



2023

## A evolução da tecnologia das estruturas metálicas associada à sustentabilidade

Yuri Xavier Borges <sup>a</sup>; Christiane Areias Trindade <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Aluno de Graduação em Engenharia Civil, [yurixavierborges@gmail.com](mailto:yurixavierborges@gmail.com)

<sup>b</sup> Professora Orientadora, Doutora, [christiane.trindade@ufms.br](mailto:christiane.trindade@ufms.br)

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

### RESUMO

A importância econômica, social e ambiental da construção civil aliada à mudança de perspectiva em relação ao uso de estruturas metálicas tem estimulado o desenvolvimento de construções mais sustentáveis bem como os avanços tecnológicos no setor construtivo. Ante de tal cenário, este estudo objetivou apresentar, por meio de pesquisa bibliográfica, a evolução da utilização de estruturas metálicas bem como a sua reciclagem após o fim da vida útil. O estudo apresenta alguns conceitos acerca do contexto histórico das estruturas metálicas na construção civil e suas aplicações, vantagens, desvantagens bem como a revalorização sustentável e a reciclagem. O estudo sobre a desenvolvimento do uso de estruturas metálicas revelou a importância de práticas sustentáveis na indústria da construção, pois a reciclagem e revalorização sustentável dessas estruturas contribuem para a redução do consumo de recursos naturais, da poluição ambiental e dos custos de produção, fomentando a sustentabilidade na construção civil.

**Palavras-chave:** construção civil; reciclagem; revalorização sustentável.

### ABSTRACT

The economic, social and environmental importance of civil construction, combined with the change in perspective regarding the use of metal structures, has stimulated the development of more sustainable constructions and technological advances in the construction sector. In view of this scenario, this study aimed to present, by means of a bibliographical survey, the evolution of the use of metal structures as well as their recycling after the end of their useful life. The study presents some concepts about the historical context of metal structures in construction and their applications, advantages, disadvantages as well as sustainable revaluation and recycling. The study on the development of the use of metal structures revealed the importance of sustainable practices in the construction industry, as the recycling and sustainable recovery of these structures contribute to reducing the consumption of natural resources, environmental pollution and production costs, promoting sustainability in the construction industry.

**Keywords:** civil construction; recycling; sustainable recovery.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde tempos imemoriais, o homem tem buscado se proteger das adversidades ambientais usando os recursos disponíveis na natureza (Pachêco; Freire; Borges, 2010). Essa busca por abrigo e proteção levou a mudanças substanciais na atividade construtiva ao longo da história, reflexo da adoção de tecnologias em substituição ao empirismo (Corbella; Yannas, 2003; Santos, 2008).

Em relação a adoção tecnológica, a indústria da construção civil tem se mostrado uma área promissora em oportunidades, pois o seu desenvolvimento está

interligado ao aumento da capacidade de produção de um país (FIRJAN, 2014).

No contexto brasileiro, a construção civil é um dos setores mais importantes para a economia nacional, respondendo por 6,9% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (CBIC, 2022), além do setor representar 34% do total da indústria nacional com crescimento superior à média da economia do país (Sousa et al., 2015; SEBRAE, 2021; CBIC, 2023). Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) é estimado um crescimento para o setor construtivo entre 1,5% e 2,5 para o ano de 2023 (CBIC, 2023). Esse crescimento se deve em grande parte a crescente utilização das estruturas

metálicas nas edificações (Souza; Morais; Lacerda, 2022).

À vista de tal cenário, as estruturas metálicas se mostram alinhadas ao conceito de desenvolvimento sustentável, pois, a construção metálica é considerada uma das mais sustentáveis, dentre os sistemas construtivos, por empregar tecnologia limpa que reduz impactos ambientais, sem gerar resíduos. Além disso, tem vida útil longa, alto potencial de reciclagem e reutilização sem perder a qualidade (Lemoine, 2010; CBCA, 2022).

Segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA, 2023) em parceria com a Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCEM, 2022), a produção de estruturas de aço em 2022 cresceu 13% em comparação a 2021, e gerou um faturamento de 16,2 bilhões de reais. Esse crescimento demonstra a relevância econômica, social e ambiental da construção metálica, uma vez que impulsiona a cadeia produtiva, alavanca o crescimento econômico e facilita a geração de emprego e renda (Dias, 2015; Sousa *et al.*, 2015; Alaloul *et al.*, 2020; Maseuro, 2021).

Embora os dados da construção civil revelem indicadores econômicos positivos, os sistemas construtivos tem contribuído de forma expressiva para o esgotamento dos recursos naturais, constituindo-se em fonte significativa de poluição ambiental seja pelo elevado consumo de recursos naturais, alteração da paisagem natural ou pela expressiva geração de resíduos (Roth; Garcias, 2009; Santos *et al.*, 2012; ONU, 2014; Dias, 2015). Ante a tal contexto, torna-se imprescindível o estudo da revalorização sustentável de estruturas metálicas bem como a sua reciclagem, no âmbito da construção civil.

Uma estratégia viável para resolver tal situação consiste em promover a revalorização sustentável de estruturas metálicas seja por meio do desenvolvimento de processos mais eficientes, sobretudo, a reciclagem ou ainda pela reutilização de resíduos. Outrossim, desenvolver soluções sustentáveis que possam ser implementadas na construção civil com intuito de reduzir os impactos ambientais decorrentes da geração excessiva de resíduos e descarte inadequado (Dias, 2015).

Por todo o exposto, justifica-se a realização deste estudo por abordar uma lacuna crítica na literatura sobre revalorização sustentável de estruturas metálicas na construção civil, sobretudo, a reciclagem dessas estruturas após o final da vida útil, visando minimizar os impactos ambientais bem como promover a economia circular. Mas, a resolução de tal

problema tem se tornado um desafio para o desenvolvimento sustentável, sobretudo, para a preservação do planeta e o crescimento econômico inclusivo e sustentável (Meneguzzo; Chaicouski; 2009; ONU, 2014).

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar, por meio de pesquisa bibliográfica, a evolução da utilização de estruturas metálicas bem como a sua reciclagem após o fim da vida útil. A metodologia utilizada envolveu um levantamento bibliográfico sobre o histórico de utilização e aplicações de estruturas metálicas no Brasil e no mundo bem como a revalorização sustentável, reciclagem, desafios e vantagens, além das implicações positivas ao meio ambiente.

Este trabalho encontra-se organizado em tópicos, nos quais aborda-se conceitos e fundamentos teóricos relacionados à revalorização sustentável de estruturas metálicas bem como a sua reciclagem na construção civil.

## 2. MÉTODO

Este estudo foi realizado a partir de pesquisa bibliográfica, utilizando a ferramenta de pesquisa do Google Acadêmico, a base de dados do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) bem como a biblioteca virtual *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*.

Foram realizadas buscas nas bases de dados no período entre agosto a novembro de 2023, incluindo os artigos relevantes publicado entre 2003 a 2023. Para a realização da pesquisa foram usadas as seguintes palavras-chave: “evolução da tecnologia das estruturas metálicas”, usadas em combinação com os seguintes descritores: construção civil, sustentabilidade, meio ambiente, revalorização sustentável, reciclagem após a vida útil. A lista de artigos selecionada foi avaliada e as publicações julgadas não pertinentes ao objetivo deste artigo foram excluídos.

## 3. CONTEXTO HISTÓRICO

A Idade dos Metais, representa um período de transição que sucedeu à Idade da Pedra. Essa transição foi marcada pela descoberta das ligas metálicas, técnicas metalúrgicas bem como a evolução das civilizações (Atlas da História do Mundo, 1995; Gosden, 2012). O termo “Idade dos Metais” também se refere às populações do Oriente, norte do Egito e Europa, onde diversas inovações,

como as primeiras embarcações, a roda, sobretudo, técnicas de metalurgia, não sendo possível estabelecer uma datação exata para esse período (Katzenstein, 1986; Atlas da História do Mundo, 1995; Kiss, 2023).

O marco do último estágio tecnológico e cultural da pré-história ocorreu por volta de 1.200 a.C., e está interligado à expansão territorial de diversos povos, originando significativas mudanças sociais (Rosen, 1984; Mota, 2009). Durante esse período, também foram descobertas as técnicas de metalurgia e siderurgia que tornaram o ferro mais rígido e resistente à corrosão, permitindo a produção de materiais modernos para trabalhar com ferro já fundido por meio do aquecimento (Neves; Camisasca, 2013).

Gradualmente, o ferro fundido e forjado passara a ser empregados na construção civil devido ao aprimoramento dos processos de formas laminares (Pfeil; Pfeil, 2009). Em seguida, o uso do ferro em escala industrial intensificou-se na Inglaterra, França e Alemanha, durante a Revolução Industrial. Nesse sentido, Cesar (2008) destaca o papel do alto-forno, inventado no século XV, como um avanço crucial na indústria siderúrgica, possivelmente na Renânia, a atual Alemanha.

A expansão da Revolução Industrial modificou completamente a metalurgia e o mundo. Pois, o rápido desenvolvimento dos métodos de refino e de processamento do ferro possibilitara novas aplicações do metal bem como a construção de máquinas industriais (Cantusio Neto, 2008; Cesar, 2008).

No Brasil, em 1889, foi construída a primeira ponte de ferro fundido, a Ponte de Paraíba do Sul, no Rio de Janeiro (Figura 1) com vãos de 30 metros (Bellei, 2003).

Figura 1 - Ponte Metálica Sobre o Rio Paraíba do Sul



Fonte: Joia, [s.d.].

Entre o período da Regência e o Segundo Reinado (1854), foi construída a primeira ferrovia do Brasil, a Estrada de Ferro Mauá (Figura 2) com um trajeto de, aproximadamente, 14,5 km de extensão que ligava o Porto de Mauá a Fragoso (RJ) (Rodriguez, 2004). As

construções ferroviárias bem como a própria história do sistema ferroviário brasileiro sempre estiveram atreladas às políticas de governo em fases cronológicas distintas e atreladas à história imperial e republicana do Brasil (ANTF, 2017).

Figura 2 - Estrada de Ferro de Mauá



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2004).

No século XVII, foram aprimorados os processos produtivos, resultando em avanços tecnológicos que culminaram na substituição do ferro fundido e ferro forjado pelo aço na construção civil após a Revolução Industrial (Pfeil; Pfeil, 2009). Esse avanço tecnológico viabilizou a concepção de fornos eficientes de alta capacidade para produção do aço em larga escala (Cortez *et al.*, 2017).

