

COMPARAÇÃO DE MATERIAIS NA ENGENHARIA CIVIL: DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO, METAL E MADEIRA

*COMPARISON OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING: PERFORMANCE AND
SUSTAINABILITY OF CONCRETE, METAL, AND WOOD STRUCTURES*

*COMPARACIÓN DE MATERIALES EN INGENIERÍA CIVIL: RENDIMIENTO Y
SOSTENIBILIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN, METAL Y MADERA*

Ivan Mazoni¹
Andreia Taborda dos Santos²

Resumo

O crescente interesse por práticas de construção sustentável tem impulsionado a pesquisa sobre o uso de materiais como, por exemplo, concreto, aço e madeira, cada um com suas características e impactos ambientais distintos. A problemática identificada reside na necessidade de otimizar o desempenho estrutural e ambiental desses materiais em edificações, especialmente em um contexto de mudanças climáticas e de busca por eficiência. O objetivo geral da pesquisa foi comparar o desempenho estrutural de pilares e vigas feitos de concreto, aço e madeira em uma edificação de três andares, considerando cargas especificadas. A justificativa para esse estudo se baseia na relevância de promover uma construção civil mais sustentável e na urgência de minimizar os impactos ambientais associados à produção e ao uso desses materiais. A metodologia aplicada envolveu a realização de cálculos estruturais para avaliar a resistência e a viabilidade de cada material nas condições propostas. Os principais resultados mostraram que, embora o concreto tenha uma resistência adequada para muitas aplicações, o aço e a madeira ofereceram capacidades de suporte superiores, destacando-se como alternativas viáveis e sustentáveis, especialmente quando gerenciados de forma responsável.

Palavras-chave: construção sustentável; desempenho estrutural; concreto; aço; madeira.

Abstract

The growing interest in sustainable construction practices has driven research on the use of materials such as concrete, steel, and wood, each with its own distinct characteristics and environmental impacts. The identified issue lies in the need to optimize the structural and environmental performance of these materials in buildings, especially in the context of climate change and the pursuit of efficiency. The main objective of the research was to compare the structural performance of columns and beams made of concrete, steel, and wood in a three-story building, considering specified loads. The justification for this study is based on the relevance of promoting more sustainable construction and the urgency of minimizing the environmental impacts associated with the production and use of these materials. The applied methodology involved conducting structural calculations to assess the strength and feasibility of each material under the proposed conditions. The main results showed that although concrete has adequate strength for many applications, steel and wood provided superior support capacities, emerging as viable and sustainable alternatives, particularly when managed responsibly.

Keywords: sustainable construction; structural performance; concrete; steel; wood.

Resumen

¹ Doutor em Bioinformática (Unicamp, 2018), Engenheiro Eletricista (Uninter, 2020), Tecnólogo em Processamento de Dados (Centro Paula Souza, 2004), graduando em Engenharia Civil (Uninter). E-mail: ivan_mazoni@hotmail.com

² Doutora em Engenharia (UFPR), Professora orientadora do curso de Engenharia Civil – UNINTER. E-mail: andreia1taborda@gmail.com

El creciente interés por las prácticas de construcción sostenible ha impulsado la investigación sobre el uso de materiales como, por ejemplo, hormigón, acero y madera, cada uno con sus características e impactos ambientales distintos. La problemática identificada viene de la necesidad de optimizar el rendimiento estructural y ambiental de esos materiales en edificios, especialmente en un contexto de cambios climáticos y de búsqueda de eficiencia. El objetivo general de la investigación fue comparar el rendimiento estructural de pilares y vigas hechos de hormigón, acero y madera en una edificación de tres pisos, considerando cargas especificadas. La justificación para ese estudio se basa en la relevancia de promover una construcción civil más sostenible y en la urgencia de minimizar los impactos ambientales asociados a la producción y al uso de esos materiales. La metodología aplicada involucró la realización de cálculos estructurales para evaluar la resistencia y viabilidad de cada material en las condiciones propuestas. Los principales resultados presentaron que, aunque el hormigón tenga una resistencia adecuada para muchas aplicaciones, el acero y la madera han ofrecido capacidades de soporte superiores, destacando como alternativas viables y sostenibles, especialmente cuando se manejan de manera responsable.

