigindo cerca de 1,5 vezes mais combustível (Kellenberger *et al.*, 2007).

Os resultados confirmam que a etapa de queima nos fornos, e eventualmente secagem artificial é a que mais consome energia térmica e, portanto, tem maior potencial de emissões de CO₂ (Kellenberger *et al.*, 2007). Essa diferença entre os materiais com temperatura de queima maior ou maior tempo de forno tendem a gerar mais emissões, o que sugere que esforços de eficiência, adoção de fornos mais eficientes ou combustíveis menos "pesados" podem trazer ganhos significativos.

É importante ressaltar que o combustível que alimenta os fornos de queima e secagem, pelo menos 50 % provém de lenha e resíduos de madeira. Essa madeira, em sua grande maioria vem de florestas nativas, ou seja, florestas que não recompõem o estoque de carbono e desmatamento. O ideal é que sejam utilizadas lenhas de fontes renováveis, isto é, florestas plantadas ou florestas nativas que recompõem o estoque de carbono (Carvalho, 2019).

Levando todo o processo de fabricação em consideração, o sistema SIDAC fez uma estimativa e citou faixas de valores aproximados de Kg de CO₂ por unidade de blocos e telhas cerâmicos. Os indicadores de emissão de CO₂ de blocos cerâmicos chegou a aproximadamente 0,62 Kg de CO₂/unidade, já as telhas cerâmicas chegaram a um indicador aproximado de 0,92 Kg de CO₂/unidade (Cleto; Von Mühlen; Belizario-Silva, 2022).

A partir dos estudos realizados pode-se indicar alguns pontos para serem melhorados no processo, ajudando assim a diminuir a emissão de carbono na atmosfera. Alguns pontos são:

- Melhorar a eficiência energética dos fornos, como por exemplo, o tipo de forno, o isolamento e o controle de temperatura.
- Reuso do calor dos fornos por meio das chaminés.
- O uso de secagem natural quando possível, reduzindo o uso de secadores artificiais, e conseqüentemente, consumindo menos combustível para secagem.
- Certificação ou rastreamento da origem da biomassa (lenha/resíduos de madeira), o que favorece e incentiva o uso de fontes renováveis ou resíduos que teriam destinação incorreta, evitando uso de lenha das florestas nativas.
- Otimizar, quando possível, a localização de jazidas de extração de argila às fábricas para minimizar transporte, ou organizar transporte logístico mais eficiente se a distância for inevitável.

O segundo setor analisado foi o do aço, mais especificamente o tipo CA-50. Para serem considerados aptos para a construção civil é necessário que estejam de acordo ABNT NBR 7480:2007.

Ainda segundo a norma técnica os produtos são considerados como barras de aço, possuem diâmetro nominal igual ou superior a 6,3 mm e são obtidos por laminação a quente e sem processos de deformação, exceto o endireitamento do material quando são produzidos em rolos. As barras de aço podem ser classificadas

em CA-25 (lisas) e CA-50 (com nervuras transversais) segundo o valor da resistência de escoamento (ABNT, 2007).

Para a produção dos vergalhões de aço os processos foram divididos em três partes, sendo elas: A produção de ferro processado, a produção de ferro gusa e escória de alto-forno e a produção de vergalhão de aço. Essas etapas compõem o ciclo de vida do vergalhão e englobam desde a extração da matéria-prima até o produto finalizado pronto para distribuição e consumo (Pulgrossi; Silva, 2022).

Os autores Pulgrossi e Silva (2022), afirmam que na siderurgia é importante entender que o carbono é contabilizado de duas maneiras, sendo uma delas incorporada aos produtos e outra é emitida em forma de CO₂ devido a combustão.