No século XVIII, na Inglaterra, foi edificada a primeira obra relevante feita de aço, a ponte Severn com vão de 30 metros em Coalbrookdale (Bellei; Ildony, 2008). Concordam, Pinho e Bellei, 2007 e Zendron (2008), foi na Inglaterra em 1779 a primeira aplicação de aço na construção de pontes. Em seguida, foram construídos em aço edifícios industriais e estações de trens. Corrobora, Cruz (2018) ao citar como marco inicial a construção do Palácio de Cristal em estruturas de aço, em Londres.

Ainda no século XVIII, surgiram na Europa construções que empregavam o aço como elemento estrutural. Todavia, a amplo emprego do aço em edifícios ocorreu somente por volta de 1880, especialmente, em Chicago nos Estados Unidos da América (Kühl, 1998). Contudo, Bellei (1998) refere que as primeiras construções de aço remontam a 1750, consolidando-se tão-somente por volta do século XIX devido ao surgimento do concreto armado o uso do aço alastrou-se na construção civil (Costa; Braga; Salomão, 2020). Desde então, o aço ganhou importância e passou a ser amplamente utilizado na construção civil (Pfeil; Pfeil, 2009).

No Brasil, a utilização do aço nas construções teve início em meados do século XIX e início do século XX, principalmente, na forma de estruturas pré-fabricadas importadas para atender à demanda do

setor construtivo industrializado (Cortez *et al.*, 2018; Inaba, 2017). Em 1921, foi criada a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira (Figura 3), sendo à época a maior siderúrgica integrada a carvão vegetal do mundo (Clark, 2017; Andrade; Cunha, 2002). Desde o início a companhia buscou adotar tecnologias para expandir o negócio e lhe proporcionar ampla capacidade produtiva e competitiva (Silva; Cordeiro, 2020).

Figura 3 - Companhia Siderúrgica Belgo Mineira:  
Vista parcial da Usina Sabará



Fonte: Acervo Centro de Memória da ArcelorMittal/Aços Longos, (2022).

Apesar da criação da Companhia Siderúrgica, o Brasil continuou dependente das importações de aço pois o setor siderúrgico nacional ainda era incipiente, tornando-se mais significativo somente em 1941 com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) (Gomes, 1983; Bellei, 2008; Barros, 2015; CSN, 2020). Além disso, o aumento da produção siderúrgica nacional possibilitou o fornecimento do aço em diversas formas, abrangendo as chapas metálicas que compõem as estruturas metálicas e as barras de aço utilizadas na composição do concreto armado (Costa; Braga; Salomão, 2020; Oliveira, 2019).

Figura 4 - Construção da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN)



Fonte: Arquivo Nacional, (2016).

Em contrapartida, a ampla utilização do aço na construção civil no Brasil se deu tardiamente, e isso deve em grande parte à necessidade de altas

temperaturas para a fabricação (Almeida; Auad, 2019). Assim, a utilização de estruturas metálicas nas construções brasileiras não era tão comum, além disso, o processo de soldagem era lento e ineficaz (Cortez *et al.*, 2017; Bellei, 1998).

Com a fundação da CSN (Figura 4), diversificou-se a estrutura produtiva doméstica da siderurgia, passando a se destacar a produção de aço e laminados (Barros, 2013). Essa mudança, resultou na melhor aceitação do aço na construção civil nacional (Domiciano; Oliveira.; Melo, 2016). Nesse sentido, Cortez *et al.*, (2018), enfatizam que o aço proporcionou liberdade de criação, impulsionando o mercado construtivo. Pois, nessa época, a alvenaria tradicional era o modelo de estrutura amplamente usado nas construções nacionais (Cortez *et al.*, 2018).

Com a expansão do setor siderúrgico, o Brasil passou de importador a exportador de aço, produzindo chapas metálicas, perfis laminados, cabos, tubos e barras de aço (Domiciano; Oliveira.; Melo, 2016; Bellei, 1998). Outrossim, Chamberlain e colaboradores (2013) referem que as empresas metalúrgicas evoluíram em qualidade e quantidade de produção, destinando as suas produções para o mercado interno e externo (Chamberlain; Ficanha; Fabeane, 2013).

A introdução da construção metálica é recente e teve como foco instalações industriais e edifícios leves (Santos, 2007; Vargas, 2012). Contudo, essa ênfase levou a atrasos no desenvolvimento de tecnologias construtivas para o uso do aço em outros tipos de edificações metálicas, resultando em desafios técnicos (Castro, 1999).

Desde o século XVIII, quando se iniciou a construção metálica, o aço tem proporcionado soluções ousadas e eficientes, e de alta qualidade (Goulart, 2014). Todavia, ampla a adoção das estruturas metálicas na construção civil está condicionada à inovação e o desenvolvimento de sistemas construtivos bem como à adequação de sistemas construtivos já existentes (Sales; Souza; Neves, 2001). Pois, o método construtivo mais utilizado no Brasil sempre foi a alvenaria convencional e a estrutural (Freitas; Crasto; Santiago, 2012).

No século XXI, com a consolidação do aço na composição do concreto armado, a construção metálica passou a ter melhor aceitação no mercado construtivo por ser uma alternativa eficaz, resistente e moderna para enfrentar os desafios do setor (Souza; Moraes; Lacerda, 2022). Isso ocorreu devido à constante evolução da construção civil, em especial, no subsetor de edificações (Vasconcelos, 2002; Tomasi, 2005). Desde então, as técnicas construtivas

metálicas evoluíram diversificando as aplicações do aço (Mansano, 2023). Essa evolução estimulou as construções metálicas fazendo com que se tornassem tendência global, por suas características de multiplicidade e versatilidade que permitem sua utilização em projetos criativos e inovadores.

Devido à tais características, o aço tem sido amplamente empregado na construção de estruturas altas e amplas, incorporando formas da arquitetura modernas, arrojadas e distintas (Coelho; Inaba, 2015; Souza; Moraes; Lacerda, 2022). Essa evolução refletiu-se no desenvolvimento de projetos arquitetônicos inovadores como o Museu do Amanhã (Figura 5) projetado pelo arquiteto Santiago Calatrava e inaugurado em 2015, que tem estrutura de concreto com um formato curvilíneo e coberto por uma estrutura metálica com teto removível, lembrando um casco de navio invertido com área de construída de cerca de 15 mil metros quadrados (Oliveira, 2015; Tamaki, 2016).

Figura 5 - Museu do Amanhã - RJ



Fonte: Resende, (2018).

A recente aplicação do aço em projetos construtivos como os estádios de futebol (Figura 6) que foram construídos para a Copa do Mundo de 2014, aeroportos, prédios corporativos, hotéis e até mesmo em edifícios do programa do governo federal evidência o impacto positivo das estruturas metálicas no setor construtivo nacional (Mansano, 2022).

Essa aplicação demonstra a versatilidade do aço bem como a contribuição das estruturas metálicas em promover edificações de forma rápidas, eficientes, esteticamente atraentes e sustentáveis (Silva; Pannoni, 2012; Cortez *et al.*, 2017).

Figura 6 - Estádio da Copa 2014



Fonte: CBCA, (2014).

Na atualidade, a construção metálica representa cerca de 15% da construção civil brasileira, tornando-se uma opção promissora, viável e segura para uma ampla gama de construções, incluindo edifícios, residências, galpões, silos pontes, passarelas e viadutos entre outros (CBCA, 2022; Cortez *et al.*, 2018). Essa demanda significativa pela construção metálica se deve em grande parte a investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novos materiais, inovações tecnológicas ambientais e sociais (Alaloul *et al.*, 2021).

No cenário atual, a construção metálica tem ganhado cada vez mais espaço nas construções das edificações a partir da inclusão de novos materiais constituídos por material de alto desempenho como a rede de placas, espuma de alumínio, metamateriais, grafeno e aço inoxidável (Chagas, 2022; Jannet *et al.*, 2020; Silva, 2020). Essas inovações são mais versáteis em comparação as técnicas tradicionais, permitindo criar estruturas a partir de qualquer metal, liga metálica ou outros materiais. Além de viabilizar a produção de formas personalizadas com propriedades mecânicas ajustadas para aplicações específicas (Rubio *et al.*, 2023).

A aplicação do aço e das estruturas metálicas na construção civil tem revolucionado a forma como são concebidas, construídas e projetadas as edificações e as estruturas, permitindo o desenvolvimento tecnológico e soluções arquitetônicas inovadoras sustentáveis.

#### 4. ESTRUTURAS METÁLICAS

Os suportes utilizados nas construções são chamados de estruturas metálicas e formados por perfis metálicos, sobretudo aço (Santos; Pinas, 2022). Mangiapelo *et al.* (2014) definem estruturas metálicas como sendo a estrutura de sustentação formada por material metálico com ligamentos de chapas parafusados ou soldados.

No âmbito da construção civil, as estruturas metálicas (Figura 7) possibilitam uma multiplicidade de utilização nas construções como edifícios residenciais, edifícios industriais, residências, habitações populares, pontes, passarelas, viadutos, galpões, postos de gasolina, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, torres de transmissão, entre outros (Restrepo, 2013; Karim, 2018; Fonseca; Simões; Martins, 2002).

Figura 7 - Estrutura metálica



Fonte: Mansano (2023).

Os principais materiais fornecidos pela siderurgia para a cadeia de suprimentos da construção civil são materiais metálicos como o Alumínio, Ferro, Cobre, aço (liga ferro carbono) e o Chumbo (Hagemann, 2011; Paiva *et al.*, 2018). Os processos de fabricação dessas estruturas metálicas, é composto por corte, marcação, fabricação de modelos, furação, acabamento, pré-montagem, preparação da superfície e soldagem de peças pré-fabricadas (Sabino; Loos, 2017).

A construção metálica possibilita uma ampla multiplicidade de uso de estruturas metálicas nas obras (Fonseca; Simão; Martins, 2002). Pois, cada obra demanda um tipo diferente de estrutura, que é produzida e utilizada conforme as suas especificidades (Silva; Silva; Leal, 2023). Há uma ampla variedade de tipos de estruturas construídas com o uso aço estrutural (Dias, 1998). Deste modo, apresenta-se a seguir no Quadro 1, alguns dos principais tipos de estruturas metálicas.

