



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Estudo Comparativo entre Estruturas de Cobertura em Aço e Madeira: Revisão de Literatura.

Gean Figueiredo da Cruz; Christiane Areias Trindade ^b

^a Aluno de Graduação em Engenharia Civil, gean.cruz@ufms.br

^b Professor Orientador, Doutor em Engenharia Civil, 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 escolha da estrutura de cobertura é fundamental para a proteção e conforto de uma edificação. Esta pesquisa tem como objetivo um estudo comparativo entre as estruturas de cobertura em madeira e aço, abordando as vantagens e desvantagens de se utilizar estes materiais. O aço se destaca pela resistência, durabilidade, rapidez na montagem (devido à pré-fabricação), menor desperdício e capacidade de vencer grandes vãos. É resistente a pragas e umidade, com baixa manutenção, mas seu custo inicial é mais alto, exige proteção contra corrosão e é um bom condutor térmico, necessitando de isolamento. A madeira, por sua vez, oferece um custo inicial menor, apelo estético tradicional e é um bom isolante térmico e acústico. No entanto, requer manutenção constante contra pragas e umidade, possui menor vida útil sem tratamento e é inflamável. A análise foi feita por meio de revisão bibliográfica e detalha o desempenho de cada material para pequenos, médios e grandes vãos. Para vãos menores, ambos são viáveis, com a madeira serrada sendo mais econômica e a aço oferecendo maior precisão. Em vãos médios, a madeira laminada colada (MLC) surge como concorrente do aço, valorizando estética e sustentabilidade. Para grandes vãos, o aço é excelente em eficiência estrutural, enquanto a MLC oferece soluções estéticas e sustentáveis, embora com limitações de vão máximo. A decisão final deve considerar custo, requisitos técnicos, durabilidade, tempo de execução, mão de obra e impacto ambiental, alinhando as características do material aos objetivos do projeto.

Palavras-chave: Aço, madeira, cobertura, vantagens, desvantagens, estrutura.

ABSTRACT

Choosing the right roof structure is crucial for a building's protection and comfort. This research aims to compare wood and steel roof structures, addressing the advantages and disadvantages of using these materials. Steel stands out for its strength, durability, speed of assembly (due to prefabrication), reduced waste, and ability to span large spans. It is resistant to pests and moisture, requires low maintenance, but has a higher initial cost, requires corrosion protection, and is a good thermal conductor, requiring insulation. Wood, on the other hand, offers a lower initial cost, traditional aesthetic appeal, and is a good thermal and acoustic insulator. However, it requires constant maintenance against pests and moisture, has a shorter lifespan without treatment, and is flammable. The analysis was conducted through a literature review and details the performance of each material for small, medium, and large spans. For smaller spans, both are viable, with lumber being more economical and steel offering greater precision. For medium-span structures, glued-laminated timber (GLT) emerges as a competitor to steel, enhancing aesthetics and sustainability. For large spans, steel excels in structural efficiency, while GLT offers aesthetic and sustainable solutions, albeit with maximum span limitations. The final decision should consider cost, technical requirements, durability, construction time, labor, and environmental impact, aligning the material's characteristics with the project's objectives.

Keywords: Steel, wood, coverage, advantages, disadvantages, structure.

1. INTRODUÇÃO

A escolha da cobertura de uma construção é uma decisão crucial de um projeto, pois esta tem um papel fundamental, uma vez que é responsável pela proteção contra intempéries e pelo conforto da parte interna da edificação. Os materiais mais utilizados para esta função são a madeira e o aço, ambos tendo características distintas.

A madeira é um recurso natural e renovável, com grande disponibilidade em várias regiões, sendo assim, uma opção antiga e amplamente apreciada em construções residenciais e rurais. No entanto, o aço vem obtendo mais força no mercado e assim, ganhando mais destaque em obras de grande porte e em regiões com condições climáticas adversas, principalmente por ter propriedades superiores, tais como sua fácil manutenção, resistência e rigidez elevadas.

Além disso, com os avanços das tecnologias e a busca por soluções mais econômicas e sustentáveis ao meio ambiente, o material metálico vem sendo uma alternativa bastante atraente dentro da construção civil. Com isso, se torna importante analisar as vantagens e desvantagens da madeira e do aço no contexto das coberturas, observando fatores como custo, requisitos técnicos, durabilidade, tempo de execução, mão de obra e impacto ambiental gerado por ambos.

Portanto, este trabalho tem como objetivo um estudo comparativo entre as estruturas de cobertura em madeira e aço, abordando as vantagens e desvantagens de se utilizar estes materiais. Assim, através desta comparação, será feita uma análise crítica e detalhada de cada material, buscando oferecer uma compreensão mais aprofundada para a escolha do mais adequado em diferentes contextos de construção.

2. ESTRUTURAS PARA COBERTURAS

2.1 Estruturas em Aço

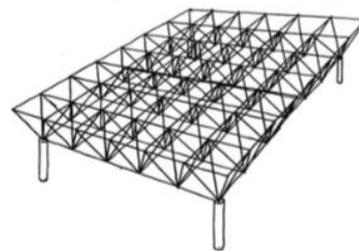
As estruturas em aço para coberturas podem ser compostas por vários diferentes tipos de arranjos, e a escolha é feita de acordo com cada projeto e suas necessidades, como vãos a serem vencidos, estética desejada pelo cliente e cargas que serão aplicadas. Nesse item serão abordados os principais tipos de elementos e arranjos estruturais para coberturas em aço.

2.1.1 Treliças

São estruturas formadas por barras interligadas em nós formando um arranjo triangular. Esse formato distribui melhor os esforços, diminuindo o peso e melhorando a resistência, sendo mais utilizadas para vencer grandes vãos, como galpões, quadras de futebol, pontes, passarelas, entre outros. Os tipos de treliças mais usuais são as treliças Espaciais, Pratt, Howe, Warren e Fink. (Hibbeler, 2017).

As treliças espaciais (ou treliças tridimensionais) são estruturas que se estendem em três dimensões (Figura 1), formando um reticulado de barras interligadas em nós, capazes de distribuir cargas em múltiplas direções. Diferente das treliças planas (que atuam em um único plano), as treliças espaciais oferecem uma rigidez e estabilidade muito superiores, sendo extremamente eficientes para vencer grandes e até gigantescos vãos com peso próprio reduzido e grande flexibilidade arquitetônica. Sua geometria tridimensional permite a formação de grandes espaços internos livres de apoios intermediários, tornando-as ideais para coberturas de estádios, aeroportos, centros de convenções, pavilhões de exposições e outras edificações que demandam amplos espaços abertos e visualmente impactantes. (Ziemian, 2010; Chen & Lui, 2005)

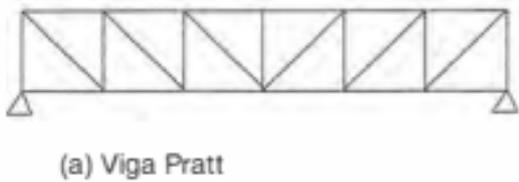
Figura 1: Treliça Espacial.