Palabras clave: construcción sostenible; rendimiento estructural; hormigón; acero; madera.

1 Introdução

A construção civil enfrenta um crescente desafio em relação à sustentabilidade, sendo responsável por cerca de 39% das emissões globais de carbono, segundo o GlobalStatus Report (2020). Essa realidade exige uma reavaliação dos materiais utilizados, uma vez que cada um apresenta um ciclo de vida distinto que impacta o meio ambiente de diferentes maneiras. O concreto, amplamente utilizado por sua resistência e durabilidade, gera, no entanto, significativas emissões de dióxido de carbono durante sua produção e consome recursos naturais não renováveis (Pacheco-Torgal, 2013). Em contrapartida, materiais como a madeira são considerados mais sustentáveis, desde que provenientes de fontes geridas de maneira responsável, embora possam não oferecer a mesma resistência estrutural em certas aplicações (Santiago, 2014).

Além disso, a eficiência dos recursos é uma preocupação central no setor. O aço, que é reciclável, tem ganhado destaque em projetos que visam reduzir o desperdício e aumentar a eficiência energética das edificações (Lima, 2018). No entanto, sua produção é extremamente intensiva em energia e pode contribuir significativamente para a pegada de carbono da construção (Ferreira, 2017). Dessa forma, um entendimento profundo das propriedades e impactos de cada material é crucial para a tomada de decisões informadas que equilibrem o desempenho estrutural e a responsabilidade ambiental.

A análise comparativa de materiais na engenharia civil é uma área de pesquisa que vem recebendo crescente atenção, com estudos voltados para o desempenho sob diferentes condições ambientais e de carga. A literatura atual aponta a necessidade de desenvolver diretrizes que auxiliem profissionais na seleção de materiais que atendam a critérios de eficiência, custo e sustentabilidade. Assim, ao comparar concreto, aço e madeira, esse projeto visa contribuir para o

avanço do conhecimento na área, oferecendo *insights* práticos, aplicáveis a projetos de engenharia civil, promovendo uma construção mais sustentável e alinhada com as exigências contemporâneas.

Nesse contexto, a problemática que se apresenta é a falta de um entendimento claro sobre como as propriedades de cada material influenciam na performance estrutural e na sustentabilidade das construções. Como essas escolhas de materiais podem ser otimizadas para atender às demandas de um mundo que busca soluções mais verdes? A investigação se torna relevante ao fornecer dados que auxiliam engenheiros e arquitetos na tomada de decisões mais informadas, impactando positivamente tanto o desempenho das estruturas quanto o meio ambiente.

A pergunta de pesquisa que guia esse estudo é: qual a relação entre as propriedades do concreto, metal e madeira, em termos de desempenho estrutural e sustentabilidade? Essa questão propõe uma análise comparativa que busca elucidar as vantagens e desvantagens de cada material, permitindo um entendimento mais profundo sobre suas aplicações na prática da engenharia civil.

O objetivo geral desse artigo é comparar o desempenho e a sustentabilidade de estruturas construídas com concreto, metal e madeira, proporcionando uma visão abrangente que possa apoiar a seleção de materiais em projetos de construção. Desse modo os objetivos específicos são: analisar as propriedades mecânicas e físicas de cada material; investigar os processos de produção e seus impactos ambientais; avaliar o desempenho de estruturas construídas com esses materiais em termos de durabilidade e segurança; propor diretrizes para a escolha de materiais com base em critérios de sustentabilidade.

A justificativa para essa pesquisa reside na necessidade premente de promover práticas de construção mais sustentáveis, alinhadas às exigências contemporâneas por eficiência e responsabilidade ambiental. Ao explorar as características e implicações de cada material, esse estudo oferece uma contribuição significativa à comunidade acadêmica e profissional, fornecendo informações que podem orientar a escolha consciente de materiais na construção civil.

