



IDENTIFICANDO A ADERÊNCIA DO *STEEL FRAME* À ECONOMIA CIRCULAR: UMA ABORDAGEM SOBRE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Marco Antonio Portugal

Centro Universitário FEI, São Paulo, SP, Brasil

marcoportugal@fei.edu.br

Lucila Maria de Souza Campos

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, SC, Brasil

lucila.campos@ufsc.br

Resumo: Este estudo analisou a aderência do sistema construtivo *steel frame* à Economia Circular e suas contribuições para a construção sustentável, considerando *design*, seleção de materiais e processos de construção. Utilizando uma abordagem metodológica que combinou revisão bibliográfica e análise comparativa, a pesquisa empregou indicadores do índice de Eficácia Geral da Circularidade. Os resultados mostraram que o *steel frame* pode reduzir impactos ambientais, demanda de energia e geração de resíduos sólidos na construção. Quando combinado com materiais sustentáveis, como madeira ou concreto pré-moldado, esse método apresenta benefícios ambientais significativos em comparação com construções convencionais em alvenaria e concreto. A pesquisa revelou uma maior aderência à Economia Circular no *steel frame*, contribuindo para uma compreensão mais ampla de suas vantagens sustentáveis. Esses achados podem orientar arquitetos, engenheiros e profissionais da construção na escolha desse método, além de oferecer uma base para diretrizes e políticas públicas que incentivem a adoção de práticas construtivas mais sustentáveis, promovendo a criação de valor a longo prazo para os *stakeholders*.

Palavras-chave: Economia Circular, Construção Sustentável, *Steel Frame*, *Design* Construtivo.



1. Introdução

A transição para uma economia circular (EC) na indústria da construção é crucial para enfrentar os desafios ambientais e sociais (Molchanova, 2023; Wuni, 2023). O conceito de EC, focado no uso sustentável de recursos e na redução de resíduos (Gama et al., 2017; Nelles et al., 2019), é um modelo econômico sustentável que visa enfrentar desafios globais, como mudanças climáticas, perda de biodiversidade e acúmulo de resíduos, promovendo a eficiência de recursos, estendendo os ciclos de vida dos produtos e minimizando a geração de resíduos (Ghazanfari, 2023; Hsu et al., 2023; Ncube et al., 2023). Envolve a transição da abordagem linear tradicional de “pegar, fabricar e descartar” para um sistema circular que se concentra em fechar o ciclo por meio de práticas como reciclagem, reutilização e remanufatura de materiais (Koval et al., 2022).

Ao incorporar princípios de sustentabilidade e inovação, a economia circular incentiva as empresas a repensarem seus modelos, promover a inovação orientada para a sustentabilidade e agregar valor aos clientes e demais *stakeholders*, considerando os impactos ambientais e sociais (Stephan, 2022). Essa mudança é fundamental para reduzir as emissões de carbono e o esgotamento de recursos (Gasparri et al., 2023). No entanto, a transição enfrenta barreiras significativas, com um mercado de resíduos instável, falta de competências gerenciais e condições macroeconômicas instáveis (Ada et al., 2023).

Para facilitar essa transição, as tecnologias desempenham um papel vital na liderança da indústria em direção à circularidade, enfatizando a necessidade de mudanças estruturais nas cadeias de suprimentos, coordenação das partes interessadas e gerenciamento de recursos no final da vida útil dos edifícios (Harichandran et al., 2023). A implementação de práticas de construção circular, combinadas com tecnologias digitais, pode reduzir significativamente a pegada ambiental dos edifícios e aumentar a eficiência do material (Cramer, 2023).

Compreender os fatores críticos de sucesso e implementar uma estrutura prática de EC são essenciais para uma implementação bem-sucedida no setor de construção, abrindo caminho para um melhor desempenho econômico, social e ambiental (Koc et al., 2023).

Nesse contexto, o método de construção de estruturas de aço (*steel frame*) surge como uma alternativa promissora para a construção sustentável (Rohde et al., 2023). Estruturas de aço, especialmente quando combinadas com materiais sustentáveis como madeira ou concreto pré-moldado, oferecem benefícios ambientais significativos em comparação com os métodos convencionais de construção, como estruturas de concreto (Aragão et al., 2022; Georgantzia et al., 2022). Estudos têm mostrado que estruturas de aço podem levar a menores impactos ambientais, reduzir a demanda de energia e diminuir a geração de resíduos sólidos durante a construção (Oladazimi et al., 2021; Singh & Singh, 2021).

No entanto, é importante ressaltar que a aderência do *steel frame* (SF) à EC não é automática e requer considerações específicas em relação ao design, à seleção de materiais e aos processos de construção. É necessário um planejamento cuidadoso e uma abordagem holística para garantir a maximização dos benefícios sustentáveis do SF dentro do contexto da EC (Abadi et al., 2022).