Fonte: Rebello (2024)

A treliça Pratt (Figura 2) contém membros verticais que estão sob compressão, enquanto os membros diagonais estão sob tração quando as cargas são predominantemente verticais para baixo. Isso é um grande fator a favor de sua utilização, sendo vantajoso, pois barras de aço suportam melhor esforços de tração do que de compressão (evitando problemas de flambagem em barras mais longas). Amplamente utilizada em galpões industriais. (INSDAG, 2000).

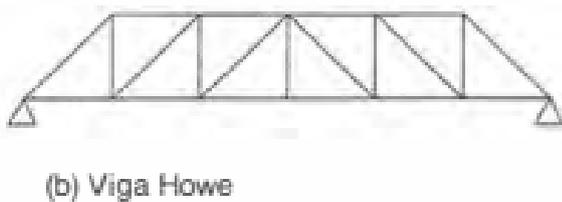
Figura 2: Treliça Pratt.



Fonte: Pfeil (2009)

A treliça Howe (Figura 3) é uma configuração de treliça plana caracterizada por ter suas barras diagonais voltadas para o centro da estrutura, enquanto as barras verticais suportam as cargas de tração. Isso é o oposto da treliça Pratt, onde as diagonais trabalham predominantemente à tração. Na Howe, os montantes (barras verticais) ficam tracionados e as diagonais ficam comprimidas, salvo algumas exceções. Os banzos (cordas horizontais) trabalham, como de costume, com o banzo superior comprimido e o inferior tracionado. (Pfeil, 2009)

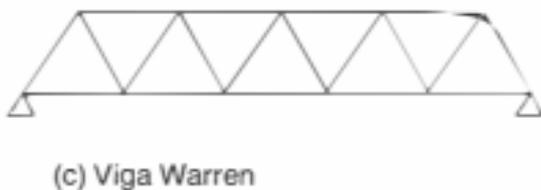
Figura 3: Treliça Howe.



Fonte: Pfeil (2009)

A treliça Warren é um tipo caracterizado por seu formato de triângulos equiláteros contínuos e cordas paralelas (Figura 4). A vantagem das treliças de cordas paralelas é que elas usam diagonais do mesmo comprimento e, assim, reduzem os custos de fabricação para vãos muito longos. Com isso obtém vantagens como eficiência estrutural, menor peso e consumo de material, facilidade na fabricação e montagem, e estabilidade e rigidez. Muito utilizada em coberturas de edificações com vãos médios a longos, especialmente quando se busca uma estrutura mais leve e visualmente limpa. (INSDAG, 2000)

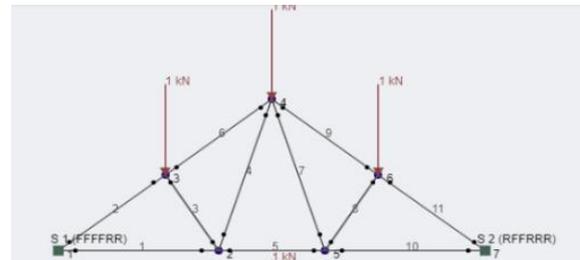
Figura 4: Treliça Warren.



Fonte: Pfeil (2009)

A Treliça Fink (Figura 5) é um tipo de estrutura metálica (ou de madeira) muito popular em coberturas, especialmente para galpões, armazéns e edifícios industriais e comerciais. Sua principal característica é o desenho interno em "W" ou múltiplos "V", formado por montantes (barras verticais) e diagonais (barras inclinadas). Esse arranjo em "W" cria uma série de triângulos isósceles, o que confere à treliça grande rigidez e estabilidade. Por ser uma estrutura treliçada, os elementos são predominantemente submetidos a esforços axiais (tração ou compressão), otimizando o uso do material. A Treliça Fink é valorizada pela sua eficiência estrutural, leveza e economia de material, tornando-a uma solução eficaz e popular para cobrir vãos médios a grandes de forma rápida e com bom custo-benefício. (Pfeil, 2009)

Figura 5: Treliça Fink.



Fonte: SkyCiv (2024)

2.1.2 Vigas

São elementos estruturais lineares que suportam cargas e as transferem para os pilares ou outras partes da estrutura. As vigas podem ser produzidas a partir de perfis laminados, soldados ou formados a frio, dependendo da aplicação e das necessidades do projeto em si. As vigas podem ser de alma cheia ou vigas de alma vazada, que são vigas modificadas a partir de perfis de alma cheia, nos quais são feitas aberturas na alma, reduzindo o peso da viga sem comprometer sua resistência. (McCormac e Stafford, 2017)

O perfil laminado é produzido através do processo de laminação a quente, onde o aço é aquecido e passado por rolos para moldar uma seção transversal específica. Possuindo uma alma central vertical e abas horizontais superior e inferior, formando um formato de I, H ou U quando visto em seção transversal. O perfil laminado é fabricado com a geometria definida a partir da laminação, sem a necessidade de processos adicionais. (McCormac e Stafford, 2017)

O perfil soldado é formado por chapas de aço que são cortadas e unidas por soldagem, criando uma seção sólida e contínua. Ao contrário do perfil

laminado, que possui uma seção já pronta a partir do processo de laminação, o perfil soldado permite personalização das dimensões, ou seja, a largura, a altura, a espessura das chapas e a forma podem ser adaptadas conforme as necessidades do projeto. Esses perfis podem ter diferentes seções transversais, como I, H, T ou caixão, conforme o design da estrutura. (McCormac e Stafford, 2017)

2.1.3 Pórticos

Pórtico são estruturas formadas por vigas e pilares interligados de maneira rígida ou articulada (Figura 6), criando um sistema capaz de suportar cargas verticais e horizontais. São amplamente utilizados em construções industriais, comerciais e logísticas devido a sua eficácia estrutural e rapidez na montagem. (Pfeil, 2022)

Possui vantagens como montagem rápida e fácil, menor custo, leveza estrutural e facilidade de reformas como ampliação e modificação. Esse arranjo é bastante utilizado em galpões logísticos e supermercados. (McCormac e Stafford, 2017)

Figura 6: Pórtico.



Fonte: Instituto Aço Brasil (2010)

2.1.4 Arcos

Os arcos são uma solução para coberturas de grandes vãos, oferecendo resistência e uma estética diferente. Eles podem ser construídos com perfis soldados ou treliçados, dependendo da necessidade do projeto. (Pfeil, 2022)

Os arcos (Figura 7), são uma solução estrutural leve e eficiente para coberturas de grandes vãos livres, combinando a resistência dos arcos com a redução de peso proporcionado principalmente pelo treliçamento. Possui vantagens como economia de material em comparação a vigas de alma cheia, eficiência para grandes vãos sem pilares internos, redução de esforços nos apoios e estética diferente.