2 Fundamentação teórica

Na engenharia civil, a escolha dos materiais desempenha um papel fundamental na segurança, durabilidade e eficiência das construções. Os materiais mais utilizados incluem o concreto, o aço e a madeira, cada um com propriedades mecânicas que afetam seu desempenho em diferentes aplicações. O concreto, com alta resistência à compressão, é amplamente empregado em estruturas de suporte, como pilares e fundações (Santos, 2020). O aço, por sua vez, é reconhecido

por sua excepcional resistência à tração e ductilidade, oferecendo flexibilidade e robustez, essenciais em estruturas que requerem maior estabilidade, como pontes e arranha-céus (Costa, 2021).

Além disso, a madeira se destaca por sua leveza e boa resistência em relação ao peso, sendo valorizada tanto por sua estética quanto por suas características sustentáveis. É uma escolha popular em construções residenciais, em que o apelo visual e ambiental são considerações importantes (Moraes, 2022). A compreensão das propriedades mecânicas desses materiais é, portanto, crucial para o desenvolvimento de soluções de engenharia que atendam às exigências de segurança, funcionalidade e impacto ambiental (Pereira, 2023).

2.1 Materiais na engenharia civil

2.1.1 Concreto

O concreto é um material composto, resultante da mistura de cimento, água, agregados (como areia e brita) e, em algumas situações, aditivos que melhoram suas propriedades (Pereira, 2015). Essa combinação permite que o concreto seja moldado em diversas formas e tamanhos, o que contribui, significativamente, para sua versatilidade em aplicações estruturais. Entre suas características mais notáveis, destaca-se a alta resistência à compressão, que varia de 20 a 40 MPa em concretos comuns, podendo ultrapassar 100 MPa em misturas especiais (Mehta; Monteiro, 2014). Essa capacidade de suportar grandes cargas faz do concreto a escolha ideal para elementos estruturais como fundações, pilares e vigas em edificações e infraestruturas (Figura 1) (Gonçalves, 2018).

Além disso, o concreto é amplamente reconhecido por sua durabilidade, resistindo a condições climáticas adversas, como umidade, calor e congelamento, algo que o torna adequado para uma ampla gama de ambientes (Aitcin, 2003). Sua resistência ao fogo é outro atributo importante, proporcionando segurança adicional em edificações (Silva, 2021). Com os avanços tecnológicos e a pesquisa contínua, novos tipos de concreto, como o concreto reciclado e o concreto de alto desempenho, estão sendo desenvolvidos para atender às crescentes demandas por sustentabilidade e eficiência na construção civil (Pereira *et al.*, 2020). Essa evolução tecnológica destaca não apenas a importância do concreto na engenharia moderna, mas também seu papel crucial na promoção de práticas de construção mais sustentáveis e eficientes.

Figura 1 - Fundação feita em concreto

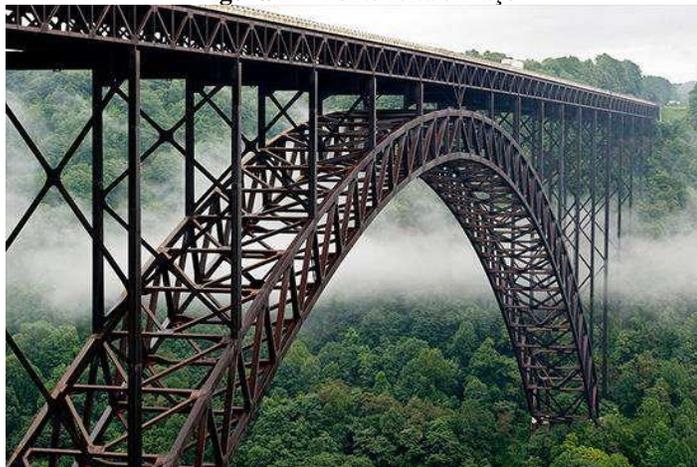


Fonte: elaborado pelos autores (2024).

2.1.2 Metal

O aço é um material metálico amplamente utilizado na engenharia civil, sendo reconhecido por suas excepcionais propriedades mecânicas, que incluem alta resistência à tração e flexibilidade (Ribeiro, 2019). Essa combinação de características torna o aço ideal para diversas aplicações estruturais, desde edifícios até pontes e torres (Figura 2). A resistência à tração do aço pode variar de 250 a 700 MPa, permitindo que suporte cargas elevadas sem sofrer deformações significativas ou falhas (Hibbeler, 2020). Sua capacidade de se dobrar sem quebrar proporciona uma versatilidade essencial para resistir a tensões dinâmicas, como as geradas por ventos fortes ou terremotos (Santos, 2021).