Este estudo tem como objetivo investigar a aderência do SF aos princípios da EC, comparando-o a um método construtivo convencional (MCC). Para tanto, serão utilizadas a análise de ciclo de vida (ACV) e o gerenciamento de resíduos como principais ferramentas

Workshop Internacional
**SUSTENTARE
& WIPIS 2024**
Sustentabilidade, Indicadores
e Gestão de Recursos Hídricos
www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
de novembro
Transmissão online • Evento gratuito

Realização: PUC CAMPINAS, EESC - USP
Apoio Institucional: PUC, FAPESP

para identificar os impactos ambientais e econômicos de cada sistema. A pesquisa contribui para preencher uma lacuna na literatura, pois a avaliação do SF dentro da EC ainda é um campo relativamente pouco explorado.

Para alcançar esse objetivo, esta pesquisa adotou uma abordagem metodológica que combina revisão bibliográfica e análise comparativa, com dados primários e secundários coletados de diversas fontes. A revisão bibliográfica explora os princípios da EC aplicados ao SF, enquanto a análise comparativa busca identificar as vantagens e desvantagens do SF em relação ao MCC. As conclusões deste estudo poderão orientar arquitetos, engenheiros e outros profissionais da construção a tomar decisões informadas sobre o uso do SF, além de contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à sustentabilidade na construção.

Este artigo está estruturado em cinco seções. Após esta introdução, será apresentada a fundamentação teórica, seguida pela metodologia utilizada na pesquisa. A seção de resultados trará as análises e discussões, finalizando com as conclusões, limitações e sugestões para futuras pesquisas.

2. Fundamentação teórica

Yang et al. (2024) abordam a importância do SF na EC, especialmente em termos de sustentabilidade ambiental. No estudo, destacam a análise da reutilização e reciclagem de unidades modulares que incluem SF, laje de concreto e conector de aço, em diferentes estágios do ciclo de vida e ciclos de uso. Os resultados indicam que alcançar níveis desejáveis de reutilização e reciclabilidade para o SF é fundamental para maximizar os benefícios ambientais.

A reutilização de componentes estruturais, como o SF, estende a vida útil deles, limitando sua transformação física e alterando sua localização e/ou função. Isso significa que os componentes estruturais reutilizáveis podem ter uma vida útil mais longa do que os sistemas aos quais inicialmente pertenciam, transformando edifícios desmontados em uma mina para novas construções. Consequentemente, a obsolescência funcional não é mais uma razão para a produção de resíduos. A reutilização de componentes estruturais, como o SF, pode contribuir para a redução do impacto ambiental dos edifícios (de Wolf et al., 2018).

Mesmo técnicas amplamente utilizadas há muitos anos, como o piso composto formado pela conexão das lajes de concreto às vigas de aço de suporte, que são estabelecidas como um dos sistemas de piso mais eficientes em estruturas de edifícios com estrutura de aço de vários andares, necessitam ser revisitadas para permitir a reutilização. Nesse caso, os conectores de cisalhamento, soldados através do deck de aço às vigas de aço e moldados no concreto, tornam quase impossível a desmontagem e reutilização desses componentes, exigindo a adoção de um novo sistema que permita a reutilização das vigas de aço e lajes mistas (Lam et al., 2021).

Outras estratégias de design criativo podem ser adotadas para maximizar a reutilização de componentes estruturais, como o SF, e explorar soluções inovadoras, como o reaproveitamento de contêineres marítimos em novas construções. Essas abordagens visam transformar economias lineares em circulares, promovendo a sustentabilidade ambiental. Essas soluções são especialmente benéficas em regiões de climas mais frios, proporcionando uma alternativa viável e eficiente (Bertolini & Guardigli, 2020).



Além disso, 99% dos componentes de aço que formam as juntas do SF são feitos de sucata reciclada e passam por processos de produção nos quais as emissões de poluentes e a quantidade de energia usada são drasticamente reduzidas. O modelo do SF permite que os elementos de aço sejam montados e desmontados rapidamente, sem deterioração, para serem reutilizados em projetos alternativos, promovendo assim a reutilização e a reciclagem de materiais, princípios fundamentais da EC. Portanto, o SF é apresentado como uma opção tecnológica que se alinha aos princípios da EC, promovendo a sustentabilidade e reduzindo o desperdício (Rossi & Barsanti, 2022).

No entanto, embora o SF esteja alinhado aos princípios da EC e ofereça benefícios ambientais significativos, é importante ressaltar que a implementação bem-sucedida da EC na indústria da construção requer uma abordagem abrangente e colaborativa. Isso envolve várias partes interessadas, incluindo projetistas, construtores, fabricantes, proprietários de edifícios e autoridades reguladoras, podendo ir além do uso de um único sistema construtivo. A construção por um MCC também pode adotar práticas sustentáveis em diferentes aspectos, como eficiência energética, uso de materiais de baixo impacto ambiental, gestão adequada de resíduos, entre outros.

Adicionalmente, a EC vai além da reutilização e reciclagem de materiais. Também enfatiza a necessidade de projetar edifícios duráveis, com longa vida útil e flexibilidade para acomodar futuras mudanças de uso. Isso pode envolver a adoção de estratégias de design modular, que facilitam a desmontagem e reutilização de componentes estruturais, incluindo o SF.