Segundo os estudos realizados pelo Instituto Aço Brasil cada kg de aço bruto produzido emite aproximadamente 1,85 kgCO₂ / Kg, esse dado se dá considerando as usinas integradas, dessas emissões 85 % está diretamente relacionada à etapa de redução. Já na etapa de fabricação do ferro gusa, a emissão de CO₂ para cada kg chega a aproximadamente 1,70 kgCO₂ / Kg, sendo sua etapa de redução correspondente a 70 % da emissão (IABR, 2018).

Torna-se preocupante quando se é analisado estes números, pois demonstra-se grande magnitude e implicações diretas para políticas de regulação de emissões e incentivos para uso de energias mais limpas, pois o aço um dos materiais mais importantes da construção civil.

O principal ponto de melhoria quando se fala em metas de redução de gases de efeito estufa, o setor siderúrgico precisará focar fortemente na transição para rotas de baixa emissão, ou seja, um melhor aproveitamento de subprodutos, fontes de energia renováveis, processos inovadores e possíveis estratégias para rotas alternativas de produção de ferro.

O terceiro setor analisado foi o cimento. O cimento Portland é um ligante hidráulico, obtido por meio da moagem de clínquer Portland, durante a sua fabricação são adicionadas quantidades necessárias de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais. O clínquer Portland é um produto intermediário da fabricação do cimento, é constituído na maior parte de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas, onde são obtidos pela queima a altas temperaturas de misturas de materiais calcários e argilosos devidamente moídos e dosados. Existem diferentes tipos de cimento e eles são definidos conforme sua composição (ABNT, 2018).

Ainda segundo a ABNT (2018), o cimento pode ser utilizado em diversas funções e empregabilidades na construção civil, as principais são: concreto dosado em central, blocos de concreto de alvenaria, pisos intertravados, argamassas, placas de fibrocimento, concreto projetado, entre outros.

O processo de fabricação do cimento inicia com a secagem e a moagem das matérias-primas, após a moagem do clínquer, ele é misturado ao sulfato de cálcio, que tem o papel de retardar o processo de hidratação do cimento, e ao filer calcário. Dependendo do tipo, também pode ser misturado ao cimento também materiais cimentícios suplementares, ou seja, outros materiais que também possuem funções ligantes hidráulicos, como por exemplo, a escória granulada de alto forno e os materiais pozolânicos, essa mistura é direcionada a um moinho de acabamento e é armazenada em silos, podendo ser comercializada a granel ou em sacos (Belizario-Silva; Oliveira; John, 2022).

Os dados analisados demonstram indicadores de emissão de CO₂ para o clínquer e para o cimento CP V, nesses estudos é levado em consideração o transporte dos materiais até a fábrica, pois entende-se que faz parte do seu processo. As emissões para o clínquer podem chegar a aproximadamente 1,5 Kg CO₂/ Kg, já para o cimento CP V, os estudos revelam uma emissão de aproximadamente 1,0 Kg CO₂/ Kg (Belizario-Silva; Oliveira; John, 2022).

Como grande parte das emissões de CO₂ está vinculada à descarbonatação química do calcário na produção de clínquer, muitos estudos estão sendo realizados com o objetivo de verificar a possibilidade de redução do teor de clínquer no cimento, isto é, incrementar o uso de materiais suplementares como escória ou pozolanas, e assim, trazendo como estratégia para a diminuição nas emissões, alguns exemplos na prática são CP II-E, que utiliza escória granulada e o CP II-Z que utiliza material pozolânico em sua composição.

Outro ponto importante, que pode ser abordado como estratégia para redução de emissões indiretas é a melhoria de eficiência na moagem, recuperação de calor, uso de energia renovável ou redução de perdas energéticas.

Verificou-se também que todos os estudos abordam as questões de logística de transporte dos materiais até a fábrica, sendo uma questão muito importante a ser estudada mais a fundo para que seja possível controle das emissões de gases do efeito estufa.

Foi possível entender, também, que de forma direta e indireta a emissão de gases do efeito estufa faz parte de todas as etapas envolvidas nos processos e que nem sempre será possível acabar com elas, mas que se torna importante pensar e construir estratégias que compensem e diminuam os efeitos causados pela poluição gerada.