Bastante aplicado em coberturas de shoppings, terminais de transporte e estufas. (Pfeil, 2022)

Figura 7: Arco. Fonte: Projeto AGS estruturas (2024)



2.2 Estruturas em Madeira

As estruturas de madeira para coberturas podem ser compostas por diferentes arranjos e tipos de madeira, dependendo da carga, do vão e da estética desejada. Assim, apresentam-se os principais sistemas utilizados a seguir.

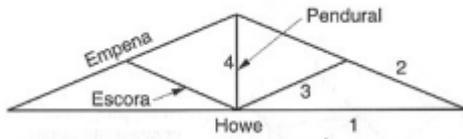
Para os arranjos pode ser utilizada: Madeira Serrada, formada por peças maciças obtidas diretamente do corte da árvore, formando vigas, caibros e ripas; Madeira Laminada Colada (MLC), feita com lâminas de madeira coladas sob pressão, permitindo peças longas, retas ou curvas; ou Madeira Engenheirada (LVL – Laminated Veneer Lumber, CLT – Madeira Laminada Cruzada, OSB – Oriented Strand Board), que são tipos de madeira composta. (Pfeil, 2003)

2.2.1 Tesouras (treliças)

As treliças de madeira, também chamadas de tesouras, são estruturas triangulares utilizadas para sustentar coberturas, permitindo vencer vãos maiores e distribuir melhor as cargas. São bastante comuns em obras residenciais, rurais e galpões, especialmente quando se busca uma estética rústica ou tradicional. Os tipos mais comuns estão descritos a seguir. (Barros e Andrade, 2017)

A tesoura Howe (Figura 8) apresenta um arranjo mais reforçado, ideal para vãos maiores. Ela possui um montante central e várias diagonais inclinadas para fora a partir desse ponto. A principal característica desse tipo é que os montantes trabalham em tração e as diagonais em compressão, o que favorece a distribuição de esforços em coberturas mais extensas, como galpões ou áreas industriais. É muito usada em projetos que exigem maior robustez estrutural. (Pfeil, 2003)

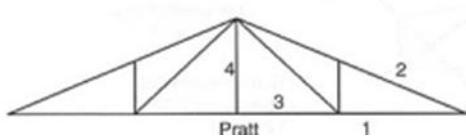
Figura 8: Tesoura Howe.



Fonte: Pfeil (2003)

A tesoura Pratt (Figura 9) tem um funcionamento semelhante à Howe (Figura 8), mas com uma disposição invertida das diagonais: elas são inclinadas para dentro, partindo dos apoios laterais em direção ao centro. Com isso, a estrutura se comporta de forma oposta, as diagonais trabalham em tração e os montantes em compressão. Essa inversão torna a Pratt mais eficiente quando as cargas são distribuídas de forma uniforme, e é bastante utilizada em estruturas que exigem bom desempenho com menor uso de material. (Pfeil, 2003)

Figura 9: Tesoura Pratt.



Fonte: Pfeil (2003)

2.2.2 Vigas

As vigas de madeira são elementos lineares que sustentam diretamente as cargas da cobertura, como telhas, ripas, forros e, às vezes, até lajes secas. Elas funcionam basicamente à flexão, vencendo vãos entre apoios (paredes ou pilares) e transmitindo o peso para a estrutura principal. Em geral elas são muito usadas em varandas, beirais, coberturas de pequenas residências ou em combinação com sistemas mais complexos como arcos e treliças. (Pfeil, 2003)

Vigas maciças, são feitas a partir de madeira serrada. São peças inteiriças, de seção retangular, e são amplamente utilizadas em obras simples por serem fáceis de encontrar e trabalhar. No entanto, por serem maciças e naturais, apresentam limitações quanto ao tamanho e à resistência, especialmente porque podem conter defeitos naturais como nós, fissuras ou variações de densidade. Por isso, são mais indicadas para vãos curtos, geralmente de até 5 metros, onde não há exigência de grandes cargas nem necessidade de estética muito refinada. São comuns em telhados de varandas, casas térreas e áreas de lazer. (Pfeil, 2003)

Vigas laminadas coladas, conhecidas como MLC (madeira lamelada colada), são formadas pela colagem de lâminas finas de madeira em camadas, unidas com adesivos resistentes e prensagem controlada. Essa tecnologia permite criar peças muito mais resistentes e longas do que as vigas maciças, pois elimina os defeitos naturais da madeira e proporciona uniformidade estrutural. Além disso, elas podem ser fabricadas com curvaturas ou geometrias específicas, o que amplia suas possibilidades arquitetônicas. As vigas MLC são ideais para grandes vãos, podendo ultrapassar 12 metros com facilidade, e são muito usadas em ginásios, auditórios, igrejas e outras construções que exigem um vão livre amplo e acabamento visual de alto padrão. (Pfeil, 2003)

Vigas em "I" de madeira, são elementos compostos, geralmente feitos com almas finas de madeira engenheirada ou OSB (painel de tiras orientadas), ligadas a mesas (ou banzos) superiores e inferiores feitas de madeira maciça ou laminada. Seu formato em "I" lembra o das vigas metálicas e permite excelente desempenho estrutural com baixo consumo de material. São leves, fáceis de instalar, e oferece boa estabilidade dimensional. São muito utilizadas em sistemas construtivos industrializados, especialmente em construções leves e pré-fabricadas, como casas modulares e estruturas em *wood frame*, pois combinam resistência e leveza com velocidade de execução. (Pfeil, 2003)

2.2.3 Pórticos de madeira

Pórticos de madeira são estruturas formadas por um conjunto de pilares e vigas rigidamente conectados (Figura 10), geralmente em forma de "U" invertido ou de "arco", que funcionam como quadros estruturais. Elas são soluções robustas, elegantes e eficientes para coberturas de grandes vãos ou com exigências estéticas mais elaboradas, combinando bem com projetos arquitetônicos que valorizam a estrutura aparente e a sustentabilidade da madeira engenheirada. (Pfeil, 2003)

Figura 10: Pórticos de madeira.



Fonte: Timbau Estruturas (2023)

Os arcos laminados (Figura 11) também são feitos de madeira lamelada colada, mas diferenciam-se por sua forma curva, que pode ser projetada em diversos raios e geometrias, como arcos em ogiva, elípticos ou paraboloides. A curvatura desses arcos não é apenas estética, ela também é funcional. Estruturalmente, o arco permite que a carga seja distribuída de forma mais uniforme ao longo de sua extensão, reduzindo os esforços de flexão que seriam maiores em uma viga reta. Por isso, os arcos laminados são extremamente eficientes para vencer vãos muito grandes, com leveza visual e menos material. (Pfeil, 2003)

Figura 11: Exemplo Arcos laminados.