Quadro 1: Tipos de estruturas metálicas

Tipos de estruturas	Características	Utilização
Estruturas espaciais	Exploram a geometria tridimensional e proporcionam resistência e estabilidade.	Galpões de carga, centros de convenções, etc.
Estruturas de obras ou Perfis dobrados	Proporcionam versatilidade e eficiência estrutural.	Pontes, viadutos e passarelas.
Estruturas tensionadas ou Treliça	Conferem sustentação aos elementos lineares conectados em pontos e formam uma rede de triângulos.	Pontes, Arcos e Montante.
Estruturas de galpões	Barras de aço com a função de fixar a base das colunas nas fundações.	Galpões comerciais, industriais ou agrícolas.
Estruturas de edifícios	Perfis estruturais unidos por parafusos metálicos, chapas de aço e soldas.	Pilares, vigas e peças de contraventamento metálicos.
Estruturas tubulares	A característica geometria confere resistência à torção e equilibrada à flexão.	Tubos e braçadeiras e ligações.
Estruturas metálicas de mezaninos	Formam uma espécie de andar aberto encaixado entre dois andares.	Usado em edificações com pé direito alto para criar espaços sem ampliar a estrutura física.
Estruturas espaciais	Formam a cobertura de espaços amplos com estruturas reticuladas tridimensionais.	Rodoviárias, galpões de carga, centros de convenções, etc.

Fonte: Adaptado de Hibbeler, (2005), Dias, (1998).

Dentre os diversos tipos de estruturas metálicas, os principais são mezanino, cobertura, edifício e galpão. Quanto a ampla aplicação, Araújo (2022) cita as treliçadas tem ampla aplicação por sua disposição construtiva proporcionar maior resistência e suporte aos diversos esforços, em especial, em coberturas, pontes seja rodoviária ou ferroviária, torres de transmissão elétrica, entre outros.

A utilização de estruturas metálicas nas construções, segundo Cruz, (2017) possibilita trabalhar com vãos maiores, construção seca e com maior rapidez em relação às estruturas de concreto armado.

Os metais apresentam três tipos de propriedades, a saber: propriedade físico-químicas, tecnológicas e mecânicas. Pois, a combinação dos metais por meio de mistura de dois ou mais resulta na substância denominada de liga metálica.

#### 4.1. Liga metálica

Para Antunes, (2012), a liga metálica é um elemento separado ou composto adicionado ao metal base. Sendo em geral, a maioria delas composta por elementos metálicos (Tomelin, 2012). Em virtude de sua composição, as ligas metálicas, podem ser grupadas em duas classes: ferrosas e não-ferrosas. Deste modo, as ligas não-ferrosas são as aquelas que não contém ferro em sua composição, mas, contém outro metal base (cobre, zinco, bronze, alumínio e magnésio) com alguma característica específica (Canale, 2015; Barbosa, 2014). Já as ligas metálicas ferrosas aquelas que contém o ferro é o principal

constituente e incluem aços e ferros fundidos (Silva, 2021; Barbosa, 2014). Portanto, conhecer as propriedades dos metais bem como das ligas metálicas é essencial, sobretudo, na ocasião de elaborar e executar do projeto (Ferraz, 2003). Assim, apresenta-se na Tabela 1, algumas das propriedades dos metais e suas ligas, mesmo em diferentes graus, mas comuns a todos (Pfeil, 2009; Lima, 2010).

Tabela 1 - Propriedades Básicas dos Metais

Propriedades mecânicas	
Resistência Mecânica	É capacidade de resistir a uma carga sem ruptura ou grandes deformações.
Dureza	É capacidade de um metal para resistir à abrasão, penetração, ação de corte ou distorção permanente.
Fragilidade	É capacidade de um metal que permite pouca flexão ou deformação sem quebrar.
Maleabilidade	É capacidade de um metal ser moldado em várias formas sem se quebrar, ou outros efeitos prejudiciais (martelado, enrolado ou pressionado).
Densidade	É o peso de um volume unitário de um material.
Elasticidade	É a propriedade que permite que o metal volte à sua forma original quando a força que causa a mudança de forma é removida.
Propriedades Tecnológicas	
Tenacidade	É a capacidade do material de absorver energia até sua ruptura.
Ductilidade	É a propriedade do metal que o permite fique permanentemente desenhado, dobrado ou torcido em várias formas sem quebrar.
Fusibilidade	É a capacidade de um metal se tornar líquido pela aplicação de calor.
Soldabilidade	É a propriedade de certos metais de se unirem, depois de serem aquecidos
Usinabilidade	É a resistência oferecida ao corte, medida pela energia necessária para usinar o material no torno, sob condições padrão.
Fadiga	Ao ser submetido a esforços dinâmicos durante longo período, observa-se a fraqueza das propriedades mecânicas do material ocasionando a ruptura.
Propriedades térmicas	
Condutividade Térmica	É a propriedade física dos materiais de transferir mais ou menos calor.
Dilatação	É o aumento do volume de um corpo que sofre variação em sua temperatura quando submetido à ação do calor
Propriedades elétricas	
Condutividade Elétrica	É a propriedade que possuem certos materiais de permitir maior ou menor transporte de cargas elétricas.
Propriedades químicas	
Resistência à corrosão	É a propriedade que o material tem de evitar danos causados por outros materiais que possam deteriorá-lo.

Fonte: Adaptado de Ferraz (2003), Callister (2007), Souza (2009), Pfeil, (2009), Lima (2010), Gabardo, (2011), Antunes (2012), Climet, (2013) e Purper, (2016).

#### 4.2. Aço

No âmbito das construções metálicas, diferentes tipos de aço podem ser empregados, cada uma com características técnicas, estruturais e estéticas conforme a necessidade de utilização de cada projeto (Torres, 2017). Segundo Silva (2021) os tipos de aços podem classificados conforme a concentração de carbono: baixo carbono, médio-carbono e alto-carbono.

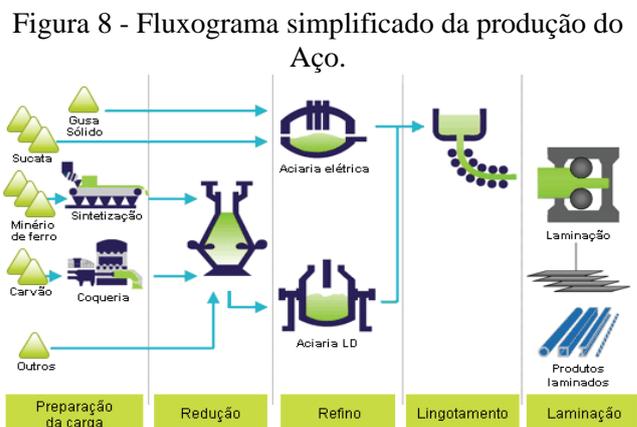
O aço é uma liga metálica feita de ferro e carbono com teor de carbono variável (minério de ferro, carvão e cal) na composição entre 0,008 e 11% (Chiaverini, 1992). Isidro Neto *et al.* (2021) definem o aço como um material resultante da interligação do carbono com

ferro e outros elementos por meio de um processo químico.

Existem duas formas básicas de produzir o aço em larga escala: a primeira forma envolve o uso de minério de ferro e carvão nas aciarias de alto-forno (usinas integradas). A segunda forma aproveita sucata ferrosa em fornos elétricos (semi-integradas) (Instituto Aço Brasil, 2015).

Segundo o Instituto Aço Brasil (2015) a fabricação do aço pode ser dividida em quatro principais etapas: preparação da carga, redução, refino e laminação. Corroborando, Rizzo, 2022 ao citar que na fabricação do aço laminado a frio e aço laminado a quente utiliza-se uma ampla variedade de ligas.

A seguir, observa-se no fluxograma simplificado do processo de produção do aço na Figura 8, na qual observa-se as quatro fases do processo de produção.



Fonte: Instituto Aço Brasil, (2011).

## 5. ESTRUTURAS METÁLICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na construção civil, a utilização de metais surgiu por volta do século XVII, com o uso do aço (Gonzales, 2009). O uso de metais, sobretudo, o aço na construção se destaca por sua versatilidade e resistência, sem que haja perda do padrão estético. Desde então, a inclusão dos metais nas construções foi marcada por várias transformações, desde as primeiras civilizações que usavam cobre, prata, bronze e o ferro, até as recentes inovações, as construções em aço (Lourenço; Branco, 2012).

As estruturas metálicas possuem um método construtivo específico e a sua incompreensão pode levar à adesão de soluções conflitantes com o sistema estrutural. Pois, essas construções exigem conhecimento das potencialidades e limitações, além de muita atenção desde a elaboração do projeto até o final da obra (Sales; Sousa; Neves, 2001). Corroborando Cruz (2020), ao citar que o sistema construtivo que

utiliza as estruturas metálicas é um sistema industrializado muito empregue na construção civil, pois as estruturas chegam ao canteiro de obras prontas para a montagem.

Assim sendo, as fases de um projeto de estruturas metálicas envolvem desde as fases de anteprojeto, projeto básico até o projeto executivo.

Atualmente, os avanços tecnológicos na construção metálica incluem novas estruturas metálicas pertencentes a material de alta performance denominado de rede de placas (Rubio *et al.*, 2023). Essa inovação é mais versátil em comparação as técnicas tradicionais, pois permite criar estruturas a partir de qualquer metal, liga metálica ou outros materiais.

A área construtiva tem procurado por possibilidades para o seu desenvolvimento visto que ainda predominam as construções em concreto. Mas, o setor construtivo tem sinalizado que tal situação está se modificando a partir da inclusão de novos materiais e procedimentos, em especial, as estruturas metálicas (Albuquerque; Pinheiro, 2002). Essas modificações têm sido impulsionadas pela necessidade de se obter estruturas mais fortes, robustas, duradouras e sustentáveis (Romero; Ornstein, 2003).

Por fim, vale ressaltar que o restrito uso das estruturas metálicas nas construções, se deve em grande parte por razões culturais, pelo desconhecimento de suas características e vantagens, levando em consideração apenas o valor.

### 5.1. Aplicações de estruturas metálicas

O emprego de estruturas metálicas em aço além de proporcionar beleza estética contemporânea às construções ainda tem apelo à sustentabilidade por oferecer benefícios como a redução significativa do volume de materiais (areia, brita, cimento e ferragens). Adicionalmente, destaca-se a capacidade de reaproveitamento das estruturas em aço, uma vez que o material é 100% reciclável (CBCA, 2014).

A utilização de estruturas metálicas na arquitetura civil está ligada às ideias de modernidade e inovação, expressas em obras de notável expressão arquitetônica. Outrossim, Penna e Pinho (2008) citam que a aplicação de estruturas metálicas nas construções melhora a estética da edificação e inspira a arquitetura moderna.