Figura 2 - Ponte feita em aço



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

O módulo de elasticidade do aço, que se situa entre 200 e 210 GPa, é um fator crucial para sua rigidez, permitindo que estruturas esbeltas sejam projetadas com segurança. Isso significa que, mesmo em configurações finas, como vigas longas ou colunas estreitas, o aço pode suportar grandes cargas sem comprometer a estabilidade (Lima, 2018). Além disso, a rapidez de montagem e a possibilidade de pré-fabricação do aço, reduzem significativamente o tempo de construção e os custos associados.

Outro aspecto importante é que o aço é um material altamente reciclável, com uma taxa de reciclagem que pode atingir até 90%, minimizando seu impacto ambiental e tornando-o uma opção sustentável em projetos de construção (Pereira, 2019). Essa combinação de resistência, flexibilidade, eficiência e sustentabilidade faz do aço uma escolha preferencial para engenheiros e arquitetos, possibilitando a realização de projetos inovadores que atendem às necessidades modernas de segurança e estética (Ferreira, 2017).

2.1.3 Madeira

A madeira é um material natural que se destaca pela excelente relação entre resistência e peso, tornando-se ideal para diversas aplicações na construção civil (Faria, 2018). Sua leveza facilita o manuseio e a montagem, permitindo a criação de estruturas que exigem menos esforço durante a movimentação e instalação. Além disso, a madeira apresenta resistência significativa à tração, tornando-se uma escolha viável para elementos estruturais, como vigas e colunas (Figura 3), em que a capacidade de suportar cargas de forma eficiente é essencial (Pereira, 2016).

Figura 3 - Vigas e colunas aparentes em madeira



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Um aspecto importante da madeira é a sua renovabilidade. Quando proveniente de florestas manejadas de maneira sustentável, a madeira pode ser uma alternativa ecológica em comparação com materiais não renováveis, como concreto e aço (Santiago, 2014). O manejo florestal responsável não apenas assegura a disponibilidade do recurso, mas também contribui para a preservação da biodiversidade e a captura de carbono, ajudando a mitigar os efeitos das mudanças climáticas (Mota, 2020).

Ademais, a madeira possui propriedades térmicas, o que a torna eficiente em termos de isolamento, contribuindo para a eficiência energética das edificações (Cezar, 2019). Seu apelo estético e a variedade de acabamentos disponíveis também a tornam uma escolha popular em projetos arquitetônicos, proporcionando um ambiente acolhedor e agradável (Lopes, 2017).

Contudo, é fundamental considerar que a durabilidade da madeira possa ser afetada por fatores ambientais, como umidade e pragas. Portanto, o tratamento adequado e a escolha de espécies resistentes são essenciais para garantir sua longevidade. Em suma, a madeira não apenas oferece uma combinação favorável de resistência e peso, mas também se posiciona como uma opção sustentável e esteticamente versátil na construção moderna.

2.2 Propriedades mecânicas

A Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas de três materiais amplamente utilizados na engenharia civil: concreto, aço e madeira. Cada um desses materiais possui características distintas que influenciam suas aplicações em projetos estruturais. O concreto é conhecido por sua alta resistência à compressão e durabilidade, enquanto o aço se destaca por sua resistência à tração e flexibilidade, permitindo a construção de estruturas esbeltas e robustas. Por outro lado, a madeira, sendo um material natural, oferece uma excelente relação entre resistência e peso, além de ser uma opção renovável e sustentável. A comparação dessas propriedades é essencial para a escolha adequada do material em diferentes contextos de construção, contribuindo para a eficiência e segurança das obras.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do concreto, do aço e da madeira