Fonte: Timbau Estruturas (2022/2023)

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e comparativo, com o objetivo de analisar as estruturas de coberturas em aço, identificando suas vantagens e desvantagens em relação às estruturas de madeira. Essa abordagem permite compreender de forma aprofundada os aspectos técnicos, econômicos e ambientais que influenciam a escolha entre esses dois sistemas construtivos.

O desenvolvimento do trabalho foi organizado em

etapas metodológicas específicas, conforme descrito a seguir.

3.1 Levantamento bibliográfico

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente com base em livros técnicos, normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), artigos científicos, publicações especializadas da engenharia civil e materiais técnicos fornecidos por fabricantes.

Para a coleta desses materiais, foram consultadas as seguintes bases de dados acadêmicas e plataformas de pesquisa: Google Acadêmico, Scielo (Scientific Electronic Library Online), Periódicos Capes, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e repositórios institucionais de universidades brasileiras. As palavras-chave utilizadas nas buscas incluíram combinações de termos como: estruturas de aço, treliças, estruturas de madeira, tesouras de madeira, dimensionamento de estruturas, coberturas metálicas, construção em madeira e comportamento estrutural.

Foram especialmente consideradas as normas NBR 8800 (ABNT, 2024) para estruturas de aço, e NBR 7190 (ABNT, 2022) para estruturas de madeira. Além disso, também foram consultados manuais de fabricantes, catálogos técnicos e diretrizes práticas utilizadas por engenheiros e arquitetos. Esses documentos contribuíram para complementar a análise teórica, reforçando a aplicabilidade e desempenho dos sistemas em diferentes condições.

Essa etapa teve como finalidade reunir informações técnicas sobre:

- Propriedades mecânicas dos materiais;
- Métodos de dimensionamento e montagem;
- Comportamento estrutural, durabilidade e manutenção;
- Custos, sustentabilidade e segurança.

3.2 Estudo comparativo

Com base nos dados levantados, foi realizada uma análise comparativa entre os dois sistemas estruturais, considerando critérios técnicos e práticos como:

- Custo de implantação e manutenção ao longo do tempo;
- Rapidez e facilidade de montagem;

- Capacidade de vencer vãos e suportar cargas;
- Resistência a agentes biológicos, umidade, intempéries e fogo;
- Sustentabilidade e impacto ambiental;
- Adaptabilidade a diferentes propostas arquitetônicas.

Essa comparação foi aplicada a edificações de pequeno, médio e grande porte, abrangendo desde residências e comércios até galpões industriais e estruturas com vãos mais amplos. O objetivo foi oferecer uma análise ampla e realista sobre o desempenho dos dois sistemas em diversos contextos construtivos, sem limitar o estudo a um único tipo de obra.

4. RESULTADOS

A escolha entre aço e madeira para estruturas de cobertura depende de diversos fatores, como o tamanho do vão, o orçamento, a estética desejada, os requisitos de desempenho e a disponibilidade de mão de obra. Abaixo, detalhou-se as características de cada material para vãos pequenos, médios e grandes.

4.1 Pequenos vãos (até 6 metros)

Para vãos curtos, que tipicamente compreendem estruturas de residências, pequenos comércios ou anexos, tanto o aço quanto a madeira oferecem soluções tecnicamente viáveis, mas com distinções importantes em termos de desempenho, custos e aplicabilidade.

4.1.1 Estruturas em Aço

O aço se destaca por características que o tornam uma opção eficiente mesmo para vãos limitados em até 6 metros. Para estes vãos, são comumente utilizadas vigas de alma cheia (perfis I, H ou U laminados ou soldados) e treliças planas (como Pratt e Howe), que permitem leveza e otimização da seção transversal dos perfis. Essa capacidade resulta em estruturas visualmente mais limpas e leves que, conforme evidenciado em INSDAG (2000), SKYCIIV (2024) e McCormac e Stafford (2017), impactam menos as fundações da edificação, o que pode gerar economia nas etapas iniciais da obra. O dimensionamento para essa otimização deve seguir as diretrizes da NBR 8800 (ABNT, 2008).

A Figura 12 mostra uma estrutura em viga “I” de alma cheia com 2,5 metros de vão, com finalidade

para uma cobertura para casa de bombas de captação de água.

Figura 12: Obra com vão de até 6m (aço).



Fonte: Eisen Metal (2023)

A precisão dimensional das peças de aço, fabricadas em ambiente industrial, e a agilidade de montagem são notáveis. A utilização de peças pré-fabricadas e conexões rápidas (parafusadas ou soldadas), conforme detalhado em manuais de fabricantes como a AGS Estruturas Metálicas (2024), otimiza significativamente o tempo total de execução no canteiro de obras. Essa rapidez construtiva é um diferencial competitivo do aço, especialmente em projetos com prazos apertados. (Pfeil, 2022)

Em termos de durabilidade, o material é intrinsecamente resistente a pragas e umidade, eliminando a necessidade de tratamentos químicos constantes, o que representa uma vantagem em comparação com a madeira (McCormac e Stafford, 2017). Embora o aço seja classificado como material não combustível e não propague o fogo, é fundamental reconhecer que ele perde sua capacidade resistente em altas temperaturas. Por essa razão, a NBR 8800 (ABNT, 2008) e a NBR 14432 (ABNT, 2001), que estabelece as exigências de resistência ao fogo, ressaltam a necessidade de proteção passiva contra o fogo para garantir a integridade estrutural em caso de incêndio.

O aço é amplamente destacado em publicações especializadas e materiais técnicos de fabricantes, alinhando o material a princípios de economia circular e menor impacto ambiental ao longo do ciclo de vida da edificação. Por fim, o acabamento industrializado do aço oferece uniformidade e uma estética moderna, características valorizadas em diversos projetos arquitetônicos contemporâneos. (Pfeil, 2022)

A principal desvantagem do aço para vãos pequenos reside no custo inicial do material, que, em análises econômicas de artigos científicos e publicações especializadas, pode ser superior ao da madeira

serrada comum (Pfeil, 2009). Além disso, segundo McCormac e Stafford (2017), a necessidade de proteção contra corrosão (seja por pintura ou galvanização) é um aspecto crucial, conforme estabelecido pela NBR 8800 (ABNT, 2008) e abordado em manuais de manutenção, gerando custos adicionais de material, mão de obra e exigindo manutenção futura. Sua alta condutividade térmica demanda maior atenção ao isolamento em projetos de edificações. (Pfeil, 2009)

Por fim, a mão de obra especializada para montagem e soldagem, como discutido em publicações sobre gestão da construção, pode ser mais cara e menos disponível em certas localidades.