Segundo o Sebrae (2023) a vantagem da aplicação das estruturas metálicas nas obras construção civil vai muito além da expressão estética marcante pois inclui reduzir o tempo de construção, agilizar o uso de materiais e mão-de-obra e aumenta a produtividade.

Outro aspecto relevante referente as estruturas metálicas, é a possibilidade de maior arranjo arquitetônico, pois podem substituir as estruturas convencionais (Almeida, 2019). Nesse contexto, Dias (2001) afirma que a notável flexibilidade do aço o transformou em produto com destaque no cenário mundial sendo amplamente requisitado por arquitetos e engenheiros.

Os projetos residenciais que aplicam estruturas em aço como elemento estrutural nas edificações têm se expandido cada vez mais, sobretudo, na construção civil. Acrescenta Bellei (2010) que é seguro trabalhar com aço estrutural, pois trata-se de material homogêneo com limite de escoamento, ruptura e módulo de elasticidade bem definidos.

O uso do aço na construção civil, sobretudo, o método construtivo que utiliza as estruturas mistas busca aliar a resistência do concreto com o menor tempo de execução propiciada pelo aço (Taranath, 2012). A seguir a Figura 9 representa o exemplo de aplicação de aço estrutural misto (aço pesado, aço leve e concreto) em projeto residencial.

Figura 9 - Exemplo de aplicação do aço estrutural misto em projeto residencial



Fonte: Arq Smart Construction, (2020).

Nos últimos anos, o aumento da produção de aço estrutural no Brasil levou a busca por novas soluções arquitetônicas e estruturais (Souza e Silva; Oliveira, 2015). Dessa necessidade, surgiram as estruturas mistas de aço e concreto, visto que os materiais de revestimento como o concreto protegem essas estruturas metálicas do fogo e da corrosão (Figueiredo, 1998).

Segundo a ABCEM, (2021) a ampla adesão às estruturas mistas em edificações como os edifícios, residências, shoppings entre outras é pela ampla área de aplicação desses elementos estruturais. Um exemplo de aplicação de estruturas mistas é a edificação do Edifício *The One* em São Paulo, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Exemplo de aplicação do sistema misto em edifícios: Edifício *The One*



Fonte: Innova, (2021).

Segundo, Cruvinel e Melo (2023) as casas com estruturas pré-fabricadas de aço são resistentes e duráveis, podendo suportar condições climáticas extremas. Assim, apresenta-se a seguir na Figura 11, um exemplo de projeto residencial no qual foi utilizado estruturas em aço pré-fabricados industrializados.

Figura 11 - Exemplo de aplicação de estruturas pré-fabricadas industrializados



Fonte: Arq Smart Construction, (2020).

A Figura 12, mostra a aplicação da estrutura metálica em aço (pilares, vigas e *steel deck*) na edificação de dois pavimentos que permitiu a redução de custos e tempo de construção. Corroborando, Cichinelli (2014) ao afirmar que a utilização do sistema *steel deck* (laje mista em aço galvanizado e concreto) torna mais simples e viável o acabamento dentro da obra.

Figura 12 - Exemplo de aplicação da estrutura metálica em aço



Fonte: Arq Smart Construction, (2020).

Os projetos contemporâneos têm utilizado nas edificações estruturas em aço pré-fabricadas de forma sustentável, que proporcionam arquitetura brutalista, com materiais naturais e aparentes (ASC, 2020). A Figura 13, mostra um exemplo de aplicação de estruturas pré-fabricadas em projeto residencial.

Figura 13 - Exemplo de aplicação da estrutura metálica pré-fabricada



Fonte: Arq Smart Construction, (2020).

A construção de casas de estrutura metálica não é algo tão comum no Brasil. Contudo, nos Estados Unidos da América (EUA) e em vários países da Europa, o processo é muito utilizado (ASC, 2020).

Na atualidade, a demanda é por processos construtivos econômicos que proporcionem conforto térmico e acústico, resistência e durabilidade e que sejam sustentáveis (Cruvinel; Melo, 2023). Com isso, a construção metálica tem se tornado uma alternativa eficiente em termos de sustentabilidade, economia de energia, material e tempo de execução em relação a construção convencional.

### 5.3. Desvantagens

A construção metálica é um método relativamente novo no Brasil, destaca-se por sua multiplicidade de aplicações, embora apresente desvantagens como o alto custo na edificação e dificuldades logísticas (Teixeira, 2007). Assim sendo, apresenta-se a seguir

no Quadro 2, as principais desvantagens das estruturas metálicas.

Quadro 2: Desvantagens das estruturas metálicas

Desvantagens	Características
Mão-de-obra treinada e especializada	Falhas na execução e na concepção estrutural de elementos pode causar danos a edificação.
Vulnerabilidade a corrosão	Falta de manutenção de sistemas protetivos (pinturas e galvanização)
Ruído gerado ou vibrações	Ruído pode incomodar o usuário de edificações.
Custo elevado	Valor elevado em comparação a outros sistemas construtivos.

Fonte: Adaptado de Pereira, (2019).

Outra desvantagem refere-se as limitações em relação aos equipamentos de transporte e montagem bem como a restrita movimentação no canteiro da obra (Mello; Prevedello; Masutti, 2015).

#### 5.4. Vantagens

No âmbito da construção civil, as estruturas em aço permitem maior rapidez no processo construtivo, logo proporciona maior qualidade final das peças e mão-de-obra qualificada para sua execução (Pereira, 2018). A construção metálica apresenta vantagens quando comparadas aos métodos convencionais empregados na construção civil (Souza; Morais; Lacerda, 2022). Corroboram Freitas, Alves, Marques (2021) referindo que as principais vantagens são: rapidez na construção, precisão, relação custo/benefício, canteiro limpo e sustentabilidade.

A seguir no Quadro 3, constam algumas das vantagens da construção metálica destacando-se a elevada resistência do material em diferentes estados de tensão, traduzindo-se em adesão, compressão, flexão, torção e outros efeitos (Bellei, 2006).

Quadro 3: Vantagens: Estruturas Metálicas

Vantagens	Características
Liberdade no projeto de arquitetura	Liberdade de criação, consente elaborar de projetos arrojados com acentuada expressão arquitetônica.
Menor tempo de execução	A estrutura metálica contém projeções para ser montada e fabricada em serie industrialmente em menor tempo e, reduz em até 40% o tempo de execução.
Maior limpeza de obra	ausência de entulhos, como escoramento e fôrmas.
Flexibilidade	Tolera adaptações, ampliações, reformas e alteração de ocupação de estruturas.
Resistência à corrosão	O aço possui resistência à corrosão atmosférica desde que determinados cuidados sejam tomados (pintura ou galvanização).
Garantia de qualidade	A produção de estruturas pré-fabricadas ocorre sob um rígido controle no processo industrial e com mão-de-obra especializada.
Preservação do meio ambiente	A estrutura metálica é menos agressiva ao meio ambiente.
Compatibilidade com outros materiais	É compatível material de fechamento seja vertical ou horizontal, admitindo os convencionais até os componentes pré-fabricados.
Reciclabilidade	O aço é 100% reciclável e podem ser desmontadas e reaproveitadas e recicladas com menor desperdícios.

Fonte: Adaptado de Fonseca *et al.* (2002), Cortez *et al.* (2017) e Inaba (2021).

Dentre as principais vantagens do uso de estruturas na construção civil tem-se a redução do tempo de

construção, racionalização do uso de materiais, redução de gasto com mão-de-obra e maior produtividade (Madeiro, 2023).

No tocante aos benefícios da construção metálica, vale destacar a sua multiplicidade que a posiciona como relevante opção construtiva por apresentar resistência mecânica, rigidez, leveza, facilidade de processamento, versatilidade, sustentabilidade, durabilidade em condições adversas, facilidade de limpeza e a manutenção simplificada, resistência à umidade e de fácil instalação (Echenique *et al.*, 2017; Leite *et al.*, 2023).

As vantagens das estruturas metálicas perpassam aspectos como durabilidade, leveza, versatilidade, sustentabilidade e praticidade, pois convergem para uma alternativa eficiente e moderna nos cenários da construção civil.

## 6. RECICLAGEM DE ESTRUTURAS METÁLICAS

O Brasil tem potencialidade para reciclar 98% dos resíduos da construção civil, porém somente 21% é de fato reciclado. Apesar disso, há potencial de reciclar ou de reutilizar tais resíduos, inclusive podendo gerar a economia de aproximadamente 40%, em relação ao gasto com descarte inadequado (Rosa, 2021). Assim, implementação da reciclagem dos resíduos gerados pela construção civil, acarreta na diminuição dos impactos ambientais conforme determinados a Lei nº 12.305 (Brasil, 2010; Mezech; Freitas, 2021).

Segundo a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), os resíduos de construção civil são todos aqueles provenientes das construções, reformas, reparos e demolições de obras, bem como a preparação e escavação de terrenos (Brasil, 2002; Brasil, 2010). Esses resíduos de construções também são denominados de entulho.

Em relação ao manejo dos resíduos sólidos, cabe observar o disposto na Lei n. 12.305 (BRASIL, 2010) em seu Art. 33, inciso II, e também no Art. 14, inciso I, do Decreto n. 10.936 (BRASIL, 2022), que regulamentam que após o uso de alguns materiais, deverá ser realizada a separação adequada do material para o recolhimento.

Na construção metálica a geração de resíduos se inicia na própria indústria siderúrgica, a qual gera resíduos em todas as suas etapas de produção, acarretando em grandes volumes de resíduos (Machado, 2005). Esses resíduos, segundo Duarte, (2016) podem ser considerados subprodutos ou coprodutos da produção

de aço, com possibilidade de reaproveitamento interno ou externo.

É sabido que as estruturas metálicas são 100% recicláveis e podem ser desmontadas e reaproveitadas. Essa reciclabilidade do aço também é uma vantagem importante, pois contribui para a sustentabilidade e a redução do impacto ambiental (Rice *et al.*, 2012).

Por todo o exposto, é possível compreender que o grande desafio do setor construtivo é aliar uma produção sustentável com a reciclagem e o gerenciamento eficiente de resíduos sólidos.