Em suma, o SF desempenha um papel importante na EC da construção, oferecendo oportunidades significativas para a reutilização e reciclagem de materiais. No entanto, a implementação bem-sucedida da EC na indústria da construção requer uma abordagem abrangente, envolvendo várias partes interessadas e adotando estratégias de design sustentáveis. Avaliar a sustentabilidade de uma construção requer uma visão holística, considerando o ciclo de vida completo do edifício, desde a extração de materiais, construção, utilização até o descarte ou reciclagem. Diferentes sistemas construtivos podem apresentar vantagens e desvantagens em termos de sustentabilidade em diferentes contextos e cenários.

A teoria abordada por este estudo, embora abrangente, não inclui uma avaliação específica da aderência do SF aos princípios da EC em comparação com uma técnica de construção C, o que confere caráter inovador a esta pesquisa. Para realizar essa análise comparativa, torna-se essencial selecionar um método adequado.

Nesse sentido, o estudo de Lovrenčić Butković et al. (2023) oferece uma revisão abrangente dos principais métodos de avaliação aplicáveis a projetos de EC na indústria da construção, incluindo ACV, análise de custo do ciclo de vida e análise custo-benefício. Os autores destacam que a ACV, juntamente com o gerenciamento de resíduos, tem sido amplamente utilizada para avaliar o desempenho ambiental de sistemas construtivos, permitindo identificar os principais impactos ao longo de todo o ciclo de vida. Com base nessa análise, o método de avaliação mais apropriado para comparar a aderência do SF aos princípios da EC em relação a um MCC foi selecionado a partir do estudo de Lovrenčić Butković et al. (2023).



Com base na fundamentação teórica apresentada e na escolha do método de avaliação mais adequado, torna-se necessário detalhar os procedimentos metodológicos que orientaram este estudo. A próxima seção descreve a abordagem utilizada para realizar a análise comparativa proposta por este estudo, destacando as etapas de coleta de dados e os critérios de avaliação.

3. Metodologia

O método de pesquisa consistiu em uma combinação de pesquisa bibliográfica, coleta de dados primários e secundários e análise comparativa, com o objetivo de avaliar o encaixe dos métodos construtivos analisados na EC.

A pesquisa bibliográfica foi o ponto de partida, envolvendo a revisão da literatura existente sobre EC, métodos construtivos e estudos de caso relacionados. Essa revisão buscou abranger primordialmente a análise de artigos científicos, com o objetivo de se estabelecer uma base teórica sólida que pudesse indicar critérios para a avaliação comparativa. Para essa busca foi utilizada a seguinte expressão booleana: (TITLE-ABS-KEY ("circular economy") AND TITLE-ABS-KEY ("steel frame")). Efetuada em abril de 2024, a busca resultou em 5 textos indexados na base de dados Scopus que abordam o contexto específico do SF na EC.

Em seguida, selecionou-se um método construtivo relevante para análise. Essa seleção pôde ser feita com base em informações de projetos de construção, envolvendo práticas comuns na indústria da construção, sobre métodos consolidados. Definidos os processos construtivos a serem comparados, foi realizada a coleta de dados secundários que permitissem preencher os critérios de avaliação.

Após a coleta de dados, realizou-se a análise com base nos critérios de avaliação estabelecidos. Isso pôde incluir análises quantitativas, como cálculos de indicadores de desempenho ambiental e econômico para cada método construtivo, bem como análises qualitativas exploratórias, como a identificação de práticas eficazes, desafios e oportunidades para a implementação da EC em cada método.

Com base no estudo de Lovrenčić Butković et al. (2023), foi realizado uma análise preliminar para selecionar a teoria de comparação mais apropriada para este estudo. Optou-se por seguir a tendência apontada em relação à ACV e à gestão de resíduos. Isso levou a concluir que o índice de Eficácia Geral da Circularidade (EGC) (Baumer-Cardoso et al., 2023) seria a escolha mais adequada.

O EGC é um índice desenvolvido para avaliar o nível de circularidade nas empresas de manufatura, utilizando uma metodologia que integra teoria e prática. Projetado para medir o desempenho da circularidade, o índice analisa tanto os insumos quanto os produtos das empresas, proporcionando uma métrica quantitativa que é simples de entender e calcular no contexto da EC (Baumer-Cardoso et al., 2023).

A análise aplicada neste estudo permitiu identificar a compatibilidade de cada método construtivo com os princípios da EC, possibilitando uma comparação direta entre eles. Para facilitar a compreensão dos resultados e das diferenças entre o SF e o MCC, foram utilizados tabelas, gráficos e modelos de pontuação com base no EGC.



A seguir, serão apresentados os resultados dessa análise, com uma discussão detalhada sobre suas implicações, limitações e os principais *insights* obtidos a respeito da circularidade do SF em comparação ao MCC.

4. Resultados

Optou-se por fazer uma comparação entre a construção de uma casa térrea, utilizando o sistema de construção em SF e o MCC de estrutura de concreto e alvenaria. Essa definição se deu devido a viabilidade de informações suficientes encontradas que retratavam esses métodos.

Para simplificar a demonstração dos resultados, a área total construída foi definida em 100 metros quadrados.

A Tabela 1 foi preenchida seguindo as diretrizes do EGC e utilizando dados obtidos por meio de consultas a publicações, relatórios e outras fontes secundárias.