4.1.2 Estruturas em Madeira

A madeira se apresenta como uma solução altamente competitiva para vãos pequenos (até 6 metros), beneficiando-se do custo potencialmente menor do material bruto, conforme análises de custo-benefício presentes em artigos científicos e publicações especializadas (Pfeil, 2003).

Para vãos curtos, a madeira serrada é amplamente utilizada, formando arranjos de vigas e tesouras planas (como Howe e Pratt). Nestes vãos, o volume de material necessário é reduzido, fazendo com que o percentual do custo do frete sobre o custo total do material seja mais expressivo. A madeira regional, portanto, otimiza o custo-benefício ao simplificar a cadeia de suprimentos e agilizar a aquisição de pequenas quantidades de material, um fator crucial para a viabilidade econômica de projetos de menor porte (como abordado em dissertações e monografias sobre o uso de materiais locais na construção).

A Figura 13 apresenta vigas de alma cheia de Garapeira, com intuito de fazer a cobertura de uma garagem de uma casa de campo, vencendo vãos pequenos, mas com uma estética rústica.

Figura 13: Obra com vão de até 6m (madeira).



Fonte: Timbau Estruturas (2015)

A facilidade de trabalhabilidade da madeira permite cortes e ajustes diretamente no canteiro de obras com ferramentas mais simples, o que, conforme manuais de carpintaria e diretrizes práticas, agiliza o processo para equipes de carpintaria e reduz a dependência de processos industriais complexos (Barros e Andrade, 2017). Sua estética natural e aconchegante é um diferencial para projetos que buscam um apelo rústico ou acolhedor, e seu bom isolamento térmico natural contribui para o conforto interno da edificação, características frequentemente exploradas em publicações de arquitetura sustentável e estudos de desempenho térmico. (Pfeil, 2003)

Por outro lado, a madeira apresenta vulnerabilidade a agentes biológicos (como cupins e fungos), exigindo tratamento químico preventivo e manutenção periódica para garantir sua durabilidade, conforme preconizado pela NBR 7190 (ABNT, 2022) e detalhado por Barros e Andrade (2017). A variação dimensional decorrente de alterações de umidade e a presença de imperfeições naturais (como nós e fissuras) podem impactar a resistência e gerar desperdício de material, fatores que requerem atenção no dimensionamento e na seleção das peças. (Pfeil, 2003)

Em comparação com o aço para a mesma capacidade de carga, a madeira maciça pode apresentar um peso próprio maior, o que, em certos contextos, pode influenciar o dimensionamento das fundações (Pfeil, 2003). Além disso, por ser um material combustível, a madeira contribui para a carga de incêndio do edifício, embora a NBR 7190 (ABNT, 2022) preveja métodos de dimensionamento para garantir resistência ao fogo através da taxa de carbonização em peças de grandes dimensões. A manutenção periódica para proteção contra intempéries e agentes biológicos, bem como para preservação estética (lixamento, vernizes), também é um ponto a considerar no ciclo de vida da estrutura (Pfeil, 2003).

4.1.3 Análise comparativa

Com base nos dados citados, para pequenos vãos (até 6 metros), ambos os materiais oferecem soluções viáveis. O aço se destaca pela leveza, precisão e rapidez de montagem, além de ser imune a pragas e umidade, e ser totalmente reciclável, oferecendo uma estética moderna e industrial. No entanto, seu custo inicial pode ser mais elevado, e exige proteção contra corrosão, além de mão de obra especializada. A madeira serrada, por sua vez,

pode apresentar um custo de material bruto mais baixo e facilidade de trabalhabilidade no canteiro, com um apelo estético natural e bom isolamento térmico. Contudo, demanda tratamento e manutenção contra agentes biológicos e pode ter menor precisão dimensional e maior peso próprio para a mesma capacidade de carga.

4.2 Médios vãos (de 6 a 20 metros)

Nesta faixa de vãos, que tipicamente abrange galpões de médio porte, quadras poliesportivas, salões de eventos e comércios de maior área, a madeira engenheirada (como a Madeira Laminada Colada - MLC) se consolida como a principal concorrente do aço. A capacidade de ambos os materiais de vencer esses vãos com eficiência se torna um critério decisivo na escolha do sistema estrutural.

4.2.1 Estruturas em Aço

Para vãos médios (6 a 20 metros), o aço apresenta alta capacidade estrutural para vencer esses vãos com menor volume de material, sendo extremamente eficiente e exigindo seções mais esbeltas (Pfeil, 2022). Os arranjos mais comuns para esses vãos são as treliças planas (Pratt, Howe, Warren, Fink) e pórticos. Essa eficiência é particularmente importante em vãos médios porque permite minimizar o peso próprio da estrutura, o que, em comparação com soluções mais robustas de outros materiais, reduz as cargas transmitidas às fundações e otimiza o dimensionamento do sistema estrutural como um todo. (McCormac e Stafford, 2017)

A Figura 14 mostra a estrutura de um galpão para fins comerciais de uma empresa com especialidades metálicas, cobertura foi realizada no tipo treliça plana (Pratt) para vencer um vão de 12 metros.

Figura 14: Obra com vão de 6m a 20m (aço).



Fonte: Autor (2025)

A precisão e industrialização do processo de fabricação do aço são cruciais para a montagem de estruturas complexas, minimizando erros e acelerando significativamente a obra (AGS Estruturas Metálicas, 2024). Embora a rapidez de montagem em campo, facilitada pela pré-fabricação e pelas conexões por aparafusamento ou soldagem, seja uma vantagem inerente ao aço em qualquer escala, em vãos médios ela se torna um fator ainda mais crítico para o cumprimento de cronogramas e a redução de custos indiretos de canteiro, típicos de obras de maior porte. (Pfeil, 2022)

O material oferece uniformidade e controle de qualidade rigorosos devido à sua produção industrial, conferindo maior segurança no dimensionamento e previsibilidade de desempenho (McCormac e Stafford, 2017; Hibbeler, 2017). Além disso, o aço possui resistência a fatores biológicos (pragas e umidade), necessitando apenas de proteção contra corrosão, e oferece flexibilidade para reforços e modificações futuras, o que é valorizado em edificações que podem sofrer alterações de uso. (Pfeil, 2022)

As desvantagens incluem o custo do material e da fabricação, que pode ser mais elevado que o da madeira engenheirada em certos mercados e cenários (Pfeil, 2022). A proteção contra corrosão é indispensável, conforme a ABNT NBR 8800 (ABNT, 2008), e gera custos adicionais de material, mão de obra e manutenção periódica. Em altas temperaturas, o aço perde sua capacidade de carga em incêndio (Pfeil, 2009), frequentemente exigindo proteção passiva para atender às exigências de resistência ao fogo da NBR 14432 (ABNT, 2001), o que eleva o custo total do projeto. Sua alta

condutividade térmica pode demandar sistemas de isolamento mais robustos para garantir o conforto térmico e a eficiência energética da edificação, aspecto abordado em artigos científicos sobre desempenho térmico. Por fim, sua estética predominantemente "industrial" pode não se adequar a todos os estilos arquitetônicos sem acabamentos adicionais.