## 7. SUSTENTABILIDADE

O termo sustentabilidade, é empregado quando o desenvolvimento de atividades na sociedade não implique de forma negativa as gerações futuras (Franco *et al.*, 2022). Para Ferreira (2010) a sustentabilidade se refere a condição ou qualidade de algo que pode se sustentar, defender, manter ou conservar. Já Horbach (2005) e Dempsey *et al.* (2011) entendem que a sustentabilidade é a reunião de três tipos de interesses simultâneos e em equilíbrio, compreendendo o aspecto ambiental, econômico e social.

A sustentabilidade para a área de obras e serviços de engenharia está ligada a cinco importantes aspectos: uso de recursos; eliminação de resíduos; emissões atmosféricas; poluição sonora e a poluição da água. Corroboram Silva *et al.* (2009), definindo a sustentabilidade como uma nova abordagem, especialmente, em relação ao aspecto econômico, pois visa a responsabilidade social e ambiental, ao reduzir o consumo de recursos naturais, mitigar os impactos ambientais e promover a preservação do planeta para as gerações futuras.

Na construção civil, a sustentabilidade visa minimizar o consumo de recursos naturais e a maximização da sua reutilização, a utilização de recursos renováveis e recicláveis, a proteção do ambiente natural, a criação de um ambiente saudável e não tóxico e a procura de qualidade na criação do ambiente construído (Gervásio, 2012.)

Segundo o Ministério das Cidades, a indústria da construção civil é um dos principais geradores de impacto ambiental no Brasil, representando cerca de 51% a 70% dos resíduos sólidos urbanos produzidos no país (Rosa, 2021). Em relação aos impactos ambientais, Moro *et al.* (2015) acrescentam que nas indústrias de fabricação de estruturas metálicas e esquadrias de metal de pequeno e médio porte o

principal impacto ambiental é a geração de resíduos sólidos.

No âmbito da construção civil, é imprescindível o equilíbrio entre os três pilares da sustentabilidade para garantir o desenvolvimento duradouro e benéfico para as gerações presentes e futuras. Pois, além da própria construção civil, a indústria metálica também contribui para o esgotamento progressivo dos recursos naturais impactando o meio ambiente (ONU, 2022). Nesse aspecto, corrobora o estudo de Pedrotti e Mistura (2010) sobre os impactos ambientais decorrentes dos processos produtivos na indústria metalúrgica ao constatar que as emissões atmosféricas afetam a qualidade do ar, e que os resíduos sólidos descartados de forma inadequada causam poluição ambiental, além do amplo consumo de recursos naturais como o uso de água e energia elétrica.

A reciclagem dos resíduos proveniente da construção metálica é fundamental para reduzir o desperdício e o impacto ambiental. Logo, faz-se necessário investir em pesquisas e desenvolvimento tecnológicos eficientes para tornar a reciclagem de estruturas metálicas uma prática comum e viável.

Portanto, a construção metálica é sustentável, visto que o aço é o material mais reciclável do mundo, inclusive pode ser reutilizado muitas vezes sem perder suas propriedades (Liubartas *et al.*, 2015). Dessa forma, ao se promover a revalorização sustentável de estruturas metálicas contribui-se para sustentabilidade na construção civil.

## 8. REVALORIZAÇÃO SUSTENTÁVEL

A relevância econômica, social e ambiental da construção civil, aliada à mudança de perspectiva em relação ao uso de estruturas metálicas nas construções tem impulsionado o setor construtivo (Jannet *et al.*, 2020). Mesmo assim, existe ainda um atraso significativo em relação aos outros segmentos industriais (Viana, 2023).

Na maioria das obras, sobretudo, projetos de pequeno e médio porte, a falta de planejamento é evidente (Moro *et al.*, 2015). Além de faltar estratégias prévias, que visem atender às necessidades dos clientes, organizar a logística de produção, controlar a qualidade e os custos, e manter a competitividade dos preços de mercado, acabam por comprometer a eficiência geral da indústria da construção (Bowersox; Closs; Cooper, 2007).

Segundo a Resolução n. 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), considera-se reutilização o processo de reaplicação de resíduos, sem a sua modificação e, a

reciclagem “o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação” (Brasil, 2002, p. 95-96).

O processo de revalorização sustentável de estruturas metálicas busca prolongar sua vida útil, reduzindo seu impacto ambiental, e pode ser realizado por meio de diversas ações como manutenção e reparo (regular), adaptação e reciclagem (Raabe; Tasan; Olivetti, 2019; Vanson; Marangé; Levrat, 2022; Santos; Cardoso, 2023). Quanto aos resíduos provenientes de reformas, construções e demolições, Rodrigues (2021) cita que se faz necessário considerar a possibilidade de sua reciclagem e reaproveitamento.

Em relação a estruturas metálicas antigas, é possível valer-se dos benefícios da reciclagem e da reutilização desses materiais, pois, além de reduzir a quantidade de resíduos gerados pela construção civil, a reciclagem das estruturas metálicas após o fim de sua vida útil também proporciona uma oportunidade de renovar, revitalizar e reutilizar os metais (Mansano, 2023).

Para que a revalorização sustentável de estruturas metálicas seja efetiva, faz-se necessário considerar alguns aspectos-chave. Inicialmente, é necessário estabelecer um processo eficiente para a desmontar as estruturas metálicas antigas, a fim de garantir a remoção adequada dos materiais e minimizar danos (Purchase *et al.*, 2022; Santos; Cardoso, 2023). Em seguida, é crucial separar e classificar os diferentes elementos conforme as propriedades e uso futuros.

Outro aspecto importante, é a análise metódica das propriedades mecânicas e do estado de conservação das estruturas metálicas para determinar a viabilidade da reciclagem (Castro, 1999). É imprescindível também analisar a resistência, a qualidade e a durabilidade dos materiais para garantir a segurança e eficiência.

A revalorização sustentável de estruturas metálicas pode trazer uma série de benefícios, conforme demonstrado na Quadro 4.

**Quadro 4: Benefícios da revalorização sustentável**

Redução do consumo de recursos naturais	A reutilização ou reciclagem evita a extração de novos recursos naturais.
Redução da poluição ambiental	Evita a emissão de gases poluentes, como o dióxido de carbono e óxidos de enxofre.
Redução dos custos de produção	A reutilização ou reciclagem de estruturas metálicas pode diminuir os custos de produção.
Adaptação	Podem ser adaptadas conforme as novas necessidades ou condições.
Reciclagem	Podem ser recicladas, evitando a geração de resíduos (reparadas ou adaptadas).
Manutenção e reparo	Ajuda a prolongar a sua vida útil e evitar a necessidade de substituição

Fonte: Adaptado de Broadbent (2016), Noya *et al.* (2017) e Santos e Cardoso, (2023).

Além das vantagens apresentadas no Quadro 3, a utilização de estruturas metálicas na construção civil, também proporciona benefícios como a segurança, robustez, flexibilidade, adaptação e agilidade na execução da obra, em especial, a reciclagem e a reutilização já que as estruturas podem ser desmontagem e remontagem em outro local. Logo, cabe destacar que as características das estruturas metálicas permitem que elas se enquadrem como candidatas a revalorização sustentável, conforme descrito no Quadro 4.

Ainda que as estruturas metálicas apresentem algumas limitações em relação a necessidade de mão-de-obra especializada, vulnerabilidade a corrosão e elevado custo de produção conforme consta no Quadro 2, a revalorização sustentável dessas estruturas, conforme mostrado no Quadro 4, minimiza tais desvantagens, pois, na revalorização sustentável, a reutilização e a reciclagem evitam a extração de novos recursos naturais, reduzindo os custos de produção metálica.

Portanto, ao revalorizar as estruturas metálicas, contribui-se para a redução do consumo de recursos naturais, a redução da poluição ambiental e a redução dos custos de produção (John *et al.*, 2015), pois, essas estruturas são totalmente reutilizáveis, inclusive os resíduos metálicos podem ser reaproveitados em outras atividades.

John *et al.* (2015), defendem que “não existe sustentabilidade sem durabilidade”. Desta forma, promove-se a revalorização sustentável de estruturas metálicas por meio da construção de novos edifícios ou infraestruturas, fabricação de novos materiais e novos produtos.

É sabido que há uma demanda crescente por soluções construtivas mais eficientes, capaz de reduzir a produção de resíduos e agilizar a construção (Bueno, 2023). Ante a tal contexto, a revalorização sustentável de estruturas metálicas por meio da reciclagem após o fim da vida útil ganha cada vez mais relevância (UNEP, 2013). Assim, a reciclagem de estruturas metálicas já utilizadas é uma opção viável para reduzir o desperdício de materiais e contribuir para a preservação do meio ambiente.

Por fim, ressalta-se que as técnicas avançadas de reciclagem e uso de processos de recuperação de energia podem aumentar a eficiência da revalorização sustentável de estruturas metálicas.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre a evolução da tecnologia das estruturas metálicas associada à sustentabilidade revelou a necessidade de o setor da construção civil adotar uma abordagem sustentável em relação ao meio ambiente e à sustentabilidade.

A evolução das técnicas construtivas ao longo da história, ampliou a diversificação de aplicação do aço nas construções. Essa evolução também estimulou as construções metálicas fazendo com que se tornassem tendência global, por suas características de multiplicidade e versatilidade que permitem sua utilização em projetos criativos e inovadores.

O estudo mostrou ainda que a reutilização e a reciclagem das estruturas metálicas podem contribuir para a economia circular, pois reduzem a quantidade de resíduos descartados de forma inadequada. Apesar desses avanços significativos, a pesquisa enfrentou desafios consideráveis na identificação de artigos acadêmicos específicos sobre a revalorização sustentável de estruturas metálicas. A escassez de literatura consolidada sobre esse tema complexo reflete a relativa novidade desse conceito na pesquisa acadêmica.

A multiplicidade das estruturas metálicas, sobretudo a durabilidade e a reciclabilidade, situam essas estruturas como uma opção construtiva sustentável, visto que a capacidade de se reciclar o metal após o fim de sua vida útil é uma alternativa para reduzir a demanda por recursos naturais não renováveis e, por conseguinte, os impactos ambientais relacionados à produção de novos materiais.

Entretanto, pode-se notar que há desafios que requerem atenção na implementação efetiva da reciclagem de estruturas metálicas, tais como a otimização de processos, a viabilidade econômica em larga escala e o comportamento em diferentes condições ambientais.

Em síntese, a evolução da tecnologia das estruturas metálicas associada à sustentabilidade revelou a importância de práticas sustentáveis na indústria da construção, já que a reciclagem e revalorização sustentável das estruturas promovem a transição para um modelo de construção consciente e sustentável, mas que há ainda um longo caminho a percorrer na busca desse modelo.