Tabela 1 – Dados para compor a análise EGC

Dados e insumos totais	Unidade	SF	MCC	Observações
Produção	m ²	100,00	100,00	Área total de construção de uma residência.
Materiais	t	82,41	250,80	(Mass & Tavares, 2017).
Consumo específico de materiais	t/m ²	0,82	2,51	Calculado com dados dessa tabela.
Matérias-primas	t	82,41	250,80	(Mass & Tavares, 2017).
Água	m ³	3,52	17,6	80% de redução no <i>steel frame</i> (Prates & Conforte, 2019). Consumo médio no convencional (Marques et al., 2017).
Consumo específico de água	m ³ /m ²	0,035	0,176	Calculado com dados dessa tabela.
Energia elétrica	kWh	300,0	500,0	40% de redução no <i>steel frame</i> (Prates & Conforte, 2019). Estimativa média, convencional (Marques et al., 2017).
Consumo específico de energia elétrica	kWh/m ²	3,0	5,0	Calculado com dados dessa tabela.
Emissões de CO ₂	Kg	5.224,4	9.821,5	(dos Santos et al., 2022)
Emissão específica de CO ₂	Kg/m ²	52,2	98,2	Calculado com dados dessa tabela.
Desperdício de materiais	t	9,5	61,6	(Mass & Tavares, 2017).
Desperdício específico de materiais	t/m ²	0,095	0,616	Calculado com dados dessa tabela.
Águas servidas	%	25,0%	25,0%	(Mass & Tavares, 2017) Estimativa desperdício
Volume de águas servidas	m ³	0,9	4,4	Calculado com dados dessa tabela.
Volume específico de águas servidas	m ³ /m ²	0,009	0,044	Calculado com dados dessa tabela.

S W Workshop Internacional
SUSTENTARE & WIPIS 2024
 Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
 de novembro
 Transmissão online • Evento gratuito

Realização: **PUC CAMPINA**, **EESC - USP**
 Apoio Institucional: **Apoio das Bacias PCJ**

Dados e insumos totais	Unidade	SF	MCC	Observações
Equipamentos desativados	N	0	0	Convencionado.
Equipamentos vida útil	N	1	1	Convencionado.
Funcionários	N	381,4	1.449,2	(Marcomini et al., 2023).
Treinamentos	h	25,4	114,4	Conforme Marcomini et al. (2023), considerando 0,5 hora por homem e dia de trabalho.
Emprego de PcD	%	0	0	Isso é devido a especificidade do setor.
Acidentes de trabalho	N	0,1	0,4	Equivalentes (Brasil, 2024).

Fonte: Autores (2024), adaptado de Baumer-Cardoso et al. (2023)

Com esses dados e com o auxílio de uma planilha eletrônica, foram calculados o EGC para o SF e para o MCC, com os resultados obtidos indicados na Tabela 2.

Para promover o efeito de comparação pretendido da EC entre os métodos, no geral, foram consideradas como medidas de meta nos cálculos do MCC os valores do método SF. Já para o método SF foram considerados como medidas de meta os mesmos valores.

Tabela 2 – Resultados da análise EGC

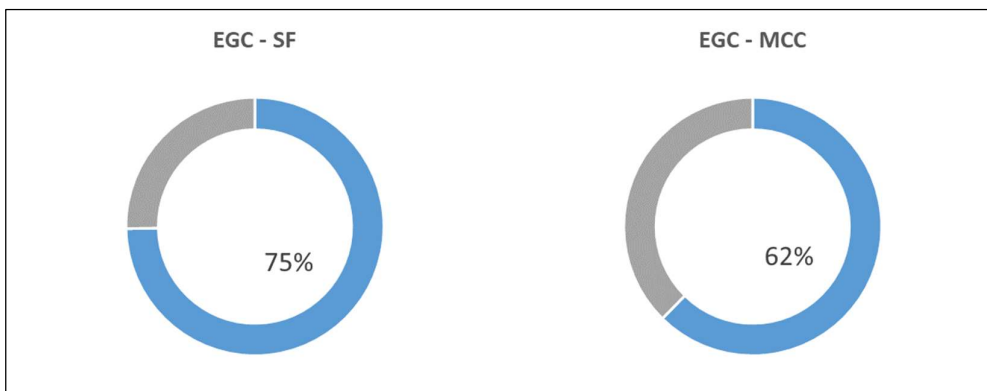
Indicador	Steel Frame	Convencional
IM1	100	98
IW1	100	96
IE1	100	99
IM2	9	6
IW2	100	20
IE2	100	60
OEm	100	53
OM	6	15
OW	100	100
OEq	100	100
OPr	9	2
ITr	100	100
IDei	0	0
OAc	97	87
OTu	100	100
EGC	75	62

Fonte: Autores (2024)

As Figuras 1 e 2 ilustram esses resultados, facilitando a comparação entre SF e o MCC.