4.2.2 Estruturas em Madeira

A madeira, tanto em sua forma serrada (para vãos menores dentro dessa faixa, até cerca de 10-12 metros) quanto na forma engenheirada (MLC - Madeira Laminada Colada), oferece para vãos médios um apelo estético e conforto visual distintos, criando ambientes naturais e acolhedores, características frequentemente destacadas em publicações de arquitetura e design (Barros e Andrade, 2017). Para estes vãos, os arranjos mais comuns são as tesouras planas (Howe, Pratt e Warren) e pórticos de madeira (utilizando MLC).

A Figura 15 mostra uma cobertura do ginásio escola da fazenda (Florianópolis – SC) onde foi feito de treliças planas (Warren) de madeira roliça de eucalipto e fazendo os seus travamentos com barras de aço, com objetivo de vencer um vão de 18,5 metros livres.

Figura 15: Obra com vão de 6m a 20m (madeira).



Fonte: Dias (2012)

A madeira possui excelente comportamento térmico, sendo um isolante natural que reduz significativamente a necessidade de isolamento artificial, contribuindo para a eficiência energética do edifício, conforme estudos em artigos científicos sobre conforto térmico em edificações. A sustentabilidade e renovabilidade da madeira de reflorestamento a tornam uma escolha com baixa pegada de carbono, alinhada aos princípios de construção verde (Barros e Andrade, 2017).

A flexibilidade de formas com a MLC permite a fabricação de peças curvas e geometrias complexas,

abrindo um leque de possibilidades arquitetônicas que são difíceis de obter com outros materiais, como demonstrado em publicações especializadas da Timbau Estruturas e catálogos de fabricantes de MLC.

Em caso de incêndio, a madeira de grandes seções (MLC) apresenta um comportamento previsível: ela carboniza lentamente na superfície, mantendo sua capacidade estrutural por um tempo considerável e permitindo a evacuação segura, um fenômeno bem documentado pela NBR 7190 (ABNT, 2022) e em dissertações sobre segurança contra incêndio em estruturas de madeira. Embora a montagem de MLC exija equipamentos e mão de obra específica, o manuseio e a montagem da madeira engenheirada podem ser relativamente mais simples em alguns aspectos que o aço, dependendo da complexidade das conexões (Pfeil, 2003).

Contudo, o custo da madeira engenheirada para vãos médios pode ser comparável ou até superior ao do aço em certos mercados, dependendo da origem da madeira, da complexidade das peças e do transporte (Pfeil, 2003). A madeira, mesmo engenheirada, ainda tem suscetibilidade a ataques biológicos (cupins, fungos) se não for tratada e protegida adequadamente, exigindo manutenção periódica conforme a NBR 7190 (ABNT, 2022). Para os vãos maiores dentro dessa faixa (próximos a 20 metros), as seções das peças de madeira podem ser consideravelmente maiores que as de aço equivalentes para a mesma capacidade de carga, impactando a estética e o espaço útil da edificação (Barros e Andrade, 2017). A madeira exige também cuidado com a umidade em todas as fases do projeto e da obra para evitar deformações e garantir o desempenho estrutural. (Pfeil, 2003)

4.2.3 Análise comparativa

Em vãos médios (de 6 a 20 metros), a madeira engenheirada (MLC) surge como forte concorrente do aço, no qual mantém sua vantagem em alta capacidade estrutural com menor volume de material, precisão industrial, rapidez de montagem e resistência a fatores biológicos. No entanto, seu custo de material e fabricação pode ser mais elevado, e ainda exige proteção contra corrosão e fogo, além de possuir estética mais "industrial". A madeira engenheirada (MLC), por outro lado, oferece um apelo estético e conforto visual superiores, excelente isolamento térmico, sustentabilidade e flexibilidade para formas curvas. Embora seu custo possa ser comparável ao do aço para esses vãos e exija atenção à umidade, seu

comportamento previsível em incêndio (carbonização lenta) é uma vantagem notável.

4.3 Grandes vãos (acima de 20 metros)

Para vãos superiores a 20 metros, característicos de grandes galpões industriais, hangares, arenas esportivas, centros de convenções e outras edificações de grande porte, a madeira maciça comum torna-se inviável tecnicamente e economicamente. Nesse cenário, a Madeira Laminada Colada (MLC) emerge como a principal concorrente do aço, ambos os materiais sendo capazes de vencer esses desafios estruturais com soluções sofisticadas.

4.3.1 Estruturas em Aço

O aço é reconhecido por sua alta eficiência estrutural em vãos amplos, apresentando uma relação resistência/peso favorável (Pfeil, 2022). Para esses vãos, os arranjos mais utilizados são as treliças espaciais, treliças planas de grande porte e arcos. Essa característica permite vencer vãos muito extensos com seções otimizadas e estruturas mais leves em comparação com outras soluções, impactando positivamente as fundações da edificação (McCormac; Stafford, 2017). O dimensionamento dessas estruturas complexas é regido pela ABNT NBR 8800 (ABNT, 2008), garantindo a segurança e o desempenho.

A Figura 16 mostra um projeto de um ginásio esportivo em Uberlândia – MG (Arena Sabiazinho - Tancredo Neves), onde sua cobertura foi feita de treliças arqueadas visando oferecer resistência sem nenhum tipo de pilar intermediário, assim vencendo grandes vãos.

Figura 16: Obra com vão acima de 20m (aço).



Fonte: Projeto Alpha (2007)

A precisão e a avançada industrialização do processo de fabricação do aço são cruciais para a produção de peças de alta exatidão, essenciais para a montagem de estruturas complexas e de grandes dimensões (INSDAG, 2000). A rapidez de montagem em campo é um fator determinante para

obras de grande porte, sendo otimizada pelo uso intensivo de guindastes e a atuação de equipes altamente especializadas. Essa agilidade na execução contribui significativamente para o cumprimento de cronogramas ambiciosos e para a redução de custos indiretos, conforme destacado em publicações especializadas em gestão de grandes obras e manuais de fabricantes (AGS Estruturas Metálicas, 2024).

O material se destaca pela confiabilidade e homogeneidade de suas propriedades mecânicas, aspectos amplamente comprovados em ensaios e pesquisas, conferindo previsibilidade no dimensionamento (Hibbeler, 2017). Além disso, o aço oferece robustez e resiliência a impactos e cargas dinâmicas elevadas, e proporciona flexibilidade para a criação de formas complexas e arrojadas, um benefício explorado em projetos arquitetônicos inovadores de grandes escalas (Pfeil, 2022).