Propriedade Mecânica	Concreto	Aço	Madeira	Fonte
Resistência à Compressão	20 a 40 MPa (comum); até 100 MPa (especial)	250 a 700 MPa	30 a 60 MPa (dependendo da espécie)	Mehta; Monteiro, 2014
Resistência à Tração	1 a 5 MPa	250 a 700 MPa	30 a 80 MPa (dependendo da espécie)	Aïtcin, 2003
Módulo de Elasticidade	25 a 40 GPa	200 a 210 GPa	10 a 15 GPa	Neville, 2011
Densidade	2,2 a 2,5 g/cm ³	7,8 g/cm ³	0,4 a 0,9 g/cm ³	Faria, 2018
Fator de Poisson	0,1 a 0,2	0,3 a 0,35	0,3 a 0,4	Ribeiro, 2019
Limite de Escoamento	N/A	250 a 400 MPa	N/A	Pereira, 2016
Durabilidade	Alta (dependente de tratamentos)	Alta (não corrosivo)	Moderada (dependente de tratamento)	Mota, 2020

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

3 Metodologia

A pesquisa foi classificada como um estudo experimental, com foco na análise comparativa das propriedades mecânicas do concreto, do aço e da madeira. A escolha por esse tipo de pesquisa foi fundamentada na necessidade de compreender as características intrínsecas desses materiais, de modo a avaliar suas aplicações em projetos de engenharia civil. O estudo foi conduzido em conformidade com as normas técnicas vigentes, garantindo a validade e a confiabilidade dos dados coletados. Para atingir os objetivos gerais da pesquisa, foram planejadas as seguintes atividades: revisão bibliográfica; coleta de dados; análise comparativa; elaboração de relatório.

Para a revisão bibliográfica, inicialmente, foi realizada uma revisão da literatura existente sobre as propriedades mecânicas dos materiais em questão, com a coleta de informações relevantes de livros, artigos e revistas especializadas. Em seguida, para a coleta de dados, foi elaborada uma planilha para sistematizar os dados das propriedades mecânicas do concreto, do aço e da madeira, a partir de dados obtidos de experimentos laboratoriais e testes de resistência, conforme normas estabelecidas.

Com relação à análise comparativa, utilizou-se os dados coletados para realizar uma análise comparativa das propriedades mecânicas, incluindo resistência à compressão, resistência à tração,

módulo de elasticidade, densidade e fator de Poisson. Essa análise visou identificar as vantagens e desvantagens de cada material em diferentes contextos de aplicação. Finalmente, a elaboração de relatório foi redigida, detalhadamente, apresentando os resultados obtidos, bem como as conclusões e recomendações para futuras pesquisas. Essas atividades foram essenciais para o cumprimento dos objetivos propostos, garantindo a consistência e a relevância dos resultados obtidos.

4 Resultados e discussões

4.1 Cálculos estruturais

Para comparar o desempenho dos materiais, foram realizados cálculos estruturais de pilares e vigas, considerando uma estrutura de edifício de três andares com cargas especificadas.

Dados do Projeto:

- Altura do andar: 3 m;
- Área de cada andar: 60 m²;
- Número de pilares: 4;
- Carga vertical aplicada: 25 kN/m²;
- Área da seção transversal dos pilares:
 - 0,3 m x 0,3 m (concreto) = 0,09 m²;
 - 0,2 m x 0,2 m (aço) = 0,04 m²;
 - 0,2 m x 0,2 m (madeira) = 0,04 m²;
- Comprimento da viga: 6 m;
- Cargas concentradas nas vigas: 15 kN/m;
- Resistência à compressão: valores mínimos da Tabela 1

4.2 Cálculos para pilares

Cada pilar suporta a carga de todos os andares acima dele. Para calcular a carga total em cada pilar, usa-se a fórmula 1 apresentada a seguir:

$$\text{Carga total por andar} = \text{Área de cada andar} \times \text{Carga vertical aplicada} \quad (1)$$

$$Carga\ total\ por\ andar = 60m^2 \times \frac{25kN}{m^2} = 1500kN$$

A carga total para os três andares será:

$$Carga\ total\ (3\ andares) = 3 \times Carga\ total\ por\ andar = 3 \times 1500kN = 4500kN$$

Como tem-se 4 pilares, a carga suportada por cada pilar é:

$$Carga\ por\ pilar = \frac{Carga\ total}{4} = \frac{4500kN}{4} = 1125kN$$

4.2.1 Concreto

A carga suportada por pilar de concreto será:

$$Carga\ suportada\ por\ pilar\ de\ concreto = \text{Área} \times Resistência\ à\ compressão\ do\ concreto$$
$$Carga\ suportada\ por\ pilar\ de\ concreto = 0,09m^2 \times \frac{20000kN}{m^2} = 1800kN$$