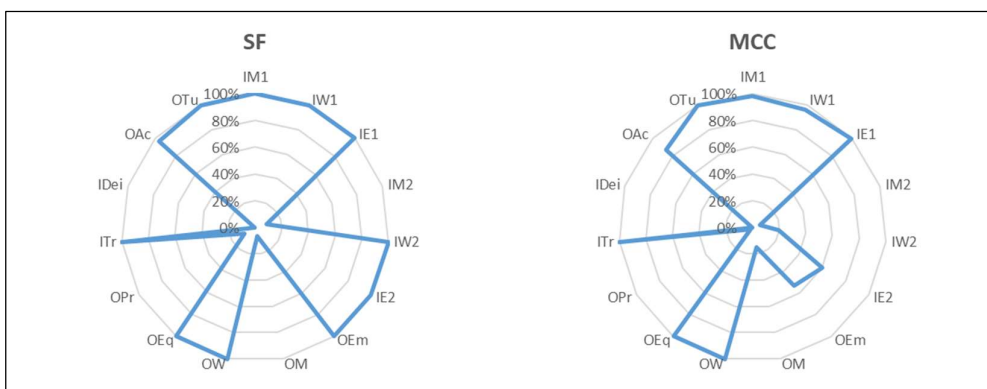


Figura 1 – Índice EGC



Fonte: Autores (2024)

Figura 2 – Resultados dos Indicadores



Fonte: Autores (2024)

Assim, observa-se que o valor de EGC para o SF foi de 75%, enquanto para o MCC foi de 62%. Isso implicaria em afirmar, com base nessa metodologia e em uma primeira análise, que o SF possui maior aderência à EC do que o MCC.

É importante ressaltar inicialmente que a EC não consiste necessariamente em um custo menor; na verdade, seu objetivo é criar e manter valor por meio de práticas sustentáveis e do uso eficiente de recursos (De Giovanni, 2023; Figge et al., 2022; Huovila & Westerholm, 2022). Ou seja, a maior aderência de um sistema à EC pode não resultar em um sistema de custo inferior.

No âmbito deste estudo, de forma geral, pôde-se observar que os custos de construção utilizando o sistema SF são superiores aos do MCC de alvenaria e concreto. No contexto brasileiro, essa diferença pode variar entre 40% e 60%, tornando a adoção do SF uma escolha mais desafiadora, apesar de sua capacidade de reduzir pela metade o tempo necessário para a conclusão da obra (Frare et al., 2021; Marcomini et al., 2023). Por outro lado, as vantagens apontadas pela análise do ciclo de vida (Oliveira et al., 2021) e, como observado neste estudo,



a maior aderência do SF à EC, também não têm se mostrado suficientes para torná-lo mais popular.

Nessa análise, três indicadores se destacaram por suas variações, Emissão de Saída (OEm), Energia de Entrada (IE2) e Água de Entrada (IW2).

O indicador OEm representou, nos sistemas analisados, a emissão de CO₂, apontando a diferença existente nas emissões do MCC em comparação ao sistema SF. O consumo de concreto pelo MCC resultou na sua principal diferença, sendo o responsável por 44% do CO₂ desse sistema.

Tendo por base que a matriz elétrica brasileira é predominantemente originária de fontes renováveis, o indicador IE2 buscou identificar a disparidade nos consumos de energia elétrica entre os sistemas SF e C analisados. No caso, o sistema C consome, praticamente, $\frac{2}{3}$ a mais de energia elétrica que o sistema SF.

Por último, o indicador IW2 revelou, por meio da comparação realizada, o quanto o MCC supera o sistema SF no consumo de água. Isso evidenciou uma das principais características pelas quais o SF é reconhecido: sua redução no uso e no desperdício de água (Aninthaneni et al., 2020; Holanda et al., 2023; Kurniawan Prasetya & Tavio, 2022).

A leitura dos dados coletados revelou uma característica ainda prevalente no setor da construção civil, pelo menos no contexto brasileiro. Nesse setor, os custos relacionados à água e energia elétrica geralmente não são incluídos nos orçamentos como componentes de preço unitário de cada atividade. É mais comum que esses custos sejam apresentados como estimativas de despesas indiretas. Como resultado, esses valores acabam sendo globalizados, agrupados com os demais gastos administrativos, relacionados à gestão do escritório, do refeitório e do alojamento da obra. Para um projeto com o emprego de sistemas mistos de construção, essa prática prejudica a medição e avaliação individualizada do consumo de água e de energia elétrica.

Essa evidência reforça a necessidade de um planejamento cuidadoso e uma abordagem holística para garantir a maximização dos benefícios sustentáveis (Abadi et al., 2022), não apenas do SF, mas de qualquer método de construção dentro do contexto da EC. Em outras palavras, um MCC aprimorado poderia elevar e até mesmo superar sua aderência à EC em relação ao sistema SF.

Assim, reconhecer e adotar, para além dos indicadores tradicionais de custo, prazo e qualidade, outros indicadores, como os propostos pelo EGC, pode promover uma maior conformidade da indústria da construção civil com a EC, resultando na adoção e no controle de atividades mais sustentáveis. Para tanto, seria pertinente a inclusão de novos indicadores e a revisão dos indicadores atuais do EGC, tornando-o ainda mais apropriado para o setor da construção civil.