As desvantagens incluem o custo do material e da fabricação, que pode ser muito elevado para grandes vãos, especialmente devido à complexidade das soluções estruturais e das ligações (Pfeil, 2022). A proteção contra corrosão é crítica e indispensável, conforme a ABNT NBR 8800 (ABNT, 2008), e sua manutenção futura em estruturas complexas pode gerar custos significativos. Em caso de incêndio, o aço requer proteção passiva para manter sua capacidade de carga em altas temperaturas, seguindo as Exigências de Resistência ao Fogo da ABNT NBR 14432 (ABNT, 2001), o que adiciona custo e complexidade ao projeto. A alta condutividade térmica do aço exige soluções de isolamento mais elaboradas para garantir o conforto e a eficiência energética do ambiente, e a mão de obra altamente especializada para fabricação e montagem é um fator que pode elevar os custos ou ser limitante em algumas regiões. (Pfeil, 2022)

4.3.2 Estruturas em Madeira

A madeira, na forma de Madeira Laminada Colada (MLC), oferece uma estética e conforto visual que criam espaços com um apelo natural e grandioso, sendo um diferencial arquitetônico valorizado em projetos de grande escala (Barros e Andrade, 2017). Para grandes vãos, os arranjos mais utilizados são os arcos laminados e pórticos de MLC.

A Figura 17 mostra uma obra de cobertura do shopping Iguatemi Fortaleza, onde apresenta um pórtico arqueado com Madeira Laminada Colada

(MLC), do mesmo modo arqueado que a estrutura metálica foi feita, visou-se vencer grandes vãos sem apoio intermediário.

Figura 17: Obra com vão acima de 20m (madeira).



Fonte: Dias e Zanetti (2013)

Possui excelente comportamento térmico e acústico, contribuindo significativamente para a eficiência energética e a qualidade acústica do ambiente, conforme evidenciado em artigos científicos e estudos de desempenho de edificações. A sustentabilidade e baixa pegada de carbono da MLC a tornam uma opção ecologicamente correta, especialmente quando proveniente de reflorestamento e manejo sustentável, um aspecto frequentemente discutido em publicações sobre construção verde.

A flexibilidade da MLC para a criação de formas curvas e complexas é uma vantagem notável, permitindo a materialização de designs orgânicos e arrojados que seriam difíceis ou mais caros com outros materiais. Em caso de incêndios, a madeira de grandes seções (MLC) apresenta um comportamento previsível: ela carboniza de forma controlada e lenta na superfície, mantendo sua integridade estrutural por um tempo considerável e permitindo a evacuação e a ação dos bombeiros, um fenômeno bem documentado pela NBR 7190 (ABNT, 2022) e por Molina, J. Junior, C. Kimura, E. Pinto, E. & Regobello, R. (2012).

Embora as seções das peças de MLC tendam a ser maiores que as de aço equivalentes para a mesma capacidade de carga, o peso próprio da MLC é menor que o do concreto, o que pode ser vantajoso para fundações. (Barros e Andrade, 2017).

No entanto, o custo da madeira engenheirada para vãos muito grandes pode ser comparável ou superior ao do aço, dependendo da complexidade das peças e da cadeia de fornecimento (Pfeil, 2003). O volume das peças de MLC tende a ser maior que o do aço, impactando o espaço interno e as soluções

de vedação da cobertura (Barros e Andrade, 2017). A madeira ainda exige atenção rigorosa à umidade para evitar deformações, e proteção contra-ataques biológicos, conforme a NBR 7190 (ABNT, 2022).

O projeto e a montagem de estruturas de MLC em grandes vãos demandam um alto nível de especialização e conhecimento técnico, desde a fabricação até a ereção no canteiro (Pfeil, 2003). Apesar de sua considerável capacidade, a limitação de vão máximo da MLC ainda é inferior à do aço para os vãos verdadeiramente mais extremos e recordes. (Pfeil, 2003)

4.3.3 Análise comparativa

Para grandes vãos (acima de 20 metros), a madeira maciça comum se torna inviável, e a MLC se posiciona como a principal alternativa ao aço. O aço tem melhor eficiência estrutural para vãos extremos, com a melhor relação resistência/peso, precisão, rapidez de montagem e robustez para estruturas complexas. Suas desvantagens incluem o custo muito elevado, a criticidade da proteção anticorrosiva e contra incêndio, a alta condutividade térmica e a demanda por mão de obra altamente especializada. A madeira (MLC), nesse patamar, oferece estética e conforto visual imbatíveis, sustentabilidade, excelente desempenho térmico e acústico, e a flexibilidade para criar formas curvas e arrojadas. Apesar de seu custo também ser elevado e as seções serem mais volumosas que as de aço, sua previsibilidade em incêndio e o apelo natural são diferenciais. A limitação do vão máximo da MLC, no entanto, ainda é inferior à do aço para os vãos com maiores comprimentos.

4.4 Síntese da análise comparativa

Para melhor visualização da utilização de cada material para os vãos analisados, foi elaborada a Tabela 1. Essa tabela permite a visualização imediata das vantagens e desvantagens da utilização do aço e da madeira, e com isso, facilita a tomada de decisão na escolha do material.

Tabela 1: Quadro resumo comparativo.

VÃOS	AÇO		MADEIRA	
	VANTAGENS	DESVANTAGENS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
PEQUENOS (até 6m)	Leveza; Precisão; Rapidez de montagem; Imune a pragas e umidade; Estética moderna e Industrial.	Custo alto; Necessita proteção contra corrosão; Mão de obra especializada.	Custo mais baixo; Facilidade de trabalhabilidade no canteiro; Estética natural; Excelente isolante térmico.	Demanda tratamento; Manutenção regular contra agentes biológicos; Menor precisão dimensional; Maior peso próprio para a mesma capacidade de carga.
MÉDIOS (6m a 20m)	Alta capacidade estrutural com menor volume de material; Precisão industrial; Rapidez de montagem; Resistente a fatores biológicos.	Custo alto no material e fabricação; Exige proteção contra corrosão e fogo.	Apelo estético e conforto visual; Excelente isolamento térmico; Sustentabilidade e flexibilidade para formas curvas; Carbonização lenta.	Custo comparável ao do aço (custo alto); Resistência baixa à umidade.
GRANDES (acima de 20m)	Eficiência estrutural; Relação resistência/peso; Precisão; Rapidez de montagem; Robustez para estruturas complexas.	Criticidade da proteção anticorrosiva e contra incêndio; Alta condutividade térmica; Mão de obra altamente especializada.	Estética natural; Sustentabilidade; Desempenho térmico e acústico; Flexibilidade; Previsibilidade em incêndio.	Custo mais elevado; Seções mais volumosas; Limitação do vão máximo.

Fonte: Autor.