4.2.2 Aço

A carga suportada por pilar de aço será:

$$Carga\ suportada\ por\ pilar\ de\ aço = \text{Área} \times Resistência\ à\ compressão\ do\ aço$$
$$Carga\ suportada\ por\ pilar\ de\ aço = 0,04m^2 \times \frac{250000kN}{m^2} = 10000kN$$

4.2.3 Madeira

A carga suportada por pilar de madeira será:

$$Carga\ suportada\ por\ pilar\ de\ madeira = \text{Área} \times Resistência\ à\ compressão\ da\ madeira$$
$$Carga\ suportada\ por\ pilar\ de\ madeira = 0,04m^2 \times \frac{30000kN}{m^2} = 1200kN$$

4.3 Cálculos para vigas

A carga concentrada em cada viga é dada pela fórmula 2 a seguir:

$$Carga\ total\ na\ viga = Carga\ concentrada \times comprimento\ da\ viga \quad (2)$$

Substituindo os valores: $Carga\ total\ na\ viga =$ _____ $15kN$

m

$$\times 6m = 90kN$$

Para calcular o momento fletor (M) em uma viga sujeita a uma carga uniformemente distribuída e cargas concentradas, utiliza-se a fórmula 3 a seguir:

$$M = \frac{wL^2}{8} \quad (3)$$

Em que:

M é o momento fletor;

w é a carga total por unidade de comprimento (kN/m);

L é o comprimento da viga (m).

Considerando que cada andar ocupa uma área A de 60 m^2 , a carga total por andar será:

$$\underline{\text{Carga total por andar}} = \frac{25kN}{1500kN} \times 60m^2 = \frac{m^2}{m^2}$$

Como o edifício possui 3 andares, a carga total será:

$$\text{Carga total dos 3 andares} = 3 \times 1500kN = 4500kN$$

Dividindo essa carga pelos pilares, considerando que cada viga suporta a carga de dois pilares:

$$\text{Carga de cada viga} = \frac{4500kN}{2} = 2250kN$$

A carga concentrada será:

$$w = \frac{\frac{15kN}{m} + 2250kN}{6m} = 377,5kN/m$$

O momento fletor depende da carga e do comprimento da viga, não do material em si. Portanto, para os três materiais, o momento fletor será:

$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{377,5kN/m \times 6^2}{8} = 1698,75kNm$$

4.4 Comparação da carga total suportada

Os pilares analisados suportam uma carga de 1125 kN, que se encontra abaixo da carga máxima permitida para cada tipo de material. O concreto, por exemplo, suporta até 1800 kN, o aço até 10.000 kN, e a madeira até 1200 kN. Essa margem de segurança indica que todos os casos analisados garantem a integridade estrutural, proporcionando uma boa margem para eventuais sobrecargas (Santos, 2020). A escolha do material deve considerar não apenas a capacidade de carga, mas também as condições de uso e os requisitos específicos da obra (Costa, 2021).

4.5 Comparação de momentos fletor

Embora o cálculo do momento fletor seja uniforme para os três materiais, uma vez que depende apenas da carga aplicada e do comprimento da viga, a capacidade de resistência a esse momento varia em função das propriedades mecânicas de cada material. O concreto, por sua alta resistência à compressão, pode apresentar desempenho satisfatório em determinadas condições, enquanto o aço, devido a sua resistência à tração e ductilidade, demonstra maior eficácia em situações que exigem flexibilidade e suporte a altos momentos (Pereira, 2023). A madeira, embora possua uma resistência adequada, pode não oferecer a mesma confiabilidade sob cargas elevadas e em longos vãos (Moraes, 2022).