6.2 INOVAÇÕES

Conforme Borges; Ferreira (2018) demonstraram em seus estudos, é possível aplicar além dos resíduos orgânicos gerados no decorrer da obra, é possível incluir os resíduos da construção civil, pois eles possuem potencial de liberação de material orgânico, que é fonte de geração para o biogás.

Porém, pensando um pouco mais além, o biogás gerado nem sempre é aproveitado na propriedade, e desta forma, precisa ser queimado. Algumas inovações nessa questão já vêm sendo implementadas, como por exemplo, a geração de energia elétrica.

Outra opção é fazer o transporte do biogás produzido, porém para fazer esse transporte é necessário que sejam instalados gasodutos até a central de processamentos, o que muitas vezes se torna complexo, pois existem diversas normas de instalação.

Portanto, como alternativa sustentável, criou-se, em parceria com o programa de Doutorado da UNILA, um equipamento que tem por objetivo fazer o envasamento do biogás na propriedade rural para o transporte rodoviário (Figura 4).

Figura 4: Protótipo de envasamento de biogás.



Fonte: O Autor, 2025.

O objetivo do equipamento é que produtores rurais de pequeno e médio porte possam instalar biodigestores e possui uma produção de biogás mais efetiva e rentável em suas propriedades, gerando também, uma renda extra.

7. CONCLUSÃO

A partir deste trabalho é possível concluir que a construção civil ainda possui um alto índice de emissão de gases de efeito estufa, porém já existem diversos estudos que estão contribuindo para a diminuição das emissões no setor.

Com a análise comparativa, foi possível entender que não apenas a fabricação dos materiais ou a utilização deles no momento da obra podem gerar emissões, mas também se faz necessário contabilizar toda a sua logística de transporte e a extração da matéria prima.

Foi possível verificar também, que além dos estudos, já existem materiais mais sustentáveis na construção civil, contribuindo para a sustentabilidade e sendo possível fazer a compensação dos créditos de carbono.

Com as inovações e as implementações de novas tecnologias no mercado, será viável apoiar a sustentabilidade de forma eficiente, e conseqüentemente, fazer parte dos programas de compensação e créditos de carbono.

Por fim, com este trabalho concluir que a construção civil é essencial em todo o mundo e que quando alinhado com propósitos mais sustentáveis torna-se um ramo menos prejudicial e exploratório para o futuro das próximas gerações.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 7480 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ANDRADE, J.C.S.; COSTA, P. Mudança climática, protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global. Revista organizações e sociedade. v.15. n.45. abril/junho, 2008.
- APC. Compensação de Carbono nas Obras de Construção Civil. Grupo APC. 2024 Disponível em: < <https://apc.com.br/inovacoes/compensacao-de-carbono-nas-obras-de-construcao-civil/>>. Acesso em: 22 de maio de 2025.
- BELIZARIO-SILVA, F., OLIVEIRA, L. A., JOHN, V. M. Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: cimento. São Paulo: SIDAC, 2022.
- BORGES, L.; FERREIRA, W. Biogás como fonte de energia na construção civil. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza. Nº. 000140, novembro, 2018.
- CAETANO, D. C.; EUGÊNIO, T.C. P. Relato de sustentabilidade de empresas da construção civil em Portugal e Espanha. Revista Ambiente Contábil-Universidade Federal do Rio Grande do Norte. v. 7, n. 1, p. 273-290, 2015.
- CARVALHO, A. S. Caracterização ambiental da produção de bloco cerâmico na Bahia. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz, Santa Cruz, 2019.
- CARVALHO, J. M. A. reciclagem de resíduos da construção civil e a geração de créditos de carbono: revisão teórica, atualidades e perspectivas. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Natal, RN, 2023.
- CLETO, F. R.; VON MÜHLEN, J. F.; BELIZARIO-SILVA, F. Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: blocos e telhas cerâmicos. São Paulo: SIDAC, 2022.
- GBC BRASIL. Guia de Sustentabilidade na Construção Civil. Disponível em: <<https://gbcbrasil.org.br/>>. Acesso em 26 fev. de 2025.
- GIAQUINTO, J. P. de O. Uso do ESG e a Importância na Construção Civil no Brasil. Revista Esamc. vol.03, jul-dez, 2024.
- GOMES, C. P. *et al.* Impacto Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Advindos da Construção Civil no Brasil: Uma Revisão de Literatura. Revista multidisciplinar e de psicologia, v. 15, n. 55, p. 729-742, 2021.