## 10. AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, pois sem Ele em minha vida não teria chegado até aqui. Também

agradeço aos meus pais Waldecir e Sandra, pelo amor e carinho dedicados e pelo apoio incondicional.

A minha namorada Raquel, por sempre estar ao meu lado me apoiando e me incentivando a seguir em frente e realizar meus sonhos.

A minha gratidão a minha orientadora Profa. Dra. Christiane Areias Trindade, que é um exemplo de profissional, sempre buscando passar conhecimento e fornecendo correções fundamentais para a elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os professores e colegas do curso de engenharia civil, que de forma direta ou indireta contribuíram para a minha trajetória acadêmica. Agradeço também ao curso de graduação em engenharia civil e à UFMS.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCEM - Associação Brasileira da Construção Metálica. **A retomada do crescimento na construção com o uso das estruturas metálicas**. 2023. Disponível em: <https://www.abcem.org.br/site/blog/a-retomada-do-crescimento-na-construcao-com-o-uso-das-estruturas-metalicas>. Acesso em: 29 out. 2023.
- ABCEM - Associação Brasileira da Construção Metálica. **Cenários dos Fabricantes**. out. 2022. Disponível em: <https://www.abcem.org.br/site/estatisticas-cenarios-dos-fabricantes>. Acesso em: 29 out. 2023.
- ABCEM - Associação Brasileira da Construção Metálica. **Entenda o que são estruturas mistas e suas vantagens para a construção**. jun. 2021. Disponível em: <https://www.abcem.org.br/site/blog/entenda-o-que-sao-estruturas-mistas-e-suas-vantagens-para-a-construcao>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- ALALOUL, W. S.; MUSARAT, M. A.; RABBANI, M. B. A.; IQBAL, Q.; MAQSOOM, A.; FAROOQ, W. Construction Sector Contribution to Economic Stability: Malaysian GDP Distribution. **Sustainability**, 13, n. 9: 5012. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/5012>. Acesso em: 21 out. 2023.
- ALALOUL, W. S.; MUSARAT, M. A. Impact of zero energy building: sustainability perspective. **In: Sustainable Sewage Sludge Management and Resource Efficiency**. IntechOpen, 2020.
- ALBUQUERQUE, A. T.; PINHEIRO, L. M. **Viabilidade econômica de alternativas**

- estruturais de concreto armado para edifícios.** Cadernos de Engenharia de Estruturas., São Carlos, n. 19, p. 1-19, 2002.
- ALMEIDA, P. V. S. de.; AUAD, S. F. D. K. A importância da estrutura metálica na construção civil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 11, p. 23862-23869, nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-084>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- ANDRADE, M. L. A de.; CUNHA, L. M. da S. O setor siderúrgico. In: SÃO PAULO, Elizabeth Maria De; KALACHE FILHO, Jorge (Org.). Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social 50 anos: histórias setoriais. Rio de Janeiro: Db, 2002. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/13314>. Acesso em: 14 nov. 2023.
- ANTF. Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. Histórico. Brasília: 2020. Disponível em: <https://www.antf.org.br/historico/>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ANTUNES, L. L. Tudo sobre os metais e suas propriedades. Jornal da Engenharia de Materiais, São Paulo, 2012.
- ARCELOR MITTAL. Linha do Tempo: 100 anos da Arcelor Mittal. Disponível em: <https://100anos.arcelormittal.com.br/linha-do-tempo/>. Acesso em: 14 nov. 2023.
- Arquivo Nacional. Domínio público/Acervo Arquivo Nacional. Construção da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). agosto de 2016. Disponível em: <https://encurtador.com.br/dpvKM>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ARAÚJO, Luís Henrique da Silva. **Estudo de caso: concepção e dimensionamento de estruturas metálicas para um galpão na cidade de Rio Verde GO.** 2022. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.
- ARQ SMART CONSTRUCTION. **9 projetos residenciais com estrutura em aço.** Artigo. jun. 2020. Disponível em: <https://www.arqsmartconstruction.com/artigos/7-projetos-de-quartis-de-corpo-de-bombeiros-pelo-mundo>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- ATLAS da História do Mundo. Folha de São Paulo/Times Books. 1. Ed. brasileira. São Paulo: Empresa Folha da Manhã S. A., 1995.
- BALBINO, Matheus de Souza. **Sistema construtivo em painéis monolíticos de EPS: uma solução para a construção de habitações populares no Brasil.** 2020. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.
- BARBOSA, Cássio. **Metais não Ferrosos e suas Ligas: Microestrutura, Propriedades e Aplicações.** 1 ed. Editora: E-papers. 2014. 532 p.
- BARROS, Gustavo. O Desenvolvimento do setor siderúrgico brasileiro entre 1900 e 1940: Criação de empresas e evolução da capacidade produtiva. **Revista de História Econômica e Economia Regional Aplicada (HEERA)**, Juiz de Fora: UFJF, v. 8, n. 14, p. 9-32. jan-jun, 2013.
- BELLEI, Ildony H. **Edifícios Industriais em Aço - projeto e cálculo.** São Paulo: Pini, 1998
- BELLEI, Ildony H. **Edifícios Industriais em Aço: Projeto e Cálculo.** 4. edição. Editora PINI, São Paulo, 2003.
- BELLEI, Ildony H. **Edifícios de Múltiplos Andares em Aço.** 2ª edição. São Paulo. Pini, 2008.
- BELLEI, I. **Edifícios Industriais em Aço: Projeto e Cálculo,** São Paulo: Pini, 2010.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. COOPER, M. Bixby. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento.** São Paulo: Atlas, 2007.
- BROADBENT, C. Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21 n. 11, 1658-1665. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1081-1>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- BUENO, Luis Carlos Vortmann. **Análise comparativa dos sistemas construtivos convencional e com poliestireno expandido.** 2023. f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Centro Universitário Uniritter. Canoas, 2023.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial. 2002.

- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental, Programa Agenda Ambiental da Administração Pública (A3P). 5 ed. Revista e Atualizada, Brasília/DF, 2009. 100 p.
- BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010.
- BRASIL. **Decreto n.10.936, de 12 de janeiro de 2022.** Regulamenta a Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2022.CALLISTER, William D. Jr. **Materials science and engineering: an introduction.** 7th ed., 2007.
- CANALE, L. **Disciplina: (ECM1) Ligas de Alumínio.** USP, 2015. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/305685/mod\\_resource/content/1/Aula\\_12\\_Ligas%20de%20Alum%3%adnio%20Lauralice.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/305685/mod_resource/content/1/Aula_12_Ligas%20de%20Alum%3%adnio%20Lauralice.pdf). Acesso em: 21 nov. 2021.
- CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante de. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica.** 1999. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.
- CESAR, Antonio Carlos Giocondo. **Desenvolvimento de blocos confeccionados com a escória proveniente da reciclagem do aço.** 2008, 190 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- COELHO, C. S.; INABA, R. A Evolução da Construção em Aço no Brasil. **Revista Arquitetura & Aço.** n. 42. 2015.
- CORBELLA, O; YANNAS, S. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável Para os Trópicos: conforto ambiental.** 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.
- CORDONI SAVI, Adriane. Telhados Verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura. 2012. 125 Fls. Monografia (Construções Sustentáveis) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2012.
- CORTEZ, L. A. da R.; MACIEL, C. A. dos S.; SANTOS, P. B.; LIMA, R. T.; SANTOS, T. M. F. dos; NASCIMENTO, M. M. G. do. **USO DAS ESTRUTURAS DE AÇO NO BRASIL. Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**
- UNIT - ALAGOAS, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 217-228, nov. 2017. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/5215>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- COSTA, Bianca da Silva Lima Miconi. **Um estudo sobre a sustentabilidade.** 2019. Monografia. Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2019. 58 f.
- COSTA, B. K. F. da.; BRAGA, H. F. M.; SALOMÃO, P. E. A. **A relevância do uso do aço na Construção Civil.** Alfa. Unipac 2020. Disponível em: [https://repositorio.alfaunipac.com.br/publicacoes/2020/437\\_a\\_relevancia\\_do\\_uso\\_do\\_aco\\_na\\_construcao\\_civil.pdf](https://repositorio.alfaunipac.com.br/publicacoes/2020/437_a_relevancia_do_uso_do_aco_na_construcao_civil.pdf). Acesso em: 31 out. 2023.
- CBCA- Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Guia Brasil da Construção em Aço. Arquitetura & Aço nº 37 - Estádios da Copa.** mar. 2014. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/>. Acesso em: 28 out. 2023.
- CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço. **20 anos do CBCA: duas décadas de atuação em favor da construção industrializada em aço no Brasil.** jul. 2022. Disponível em: <https://encurtador.com.br/lAR09>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- CBCA -Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Produção de estruturas de aço em 2022 gerou faturamento de 16,2 bilhões de reais, crescimento de cerca de 13% em relação ao ano anterior, revela pesquisa do CBCA e da ABCEM.** set. 2023. Disponível em: <https://encurtador.com.br/knvwz>. Acesso em: 09 set. 2023.
- CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Banco de dados: PIB Brasil e Construção Civil.** set. 2022. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acesso em: 15 set. 2023.
- CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho da Indústria da Construção Civil e Perspectivas.** jul. 2023. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2023/07/desempenho-cc-e-perspectivas-julho-2023-final.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- CHAGAS, Rafael. **Economia Circular em Foco na Indústria da Construção Civil.** Monografia