4.6 Sustentabilidade

A sustentabilidade dos materiais utilizados na construção civil é uma preocupação crescente. O concreto, embora amplamente utilizado, apresenta um alto impacto ambiental devido à produção de cimento; no entanto, a adoção de soluções como o uso de agregados reciclados pode atenuar essa questão (Silva, 2021). O aço é um material que pode ser reutilizado e reciclado, mas sua produção é extremamente poluente, levantando preocupações sobre a pegada ambiental associada (Almeida, 2020). Em contraste, a madeira se destaca por sua renovabilidade e menor impacto ambiental, desde que cultivada de maneira sustentável, o que a torna uma escolha mais ecológica em comparação com os outros materiais (Freitas, 2022). Essa análise enfatiza a importância de considerar não apenas a performance estrutural, mas também os impactos ambientais associados ao uso de cada material na construção.

5 Considerações finais

A escolha entre concreto, metal e madeira deve ser baseada em uma análise cuidadosa das exigências do projeto, levando em conta o desempenho estrutural, os custos e a sustentabilidade. O aço se destaca em termos de resistência, mas tem um alto impacto ambiental. O concreto é amplamente utilizado, embora suas emissões de carbono sejam preocupantes. A madeira, por outro lado, é uma opção sustentável, mas requer cuidados adicionais em relação à durabilidade. Para um futuro sustentável na engenharia civil, a combinação de materiais e técnicas inovadoras pode oferecer soluções eficazes.

Referências

- AÏTCIN, P. C. **Concreto: A tecnologia do concreto**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
- ALMEIDA, T. J. **Impacto Ambiental da Indústria do Aço**. São Paulo: Sustentável, 2020.
- CEZAR, M. **Materiais e técnicas de construção em madeira**. São Paulo: Blucher, 2019.
- COSTA, J. F. **Materiais de Construção Civil: Propriedades e Aplicações**. São Paulo: Técnica, 2021.
- FARIA, F. **Construção em madeira: Guia prático**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2018.
- FERREIRA, A. **Materiais de Construção: Propriedades e Aplicações**. São Paulo: Editora Blucher, 2017.
- FREITAS, M. S. **Madeira na Construção Civil: Sustentabilidade e Desempenho**. Rio de Janeiro: Editora Verde, 2022.
- GABC. **2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector**, [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf. Acesso em: 13 dez. 2024.
- GONÇALVES, R. **Estruturas de concreto: Projetos e aplicações**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018.
- HIBBELER, S. **Mecânica dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2020.
- LIMA, R. **Estruturas de Aço: Projetos e Aplicações**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018.
- LOPES, C. **Arquitetura e design com madeira**. Curitiba: Editora do Brasil, 2017.

- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: McGraw-Hill, 2014.
- MORAES, L. A. **Sustentabilidade na Construção: O Uso da Madeira**. Rio de Janeiro: Editora Verde, 2022.
- MOTA, L. **Sustentabilidade e manejo florestal**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2020.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Concrete Technology**. [S. l.]: Prentice Hall, 2010.
- PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. **Eco-eficiência na construção e materiais de construção: avaliação do ciclo de vida (LCA), rotulagem ecológica e materiais verdes**. [S. l.: s. n.], 2013.
- PEREIRA, A. **Engenharia de madeira: propriedades e aplicações**. Florianópolis: UFSC, 2016.
- PEREIRA, A. *et al.* Novas tecnologias no uso do concreto reciclado. **Revista de Engenharia e Construção**, v. 14, p. 25-34, 2020.
- PEREIRA, A. **Materiais de construção: Concreto**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2015.
- PEREIRA, J. **Reciclagem de Materiais Metálicos**. Curitiba: Editora da UFPR, 2019.
- PEREIRA, R. S. **Segurança e Funcionalidade em Projetos de Engenharia**. Belo Horizonte: Editora Prática, 2023.
- RIBEIRO, T. **Engenharia Civil: Fundamentos e Práticas**. São Paulo: McGraw-Hill, 2019.
- SANTIAGO, L. **Florestas e madeira: Uma abordagem sustentável**. São Paulo: Editora Senac, 2014.
- SANTOS, A. B. **Concreto: Características e Usos na Engenharia Civil**. Curitiba: Editora Construção, 2020.
- SANTOS, L. Dinâmica de Estruturas de Aço. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 76, n. 2, p. 45-52, 2021.
- SILVA, A. C. **Reciclagem de Agregados na Construção Civil**. Curitiba: Editora Construção, 2021.