Nesse estudo, por exemplo, foi calculado o indicador Material de Saída (OM) para cada método, revelando que o MCC apresenta uma aderência maior à EC do que o sistema SF nesse indicador específico. No entanto, em termos absolutos, o MCC desperdiça mais de seis vezes a quantidade de materiais desperdiçados pelo sistema SF. Essa diferença no desperdício de materiais destaca a importância de considerar as discrepâncias ao avaliar o desempenho relativo



de cada método, permitindo uma comparação completa entre métodos ao tomar decisões relacionadas à eficiência e sustentabilidade dos processos na construção civil.

No indicador que avalia os acidentes de trabalho (OAc), a relativa vantagem do SF sobre o MCC se deu, basicamente, pela menor exposição dos trabalhadores ao risco de acidentes devido ao menor tempo de trabalho necessário para execução do SF. Assim, ao menos nesse estudo, foram consideradas incidências estatísticas iguais. Ou seja, esse também seria outro indicador a refletir melhor as especificidades do setor da construção civil, propiciada pela coleta e análise de dados de acidentes específicos para cada um dos mais variados métodos de construção.

A análise revelou que, embora o SF apresente uma maior aderência aos princípios da EC em diversos aspectos, como a redução de emissões de CO₂ e o menor consumo de materiais e água, o método MCC ainda possui vantagens em termos de custo inicial e popularidade na indústria da construção. No entanto, os benefícios ambientais e a maior eficiência de recursos do SF tornam-no uma alternativa promissora para o futuro da construção sustentável, especialmente em cenários que priorizam a longevidade e a reutilização de materiais.

Esses resultados destacam a importância de adotar uma abordagem mais holística ao avaliar sistemas construtivos, considerando não apenas o custo imediato, mas também os impactos ambientais e a eficiência a longo prazo, o que deve abranger todos os *stakeholders*. Com base nessas descobertas, é possível afirmar que a escolha entre SF e MCC dependerá do equilíbrio entre os objetivos econômicos e ambientais de cada projeto.

Com isso, na próxima seção, serão discutidas as principais conclusões deste estudo, suas limitações e as recomendações para futuras pesquisas que possam aprofundar a análise sobre a aderência dos métodos construtivos à EC e promover avanços na sustentabilidade da construção civil.

5. Conclusões

Este estudo analisou a aderência do sistema construtivo SF à EC e identificou potenciais contribuições para uma construção sustentável. Os resultados obtidos destacam que o SF pode reduzir os impactos ambientais, uma vez que se revelou mais aderente à EC do que um MCC em alvenaria e concreto.

No entanto, é importante reconhecer algumas limitações deste estudo. Primeiramente, a avaliação da aderência do SF à EC ainda é um campo de estudo relativamente pouco explorado, o que limita a disponibilidade de dados e informações abrangentes. Estudos futuros podem se beneficiar da inclusão de dados primários e de análises mais aprofundadas, como estudos de caso e medições diretas.

Avançar na compreensão da aderência do SF à EC requer pesquisas adicionais em várias áreas. Primeiramente, é necessário que haja investigações mais detalhadas das práticas de design, seleção de materiais e processos de construção específicos que maximizam os benefícios sustentáveis do SF. Isso possibilitaria avançar em estudos de ciclo de vida comparativos entre o SF e outros sistemas construtivos.

Além disso, é essencial considerar a viabilidade econômica do SF dentro do contexto da EC. Realizar uma avaliação dos custos associados à implementação do SF, buscando otimiza-


Workshop Internacional
SUSTENTARE & WIPIS 2024
 Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
 de novembro
 Transmissão online • Evento gratuito

Realização:  
 Apoio Institucional:  

los, contribuiria significativamente para uma maior adoção desse método construtivo. Pesquisas futuras poderiam investigar as barreiras e desafios enfrentados na implementação do SF em larga escala, bem como o papel das políticas públicas e das diretrizes regulatórias na promoção da construção sustentável através do SF. Além disso, seria válido considerar a representatividade dos indicadores do EGC, atribuindo pesos distintos para melhor refletir a importância de cada indicador em relação aos demais, levando em conta também os custos envolvidos.

Em resumo, este estudo contribuiu para um entendimento preliminar da aderência do SF à EC, destacando seus benefícios potenciais para a sustentabilidade na indústria da construção. Pesquisas adicionais poderão aprofundar essa análise e superar as limitações existentes. O avanço nessa área de pesquisa pode fornecer diretrizes mais sólidas para profissionais da construção e embasar o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a construção alinhada com a EC seja pelo uso do SF ou de outros métodos de construção.

6. Agradecimentos

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001.

7. Referências bibliográficas

- Abadi, M., Moore, D. R., & Sammuneh, M. A. (2022). A framework of indicators to measure project circularity in construction circular economy. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law*, 175(2), 54–66. <https://doi.org/10.1680/jmapl.21.00020>
- Ada, E., Kazancoglu, Y., Mangla, S. K., & Aydin, U. (2023). Barriers to Cement Industry Towards Circular Economy. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 8(4), 612–631. <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2023.8.4.035>
- Aninthaneni, P. K., Dhakal, R. P., Marshall, J., & Bothara, J. (2020). Experimental investigation of “dry” jointed precast concrete frame sub-assemblies with steel angle and tube connections. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(8), 3659–3681. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00837-9>
- Aragão, W. D., Silva, T. A. L., Macedo Júnior, O. L., Batista, J. de C., Carvalho, O. G. G., Rodrigues, A. S., Oliveira, Y. F. D. de, Silva, J. R. F. da, Oliveira, J. P., & Sironi, J. F. (2022). Steel frame – construção sustentável e comparação com o sistema construtivo convencional. *Research, Society and Development*, 11(9), e49011932118. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32118>
- Baumer-Cardoso, M. I., Ashton, W. S., & Campos, L. M. S. (2023). Measuring the Adoption of Circular Economy in Manufacturing Companies: the Proposal of the Overall Circularity Effectiveness (OCE) Index. *Circular Economy and Sustainability*, 3(1), 511–534. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00188-4>