5. CONCLUSÃO

Após a coleta e comparação dos dados, foi realizada uma análise crítica que buscou destacar os pontos fortes e limitações de cada sistema estrutural. Essa síntese permitiu tirar conclusões relevantes sobre as situações em que cada material é mais vantajoso, considerando critérios de desempenho técnico, viabilidade econômica, durabilidade e impacto ambiental.

Para vãos de até 6 metros, aço e madeira serrada são opções viáveis. O aço é leve, preciso, rápido de montar, imune a pragas/umidade e reciclável, com estética moderna. Contudo, é mais caro, exige proteção contra corrosão e mão de obra especializada. A madeira serrada tem custo inicial mais baixo, é fácil de trabalhar e oferece apelo natural e isolamento térmico. Por outro lado, demanda tratamento/manutenção, pode ter menor precisão e é mais pesada para a mesma carga.

Para vãos médios (6 a 20 metros), o aço oferece alta capacidade estrutural, precisão, rapidez e resistência biológica, mas pode ter custo e

fabricação mais altos, exigindo proteção contra corrosão e fogo, com estética industrial. A madeira engenheirada (MLC), por sua vez, destaca-se pela estética, conforto visual, isolamento térmico, sustentabilidade e flexibilidade de formas. Seu custo é comparável ao do aço, requer atenção à umidade, mas apresenta comportamento previsível em incêndios (carbonização lenta).

Para grandes vãos (acima de 20 metros), a MLC se torna a principal alternativa ao aço, já que a madeira maciça comum é inviável. O aço é superior em eficiência estrutural, resistência/peso, precisão, rapidez e robustez. Suas desvantagens são o custo muito alto, necessidade de proteção contra corrosão e fogo, alta condutividade e mão de obra especializada. A MLC oferece estética, conforto, sustentabilidade, desempenho térmico/acústico e flexibilidade em formas. Apesar do custo elevado e seções maiores, destaca-se pela previsibilidade em incêndios e apelo natural. Contudo, seu vão máximo ainda é menor que o do aço em comprimentos extremos.

Em suma, a decisão final entre aço e madeira para

uma estrutura de cobertura é um exercício de ponderação de múltiplos fatores. O aço é frequentemente a escolha técnica padrão para eficiência estrutural, velocidade de construção e desempenho em condições rigorosas. Já a madeira, especialmente em sua forma engenheirada, surge como uma opção poderosa quando a estética diferenciada, a sustentabilidade, o conforto ambiental e a capacidade de formas orgânicas são prioridades do projeto, proporcionando um valor agregado que transcende a simples função estrutural. A otimização reside em alinhar as características do material com as necessidades e objetivos específicos de cada obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2022
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: Informação e documentação – Citações em documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.
- AGS ESTRUTURAS METÁLICAS. Cobertura metálica em arco: conheça os projetos da AGS estruturas. 2024. Disponível em: <<https://www.agsestruturametalica.com.br>>. Acesso em: 13 de maio 2025.
- BARROS, R. D. F.; ANDRADE, A. M. A. **Estruturas de madeira**. São Paulo: PINI, 2017.
- CHEN, W.F., & LUI, E.M. **Structural Stability: Theory and Implementation**. Springer, 2005.
- D’ALEMBERT, F. **Ginásio Municipal Tancredo Neves, Sabiazinho**. Uberlândia: Projeto Alpha, 2007. Disponível em: <<http://www.projetoalpha.com.br/castelao>>. Acesso em: 9 de julho 2025.
- DIAS, A. **Ginásio da Escola da Fazenda**. Florianópolis: Timbau Estruturas, 2012. Disponível em: <<https://timbauestruturas.com.br/project/ginasio-escola-da-fazenda/>>. Acesso em: 9 de julho 2025.
- DIAS, A. e ZANETTI, F. **Shopping Iguatemi Fortaleza**. Fortaleza: Timbau Estruturas, 2013. Disponível em: <<https://timbauestruturas.com.br/project/shopping-iguatemi-fortaleza/>>. Acesso em: 8 de julho 2025.
- EISEN METAL. **Casa de Bombas de Captação**. Pereira Barreto, 2023. Disponível em: <https://eisenmetal.com.br/portfolio/#gallery_b1165-2>. Acesso em: 8 de julho 2025.
- HIBBELER, R. C. **Mecânica dos Materiais**. São Paulo: Pearson Education, 2017.
- INSTITUTE FOR STEEL DEVELOPMENT AND GROWTH (INSDAG). **Trusses**. Teaching Resource Materials. Kolkata, 2000. Disponível em: <<https://www.steel-insdag.org/assets/frontend/trmpdf/Chapter27.pdf>>. Acesso em: 12 de maio 2025.
- INSTITUTO AÇO BRASIL/CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**. Rio de Janeiro, 2010.
- MCCORMAC, J.; STAFFORD. C.J. **Estruturas Metálicas**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- MOLINA, J. JUNIOR, C. KIMURA, E. PINTO, E. & REGOBELLO, R. **Análise Numérica do Comportamento de Elementos de Madeira em Situação de Incêndio**. São Paulo: Unicamp, 2012. <<https://www.scielo.br/j/floram/a/bPfhD3bkjgRm96QGHT55S9f/?lang=pt>>. Acesso em: 08 de julho 2025.
- PFEIL, WALTER & PFEIL, MICHÈLE. **Estruturas de Aço: Dimensionamento prático**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- PFEIL, WALTER & PFEIL, MICHÈLE. **Estruturas de Aço: Dimensionamento segundo a NBR 8800**. Rio de Janeiro: LTC, 2022.
- PFEIL, WALTER & PFEIL, MICHÈLE. **Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: LTC,

2003.

REBELLO, Y. C. P. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura**. São Paulo: Ziguarte, 2024.

SKYCIV. **O que é uma treliça? Tipos comuns de treliças em engenharia estrutural**. Sidney, 2024. Disponível em: <<https://www.skyciv.com/pt/docs/tutorials/truss-tutorials/types-of-truss-structures>>. Acesso em: 13 de maio 2025.

TIMBAU ESTRUTURAS. **Casa Avaré**. Avaré, 2015. Disponível em: <<https://timbauestruturas.com.br/project/casa-avare-01/>>. Acesso em: 9 de julho 2025.

TIMBAU ESTRUTURAS. **Casa Petrópolis**. Petrópolis, 2023. Disponível em: <<https://timbauestruturas.com.br/project/casa-petropolis/>>. Acesso em: 11 de julho 2025.

TIMBAU ESTRUTURAS. **Galpão Agrícola**. Belmiro Braga, 2022/2023. Disponível em: <<https://timbauestruturas.com.br/project/galpao-agricola/>>. Acesso em: 11 de julho 2025.

ZIEMIAN R.D. **Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures**. John Wiley & Sons, 2010.