- (Graduação em Engenharia de Produção) 2022. 42f. UNISUL, Palhoça, 2022.
- CHAMVERLAIN, Zacarias; FICANHA; Ricardo. FABEANE, Ricardo. **Projeto e cálculos estruturas de aço**. 1.ed. Rio de Janeiro: Elsevier Ltda, 2013.
- CHIAVERINI, V. Aços e ferros Fundidos. 6 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Meteriais, 1992.
- CICHINELLI, G. **Centro Brasileiro da Construção em Aço**. Lajes em steel deck. 2014.  
Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=6415>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- CLARK, Glaucia Melo. **Belgo Mineira: a empresa que transformou a vida de Sabará**. jul. 2017. Disponível em: <https://encurtador.com.br/FSX57>. Acesso em: 10 set. 2023.
- CLIMET, G. Presence and importance of organochlorine solvents and other Compounds. **Journal Metals**, 2013.
- CRUZ, Marcelo Samuel Alves da. **Análise das Viabilidades da Construção de Edifícios Residenciais de Múltiplos Andares em Estrutura Metálica**. Monografia (Curso de Engenharia Civil) 2018. 57f. Curso de Engenharia Civil da Unievangélica, Anápolis, 2018.
- CSN. Companhia Siderúrgica Nacional. **Histórico**. 2020. Disponível em: <https://www.csn.com.br/quem-somos/historico/>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- CRUVINEL, T. H. G.; MELO, G. Casas Pré Fabricadas. Engenharia Civil. **Revista FT.**, Volume 28. Edição 128. nov. 2023.
- DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço. Conceitos técnicas e linguagens**. 10 ed. São Paulo: Zigate, 1997.
- DIAS, Luis Andrade de Mattos. Estruturas de Aço: conceitos, técnicas e linguagem. 5. ed. São Paulo: Zigate, 2006.
- DIAS, L. A. de M. **Estruturas de Aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem**. São Paulo: Editora Zigate, 2015.
- DOMICIANO, M. L.; OLIVEIRA, R. A.; MELO, L. L. Estudo de caso: O uso de estruturas metálicas em Shoppings Centers. In: Contribuição tecnocientífica ao Construmetal 2016 - Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.
- FERREIRA, Ana Lúcia Costa. **Gestão dos resíduos sólidos na Construção Civil: um estudo de caso na REGAP**. 2013. Monografia. Especialização em Construção Civil. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013. 74f.
- FIGUEIREDO, L. M. B. **Projeto e construção de pilares mistos aço-concreto**. 1998. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- FIRJAN - Federação das Indústrias do Rio de Janeiro. **Construção Civil: Desafios 2020**. FIRJAN, Rio de Janeiro, jun. 2014. Disponível em: <https://firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A8201B7DF0182407832CC18FF.pdf>. Acesso em: 31 out. 2023.
- FONSECA, B.; SIMÕES, T.; MARTINS, V. **Fabrico e uso de Estruturas Metálicas**. disciplina de Materiais e Processos de Construção II do Curso de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia de Tomar. Instituto Politécnico de Tomar. Ourém, 2002.
- FRANCO, J. de A. B.; DOMINGUES, A. M.; AFRICANO, N. de A.; DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G. Sustainability in the Civil Construction Sector Supported by Industry 4.0. **Technologies: Challenges and Opportunities. Infrastructures**. v. 22, n. 7, p. 43, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2412-3811/7/3/43>. Acesso em: 24 out. 2023.
- GABARDO, P. **Conhecendo os Metais Ferrosos e outros**. Globo: São Paulo, 2011.
- GERVÁSIO, Helena Maria. A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas. **Construmetal. Artigo Técnico**. 2012.
- GERVÁSIO, H. M. A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas. **Construmetal. Artigo Técnico**. 2012.
- GOMES, Francisco Magalhães. **História da Siderurgia no Brasil**. Belo Horizonte; São Paulo: Itatiaia; USP, 1983. p. 246.
- GONZALES, R. B. Anaerobic transformation of chlorinated aliphatic hydrocarbons in a sand aquifer based on spatial chemical distribution; **Water Resources Research**, 2009.

- GOSDEN, Chris. Pré-História. Tradução: ANTONIO, Janaína Marco. São Paulo: L & PM Pocket, 2012.
- GOULART, J. A. B. **Estruturas Metálicas**. Sorocaba, mai. 2014. Disponível em: <https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/metal/Estruturas%20Metalicas.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2021.
- INABA, Roberto. Construções Metálicas: O uso do Aço na Construção Civil. **Artigo Técnico**. 2017.
- INNOVA. **Edifício One**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.innova.net.br/#prettyPhoto>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- HAGEMANN, S. E. **Apostila de materiais de construção básicos**. Instituto Federal Sul-Rio-Grandense Universidade Aberta do Brasil. Pelotas, 2011.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 8ª ed. PEARSON, 2005.
- ISIDRO NETO, J. **Utilização do aço na Construção Civil**. 2021. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso técnico em Edificações). ETEC. Júlio de Mesquita. Santo André. 2021.
- Instituto Aço Brasil. **Processo siderúrgico**. 2011. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/processo-siderurgico/>. Acesso em: 28 set. 2018.
- JENETT, B.; CAMERON, C.; TOURLMOUSIS, F.; RUBIO, A. P.; OCHALEK, M.; GERSHENFELD, N. Discretely assembled mechanical metamaterials. **Science Advances**. v. 6, n. 47, eabc9943, 2020.
- JOHN, V. M.; SATO N.M. N.; AGOPYAN, V.; SJÖSTRÖM, C. Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios Para a Construção Civil Brasileira. **In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES**, São José dos Campos, 2015.
- JOIA, R. **Ponte Metálica**. [www.turisrio.rj.gov.br](http://www.turisrio.rj.gov.br). Disponível em: <https://www.saofidelisrj.com.br/ponte-metalica/>. Acesso em: 20 out. 2023.
- KARIM, Farhan (Ed.). The Routledge companion to architecture and social engagement. **Routledge**, 2018.
- KATZENSTEIN, U. E. **A Origem do Livro - Da Idade da Pedra ao Advento da Impressão Tipográfica no Ocidente**. São Paulo, Editora Hucitec, 1986.
- KISS, Teresa. Idade dos Metais. **Enciclopedia Humanidades**, 2023. Disponível em: <https://humanidades.com.br/idade-dos-metais/>. Acesso em: 16 nov. 2023.
- LEMOINE, Bertrand. **Aço, um material de construção ecológica para um desenvolvimento sustentável**. 2010. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/upfiles/fckeditor/file/Aco-um-material-de-construcao-ecologica-para-um-desenvolvimento-sustentavel.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2023.
- LIMA, K. **Aços Microestrutura e Propriedades**. Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.
- LIUBARTAS, D.; BARROS e SILVA, E. A. S. de.; SANTOS, E. A. M. dos.; SILVA, J. E. da.; FORMIGONI, A. A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas. **Journal of Engineering and Technology Innovation**, São Paulo, v. 3, n. 1, p.92-110, jan./abr., 2015.
- LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. H. **Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI**. ISISE - Dept. Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães. 2012. Disponível em: [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26503/1/Lourenco\\_Branco.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26503/1/Lourenco_Branco.pdf). Acesso em: 29 out. 2023.
- MANGIAPELO, A.; PIACENTINI, A. P.; SILVA, C.; RUFINO, D.; OLIVEIRA, J. P. de. **Estruturas Metálicas com ênfase no Curso de Engenharia Mecânica**. Varginha: Unis, 2014. Projeto Institucional - PIC. 2014.
- MANSANO, G. **A utilização das estruturas de aço no Brasil**. 2023. Disponível em: Acesso em: <https://www.alicerceejr.com/post/a-utiliza%C3%A7%C3%A3o-das-estruturas-de-a%C3%A7o-no-brasil>. Acesso em: 28 out. 2023.
- MADEIRO, T. **Estruturas metálicas no setor da construção civil**. mar. 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/estruturas-metalicas-no-setor-da-construcao-civil,c9f23084b5907810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: Acesso em: 28 out. 2023.
- MELLO, T.; PREVEDELLO, V. A. Z.; MASUTTI, G. C. Estruturas Pré-Moldadas na Construção Civil: Vantagens e desvantagens de seu uso. **In. XVII Seminário Internacional de Educação do MERCOSUL**, 2015.

- MENEGUZZO; I. S.; CHAICOUSKI, A.; MENEGUZZO, P. M. Desenvolvimento Sustentável: desafios à sua implantação e a possibilidade de minimização dos problemas socioambientais. **Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient.** ISSN 1517-1256, v. 22, janeiro a julho de 2009.
- MOR, S.; NEGI, P.; KHAIWAL, R. Assessment of groundwater pollution by landfills in India using leachate pollution index and estimation of error. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 10, p. 467-476, 2018.
- MORO, P. D.; PANDOLFO, A.; MORO, L. D.; BARBACOV, N. E.; TAGLIARI, L. D. Diagnóstico ambiental de indústrias de fabricação de estruturas metálicas e esquadrias de metal de pequeno e médio porte. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 22, n. 1, p. 229-237, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530X1333>. Acesso em: 23 out. 2023.
- MOTA, A. C. F. V. **Pólos Mineró-siderúrgicos no Brasil: A contribuição da avaliação ambiental estratégica no caso de Corumbá.** 2009. p. 149. Dissertação (Mestrado), UFRJ/ COPPE. Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2009.
- NEVES, Osias Ribeiro.; CAMISASCA, Marina **Mesquita. Aço Brasil: uma viagem pela indústria do aço.** Belo Horizonte: Escritório de Histórias, 2013. 192 p. Disponível em: [https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2019/10/LIVRO\\_ACO\\_BX.pdf](https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2019/10/LIVRO_ACO_BX.pdf). Acesso em: 30 out. 2023.
- NOYA, I.; ALDEA, X.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; M. GASOL, C.; MOREIRA, M. T.; AMORES, M. J.; MARÍN, D.; BOSCHMONART-RIVES, J. Environmental assessment of the entire pork value chain in Catalonia - A strategy to work towards Circular Economy. **Science of the Total Environment**, v. 589, p. 122-129, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.28> nov. 2023.
- OLIVEIRA, Luiz Alberto. **Museu do Amanhã.** Rio de Janeiro: Edições de Janeiro, 2015. Disponível em: [https://museudoamanha.org.br/sites/default/files/Livro\\_MdA\\_DIGITAL\\_PORTUGUES.pdf](https://museudoamanha.org.br/sites/default/files/Livro_MdA_DIGITAL_PORTUGUES.pdf). Acesso em: 14 nov. 2023.
- OLIVEIRA, Denis Cordeiro de. Estruturas Metálicas: viabilidade na construção civil. 2019. 26f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Centro Universitário Atenas. Paracatu, 2019. Disponível em: [http://www.atenas.edu.br/uniatenas/assets/files/spic/monography/ESTRUTURAS\\_METALICAS\\_\\_viabilidade\\_na\\_construcao\\_civil.pdf](http://www.atenas.edu.br/uniatenas/assets/files/spic/monography/ESTRUTURAS_METALICAS__viabilidade_na_construcao_civil.pdf). Acesso em: 21 set. 2023.
- ONU - Organização das Nações Unidas. **Report of the Open Working Group of the General Assembly on Sustainable Development Goals.** ago. 2014. Disponível em: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N14/503/67/PDF/N1450367.pdf?OpenElement>. Acesso em: 21 set. 2023.
- PACHÊCO, A. da P.; FREIRE, N. C. F.; BORGES, U. da N. A transdisciplinaridade da desertificação. **Geografia**, (Londrina), [S. l.], v. 15, n. 1, p. 5-34, 2010.
- PEREIRA, Caio. **Steel Frame: o que é, características, vantagens e desvantagens.** Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/steel-frame/>. Acesso em: 18 nov. 2023.
- PINHO, F. O.; BELLEI, I. H. **Manual de Construção em Aço: Pontes e Viadutos em Vigas Mistas.** Centro de Informação do IBS/CBCA. Rio de Janeiro, IBS/CBCA, 138p, 2007.
- PURPER, B. V. **Caracterização das propriedades mecânicas e magnéticas de um aço inoxidável AISI 304.** UNIVATES, Lajeado, 2016.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800: 2008.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- RAABE, D.; TASAN, C. C.; OLIVETTI, E. A. Strategies for improving the sustainability of structural metals. **Nature**, v. 575, n. 7781, p. 64-74, 2019.
- RESTREPO, Laura Margarita Cadavid. **Concreto translúcido: estudo experimental sobre a fabricação de painéis de concreto com fibra ótica e as suas aplicações na arquitetura.** 2013.178f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2013.
- RESENDE, Úrsula Vieira de. **Museu do Amanhã e sua "Exposição": Narrativa musealizada em ambiência audiovisual digital.** Dissertação (Mestrado em Museologia e Patrimônio) 2018.