S
W Workshop Internacional
**SUSTENTARE
& WIPIS 2024**
Sustentabilidade, Indicadores
e Gestão de Recursos Hídricos
www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
de novembro
Transmissão online • Evento gratuito

Realização: **PUC** CAMPINA, **EESC - USP**
Apoio Institucional: **Apoio das Bases PUC**

- Bertolini, M., & Guardigli, L. (2020). Upcycling shipping containers as building components: an environmental impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(6), 947–963. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01747-3>
- Brasil. (2024). *Dados estatísticos – Saúde e Segurança do Trabalhador*. Ministério Da Previdência Social. https://www.gov.br/previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/acidente_trabalho_incapacidade
- Cramer, J. (2023). How circular economy and digital technologies can support the building sector to cope with its worldwide environmental challenge? *Npj Urban Sustainability*, 3(1), 28. <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00109-w>
- De Giovanni, P. (2023). Value Creation and Capture in the Circular Economy. In *Strategies for the Circular Economy* (pp. 63–83). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003378846-5>
- de Wolf, C., Brütting, J., & Fivet, C. (2018). Embodied carbon benefits of reusing structural components in the built environment: A Medium-rise Office Building Case Study. *PLEA 2018 - Smart and Healthy within the Two-Degree Limit: Proceedings of the 34th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, 1, 133–138.
- dos Santos, V. F., da Silva, H. C. A., & Lopes, S. C. (2022). ESTUDO COMPARATIVO DA EMISSÃO DE CO2 E ENERGIA EMBUTIDA ENTRE ESTRUTURAS EM ALVENARIA E EM STEEL FRAME. *REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA*, 14(4).
- Figge, F., Thorpe, A. S., & Manzhynski, S. (2022). Value creation and the circular economy: A tale of three externalities. *Journal of Industrial Ecology*, 26(5), 1690–1700. <https://doi.org/10.1111/jiec.13300>
- Frare, A., Ribinski, A., de Freitas, C., & Dala Costa, B. P. (2021, May). Comparativo entre alvenaria convencional e light steel frame em um projeto residencial de Guarapuava-PR. *Congresso Técnico Científico Da Engenharia e Da Agronomia - CONTECC*.
- Gama, M., Herrmann, C., & Fisher, T. (2017). Circular economy in the electronics sector: A holistic perspective. *2016 Electronics Goes Green 2016+, EGG 2016*. <https://doi.org/10.1109/EGG.2016.7829848>
- Gasparri, E., Arasteh, S., Kuru, A., Stracchi, P., & Brambilla, A. (2023). Circular economy in construction: A systematic review of knowledge gaps towards a novel research framework. *Frontiers in Built Environment*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1239757>
- Georgantzia, E., Nikolaidis, T., Katakalos, K., Tsikaloudaki, K., & Iliadis, T. (2022). Dynamic Performance Analysis by Laboratory Tests of a Sustainable Prefabricated Composite Structural Wall System. *Energies*, 15(9), 3458. <https://doi.org/10.3390/en15093458>
- Ghazanfari, A. (2023). An Analysis of Circular Economy Literature at the Macro Level, with a Particular Focus on Energy Markets. *Energies*, 16(4), 1779. <https://doi.org/10.3390/en16041779>
- Harichandran, A., Wandahl, S., & Andersen, L. V. (2023, July 7). *State of the art Technologies that Facilitate Transition of Built Environment into Circular Economy*. <https://doi.org/10.22260/ISARC2023/0101>