IABR. Relatório de Sustentabilidade 2018. [S. l.]: Instituto Aço Brasil, 2018. E-book. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade2018/assets/pdfs/Aco-Brasil-Completo.pdf>

KELLENBERGER, D.; et al. Life Cycle Inventories of Building Products. ecoinvent report n. 7. Dübendorf: ecoinvent, 2007.

KINEA. O Curioso Caso dos Créditos de Carbono. Kinea investimentos. Março de 2022.

LARUCCIA, M.M. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. ENIAC Pesquisa, Guarulhos (SP), p. 69-84, v. 3, n. 1, jan.-jun. 2014.

LOPES, D. P. *et al.* Sustentabilidade na Construção Civil. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, p. 10-98, 2023.

MUNHOZ, L. Regulação do mercado de carbono brasileiro. Revista Agroanalysis, v. 43, n. 9, p. 21-23, 2023.

NASCIMENTO, E. R. do; MORAIS, D. P. F. de; LOPES, S. C. Sustentabilidade na construção civil no Brasil: Uma revisão da literatura. Research, Society and Development, v. 11, n. 14, 2022.

ONU. What is the Kyoto Protocol? United Nations, Climate Changes. Process and meetings. 2024. Disponível em: https://unfccc.int/kyoto_protocol. Acesso em 21 de maio de 2025.

PULGROSSI, L.M.; SILVA, V. G. Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: vergalhão de aço CA-50. São Paulo: Sidac, 2022.

RIBEIRO, M. de S. O tratamento contábil dos créditos de carbono. Tese (Livre Docência). Faculdade de Economia, administração e contabilidade de Ribeirão Preto. Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto. 2005. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/96/tde-11082006-093115/>. Acesso em: 21 maio 2025.

ROQUE, R. A. L.; PIERRI, A. C. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. Research, society and development, v. 8, n. 2, 2019.

SILVA, A. F. Crédito de carbono no contexto brasileiro: aspectos fiscais. Dissertação de mestrado em Direito - Faculdade de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

SUZANO. Mercado de Carbono. Finanças sustentáveis. 2023. Disponível em: <https://www.suzano.com.br/sustentabilidade/financas-sustentaveis/mercado-de-carbono>. Acesso em 15 maio de 2025.

SIMÃO, A. dos S. *et al.* Impactos da indústria 4.0 na construção civil brasileira. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 10, p. 20130-20145, 2019.

UNEP. Emissões do setor de construção civil atingiram níveis recordes em 2019-Relatório da ONU. Dez, 2020. Disponível em: <https://www.unep.org/>. Acesso em: 26 fev. 2025.

VALOR ECONOMICO. Construtoras investem em créditos de carbono. *Globo*. 2022. Disponível em: <<https://valor.globo.com/patrocinado/imoveis-de-valor/noticia/2022/09/23/construtoras-investem-em-creditos-de-carbono.ghtml>>. Acesso em: 15 de maio de 2025.

VALPORTO, M. S.; AZEVEDO, P. S. Gestão do design na identificação dos fatores de impactos ambientais da construção civil. *Estudos em Design, Revista online*. v. 24, n. 1, p. 124 – 151. Rio de Janeiro, 2016.