- 120f. Programa de Pós-graduação em Museologia e Patrimônio, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.
- RESTREPO, Laura Margarita Cadavid. **Concreto translúcido: estudo experimental sobre a fabricação de painéis de concreto com fibra ótica e as suas aplicações na arquitetura.** 2013.178f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2013.
- RICE, C., BURNS, M.; ZHAO, L. **Steel Structures: Design Behavior.** Pearson, 2012.
- RIZZO, Ernandes Marcos da Silveira. **Processos de decapagem, laminação a frio e recozimento de produtos planos de aço** (Coleção Capacitação Técnica em Processos Siderúrgicos). São Paulo: Blucher, 2022. 370 p.
- RODRIGUES, Suellen Tanani Kassagui. **Estudo sobre reaproveitamento de materiais metálicos da construção civil a partir de estudo de caso.** 2021. 31f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2021.
- RODRIGUEZ, Helio Suêvo. **A formação das estradas de ferro no Rio de Janeiro: o resgate da sua memória.** Editora: Memória do Trem, Rio de Janeiro, 2004. 192 p.
- ROMÉRO, M. A.; ORNSTEIN, S. W. **Avaliação Pós Ocupação. Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação Social.** 1. ed. Porto Alegre: Coleção Habitar/FINEP/ANTAC, 2003. v. 1. 293 p.
- ROSA, Flávio. **Impactos e soluções da construção civil no meio ambiente.** Projeto de Extensão da UFRJ, mar. 2021. Disponível em: <https://www.circulact.org/post/impactos-e-solu%C3%A7%C3%B5es-da-constru%C3%A7%C3%A3o-civil>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ROSEN, S A. The Adoption of Metallurgy in the Levant: A Lithic Perspective. **Current Anthropology**, 25: p. 504 - 505. 1984.
- ROTH, Caroline das Graças.; GARCIAS, Carlos Mello. Desenvolvimento em Questão Construção Civil e a Degradação Ambiental. **Rev. Desenvolvimento em Questão.** Editora Unijuí, ano 7, n. 13. jan./jun. 2009.
- RUBIO, A. P.; MUNDILOVA, K.; PREISS, D.; DEMAINE, E. D.; GERSHENFELD, N. Kirigami Corrugations: Strong, modular, and programmable plate lattices. Proceedings of the ASME 2023. International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information. **In: Engineering Conference IDETC/CIE2023.** August 20-23, 2023, Boston, MA.
- SABINO, H. R. T.; LOOS, M. J. Estudo dos processos de fabricação de estruturas metálicas para linha de transmissão. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 16, nº 1, p. 23-53, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v16i1.2353>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- SALES, U. C.; SOUZA, H. A.; NEVES, F. A. Mapeamento de problemas na construção industrializada em aço. Ouro preto, **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 54, n. 4, p. 303-309, 2001.
- SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão do sistema construtivo concreto armado e da construção de sua hegemonia.** 2008. 327f. Tese (doutorado) Programa de Pós Graduação em Educação: “Conhecimento e Inclusão Social”, da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação. Belo Horizonte, 2008.
- SANTOS, F. F.; TAMBARA JÚNIOR, L. U. D.; CECHIN, N. F.; ALMEIDA, V. L.; SOUSA, M. A. B. A. Adequação dos Municípios do Estado do Rio Grande do Sul à Legislação de Gestão de Resíduos da Construção Civil. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, v. 4, p. 1-18, 2012.
- SANTOS, J. C. G. dos.; PINAS, D. C. Construções em Estrutura Metálica. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 9, set. 2022.
- SANTOS, A. C. A dos.; CARDOSO, F. J. M. Revalorização sustentável de estruturas metálicas: uma revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Production Engineering**, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/recic/article/view/23741/15838>. acesso em: 24 nov. 2023.
- SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Estruturas metálicas no setor da construção civil.** mar. 2020. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/estruturas-metalicas-no-setor-da-construcao-civil,c9f23084b5907810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: 18 nov. 2023.

- SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Construção Civil**. 2021. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/qual-sera-o-futuro-da-construcao-civil-no-brasil,84d5be59ab4e5810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: 20 set. 2023.
- SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Qual será o futuro da construção civil no Brasil?** Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/qual-sera-o-futuro-da-construcao-civil-no-brasil,84d5be59ab4e5810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: 29 set. 2023.
- SILVA, V. P. **Dimensionamento de estruturas de aço. Apostila para a disciplina**. PEF 2402 - Estruturas Metálicas e de Madeira. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica da Escola Politécnica da USP. São Paulo, junho de 2012. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/110863/mod\\_resource/content/0/apostila2012.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/110863/mod_resource/content/0/apostila2012.pdf). Acesso em: 21 out. 2023.
- SILVA, M. C. de B. e. **Materiais Estruturais Metálicos**. PUC. Goiás, 2020. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/3095/material/Materiais%20metalicos.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- SILVA, R. A. R. da.; CORDEIRO, J. M. L. A convergência entre paisagem rural e paisagem industrial: O caso da siderurgia a carvão vegetal de madeira em Minas Gerais. **In:** Saberes tradicionais e conhecimentos científicos nas ciências humanas 3. Org. ANTUNES, Aline Ferreira. Ponta Grossa - PR: editora Atena, 2020.
- SILVA, A. C. **Ciências dos Materiais: Capítulo V Ligas metálicas**. Centro de Recursos Computacionais da UFCAT. Catalão, 2021. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1201/o/CM-EP\\_V\\_%E2%80%93Ligas\\_met%C3%A1licas.pdf?1630637131](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1201/o/CM-EP_V_%E2%80%93Ligas_met%C3%A1licas.pdf?1630637131). Acesso em: 20 nov. 2023.
- SILVA, V. B. da.; SILVA, M. A. G. M. da.; LEAL, A. M. da. **Estruturas Metálicas Constituídas por Treliças**. UNIFG. Recife, 2023. Disponível em: <https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/0aa5a9f8-1caf-429f-b5e7-2c0dac9203fe/content>. Acesso em: 10 out. 2023.
- SOUZA E SILVA, T. de; OLIVEIRA, L. de. **O uso de estruturas mistas na cidade de Caratinga-MG**. 2015. 60f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade de engenharia civil do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia. Caratinga, 2015.
- SOUSA, J. S.; ALVES, G. S.; SILVA, A. F. DA; SOUSA, G. M. R.; ARAÚJO SOBRINHO, A. M. DE. **Impacto Da Construção Civil No Produto Interno Bruto Brasileiro**. *Humanas Sociais & Aplicadas*, v. 5, n. 12, 10 jun. 2015.
- SOUZA, P. R. R. de.; MORAIS, J. M. N. de.; LACERDA, B. de M. **A utilização da estrutura metálica na Engenharia Civil**. *Revistaft.*, Ed. 116, nov., 2022.
- SCALZER, D. C.; PASSAMANI, T.; GAVA, V. L.; COCCO, E. R. **Impactos da Construção Civil ao meio ambiente: estruturas de aço**. Engenharia Civil na Multivix, Castelo, 2022.
- TAMAKI, L. **Museu do Amanhã**, no Rio de Janeiro, tem cobertura metálica móvel com balanços de até 70 m. Ed. 227. fev. 2016. Disponível em: <https://11nq.com/Rzw7d>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- TARANATH, B. S. **Structural analysis and design of tall buildings: steel and composite construction**. Boca Raton, USA: CRC, 2012.
- TEIXEIRA, Renata Bacelar. **Análise da Gestão do Processo de Projeto Estrutural de Construções Metálicas**. 2007 269f. Dissertação (Engenharia de Estruturas). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.
- TOMELIN, Jony Cesar. **Ciência e propriedade dos materiais**. Indaial: Uniasselvi, 2012. 239 p.
- TOMASI, A. de P. N. **A modernização da Construção Civil e os impactos sobre a formação do engenheiro no contexto atual de mudanças**. *Educ. Tecnol.*, Belo Horizonte, v.10, n.2, p.39-45, jul./dez. 2005.
- TORRES, Ana Paula Vedoato. **Sistemas estruturais II**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A. 2017. 176 p.
- VARGAS, Milton. **História da técnica e da tecnologia no Brasil**. S.P.: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1994.
- UNEP. **Assessing Mineral Resources in Society**. Global Metal Flows Working Group. **In:** W. G. International Resource Panel, E-Book:

International Resource Panel Work on global Metal Flows (pp. 1-14). UNEP. 2013.

VANSON, G.; MARANGÉ, P.; LEVRAT, E. End-of-Life Decision making in circular economy using generalized colored stochastic Petri nets. **Auton. Intell. Syst.** 2, 3 2022. <https://doi.org/10.1007/s43684-022-00022-6>.

VASCONCELOS, A. C. O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações. Volume III. São Paulo: Studio Nobel, 2002.

ZENDRON, Décio. **Apostila: Aço na construção civil.** Blumenau, 2008. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/aco-na-construcao-civil/4733224/>. Acesso em: 14 nov. 2023.