Workshop Internacional

SUSTENTARE & WIPIS 2024

Sustentabilidade, Indicadores
e Gestão de Recursos Hídricos

www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
de novembro

Transmissão online • Evento gratuito

Realização



Apoio Institucional



- Holanda, D. K. de S. L., Silva, J. C. V. da, Leão, S. A. B. F., Souza, A. V. L. de, & Costa, A. K. R. (2023). LIGHT STEEL FRAME: UMA REVISÃO DA LITERATURA. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(7), 149–156. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i7.10557>
- Hsu, W.-L., Meen, T.-H., Yang, H.-C., & Yu, W.-D. (2023). Special Issue on Innovative Circular Building Design and Construction. *Buildings*, 13(5), 1322. <https://doi.org/10.3390/buildings13051322>
- Huovila, P., & Westerholm, N. (2022). Circularity and sustainability in the construction value chain. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1078(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012004>
- Koc, K., Durdyev, S., Tleuken, A., Ekmekcioglu, O., Mbachu, J., & Karaca, F. (2023). Critical success factors for construction industry transition to circular economy: developing countries' perspectives. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2023-0129>
- Koval, V., Arsawan, I. W. E., Suryantini, N. P. S., Kovbasenko, S., Fisunen, N., & Aloslyna, T. (2022). Circular Economy and Sustainability-Oriented Innovation: Conceptual Framework and Energy Future Avenue. *Energies*, 16(1), 243. <https://doi.org/10.3390/en16010243>
- Kurniawan Prasetya, D., & Tavio. (2022). Innovative bolted-steel box for seismic-resistant dry-precast concrete beam-column connection. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1116(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1116/1/012012>
- Lam, D., Yang, J., Wang, Y., Dai, X., Sheehan, T., & Zhou, K. (2021). New composite flooring system for the circular economy. *Steel and Composite Structures*, 40(5), 649–661. <https://doi.org/10.12989/scs.2021.40.5.649>
- Lovrenčić Butković, L., Mihić, M., & Sigmund, Z. (2023). Assessment methods for evaluating circular economy projects in construction: a review of available tools. *International Journal of Construction Management*, 23(5), 877–886. <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1942770>
- Marcomini, L. H. de B., Marotta, L. I. M., Livramento, D. E. do, Oliveira, I. R. B. de, & Santos, G. S. (2023). ESTUDO COMPARATIVO DE VEDAÇÃO ENTRE UMA PAREDE UTILIZANDO O MÉTODO LIGHT STEEL FRAMING E A ALVENARIA CONVENCIONAL. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(2), 330–345. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i2.8470>
- Marques, C. T., Gomes, B. M. F., & Brandli, L. L. (2017). Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade. *Ambiente Construído*, 17(4), 79–90. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000400186>
- Mass, B. H., & Tavares, S. F. (2017). Quantidade de resíduos de construção na obra de uma habitação de LSF comparada com um em alvenaria convencional. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782)*, 2(2). <https://doi.org/10.21575/25254782rmetg2017vol2n2353>



Workshop Internacional

SUSTENTARE & WIPIS 2024

Sustentabilidade, Indicadores
e Gestão de Recursos Hídricos

www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
de novembro

Transmissão online • Evento gratuito

Realização



Apoio Institucional



- Molchanova, R. V. (2023). CIRCULAR ECONOMY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY. *EKONOMIKA I UPRAVLENIE: PROBLEMY, RESHENIYA*, 4/3(136), 110–116. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.04.03.013>
- Ncube, A., Mtetwa, S., Bukhari, M., Fiorentino, G., & Passaro, R. (2023). Circular Economy and Green Chemistry: The Need for Radical Innovative Approaches in the Design for New Products. *Energies*, 16(4), 1752. <https://doi.org/10.3390/en16041752>
- Nelles, M., Nassour, A., & Morscheck, G. (2019). Status and development of the circular economy in Germany. In *Circular Economy: Global Perspective*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1052-6_7
- Oladazimi, A., Mansour, S., Hosseinijou, S., & Majdfaghihi, M. (2021). Sustainability Identification of Steel and Concrete Construction Frames with Respect to Triple Bottom Line. *Buildings*, 11(11), 565. <https://doi.org/10.3390/buildings11110565>
- Oliveira, F. M., Sanches, A. E., & Marques Pinheiro, É. C. N. (2021). Uma análise comparativa sobre o custo-benefício do steel frame e da alvenaria estrutural em um projeto condominial. / A comparative cost-benefit analysis of steel frame and structural masonry in a condominium project. *Brazilian Journal of Development*, 7(12), 113979–113993. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-262>
- Prates, B., & Conforte, M. (2019). O uso do sistema Steel Frame como alternativa para melhor produtividade na Construção Civil. *Boletim Do Gerenciamento*, 9(9), 35–44. <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/248>
- Rohde, E., Sener, K., & Roueche, D. (2023). A Comparative Sustainability Study of a Steel-Timber Composite Structural System. *Structures Congress 2023*, 354–368. <https://doi.org/10.1061/9780784484777.031>
- Rossi, A., & Barsanti, S. G. (2022). DESIGN FOR ADAPTABILITY Joints for sustainable building | PROGETTAZIONE PER L'ADATTABILITÀ Giunti per un'edilizia sostenibile. *Sustainable Mediterranean Construction*, 2022(SIXTEEN), 128–136.
- Singh, S., & Singh, H. (2021). *Minimizing Weight of Frames by Adopting Built-up Sections Over Hot-Rolled Sections for Sustainable Construction* (pp. 591–600). https://doi.org/10.1007/978-981-15-9554-7_53
- Stephan, G. (2022). Circular Economy: Illusion or First Step towards a Sustainable Economy: A Physico-Economic Perspective. *Sustainability*, 14(8), 4778. <https://doi.org/10.3390/su14084778>
- Wuni, I. Y. (2023). Drivers of circular economy adoption in the construction industry: a systematic review and conceptual model. *Building Research & Information*, 51(7), 816–833. <https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2211689>
- Yang, Y., Zheng, B., Luk, C., Yuen, K.-F., & Chan, A. (2024). Towards a sustainable circular economy: Understanding the environmental credits and loads of reusing modular building components from a multi-use cycle perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 46, 543–558. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.027>