



### III Simpósio de Pesquisa do Ecossistema Ânima: O Saber se Manifesta na Experimentação

## INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DA BARRA MONTANTE DE EXTREMIDADE NO PROJETO DE TRELIÇAS DE AÇO PARA COBERTURA

Adenilo Braz Ribeiro<sup>1</sup> ([adeniloriibeiro@hotmail.com](mailto:adeniloriibeiro@hotmail.com)); João Pedro Vieira Rezende<sup>1</sup> ([joaopedro\\_rezende@hotmail.com](mailto:joaopedro_rezende@hotmail.com)); Lucio Santana de Oliveira<sup>1</sup> ([contrutoraforte.cf@gmail.com](mailto:contrutoraforte.cf@gmail.com));

(Dr.) Iuri Fazolin Fraga<sup>1</sup> ([iuri.fraga@prof.una.br](mailto:iuri.fraga@prof.una.br))

<sup>1</sup>Centro Universitário Una, Pouso Alegre, Brasil

### RESUMO

Este estudo investiga a influência do comprimento da barra montante de extremidade no consumo de aço e no dimensionamento dos perfis metálicos em treliças de cobertura. Utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF), foram realizadas 21 simulações variando o comprimento da barra montante de 0 a 100 cm em uma treliça tipo *Howe*, com vão de 24 metros e inclinação de 10% no banzo superior. Os resultados indicaram uma redução de 52% na massa de aço entre os valores extremos, evidenciando a importância do ajuste geométrico para otimizar o consumo de material. O aumento do comprimento das barras montantes redistribuiu as forças internas, permitindo a utilização de perfis mais leves. Tais resultados destacam a relevância da otimização no projeto estrutural para promover soluções sustentáveis, reduzindo o consumo de recursos e o impacto ambiental das construções metálicas.

**Palavras-chave:** Treliça de aço, Barra montante, Consumo racional.

### INTRODUÇÃO

A introdução do aço na construção civil brasileira, no final do século XIX e início do século XX, foi um marco importante, com a produção nacional ganhando destaque após a fundação da Companhia Siderúrgica Nacional em 1946 (Pravia *et al.*, 2013; Cortez *et al.*,



2017; Pfeil; Pfeil, 2021). Desde então, o aço, caracterizado por suas vantagens estruturais, como alta resistência e ductilidade, tem se mostrado fundamental em grandes projetos, além de possibilitar maior eficiência na execução e práticas sustentáveis de reciclagem (Pfeil; Pfeil, 2021).

Entretanto, apesar de suas vantagens, o aço apresenta algumas limitações, como os custos elevados em comparação com o concreto e o alto consumo de energia em sua produção, o que resulta em preocupações ambientais (Sun *et al.*, 2020; Weckenborg *et al.*, 2024). A indústria siderúrgica é uma das maiores responsáveis pela emissão de CO<sub>2</sub>, representando cerca de 25% das emissões globais em 2019 (Lei *et al.*, 2023). Esse cenário tem incentivado a busca por práticas mais sustentáveis no uso do aço na construção civil.

No âmbito da otimização, torna-se essencial revisar algumas abordagens convencionais, especialmente no projeto de coberturas, onde pequenas modificações, como o comprimento das barras montantes de extremidade, podem influenciar significativamente o consumo de material. Um exemplo disso pode ser observado na Figura 1 abaixo, na qual ambas as treliças apresentam a mesma inclinação entre os banzos. Inicialmente, pode-se supor que a treliça em (a) seja mais econômica do que em (b), devido ao menor comprimento das barras, considerando que ambas possuem os mesmos perfis.

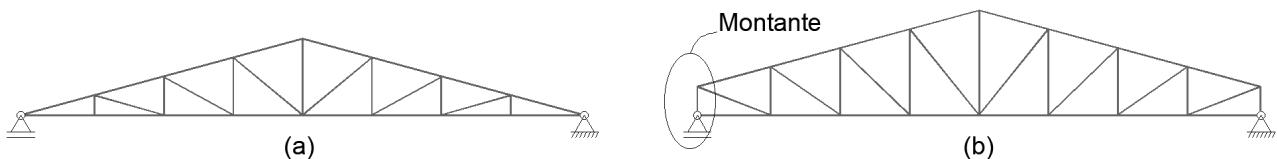


Figura 1: Comparativo de treliças com mesma inclinação entre banzos

No entanto, a distribuição dos esforços solicitantes é significativamente diferente entre ambas as treliças, sendo o caso (a) mais solicitado que o caso (b), gerando um consumo de material maior no primeiro caso.

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa é avaliar a influência do comprimento da barra montante de extremidade no dimensionamento dos perfis metálicos e no consumo de aço em estruturas treliçadas de cobertura, um tema relevante, pois essas configurações são comuns em edificações no Brasil, muitas vezes sem considerar suas implicações ambientais e econômicas.



## MÉTODOS

### Geometria

Para alcançar os objetivos propostos, o objeto de estudo foi concebido com base em um projeto que se assemelha à realidade. A tipologia *Howe* foi escolhida, pois é comum em projetos de estruturas metálicas, com um vão de 24,0 metros e inclinação do banzo superior de 10% ( $5,71^\circ$ ). Cada água do telhado foi dividida em 12 partes iguais, com barras do banzo inferior com 1,00 metro cada. As telhas utilizadas na concepção são de zinco e termoacústicas, com formato trapezoidal.

### Ações e Carregamentos

As ações e carregamentos foram considerados com base nas normas ABNT NBR 6120 (2019) e na ABNT NBR 6123 (2023) e foram subdivididos em ações permanentes e variáveis.

As ações permanentes na treliça incluem o peso próprio da estrutura e os materiais fixos, como as telhas. Para a análise, foi desenvolvida uma ferramenta computacional que ajusta automaticamente os perfis metálicos de cada parte da treliça, corrigindo o peso próprio da estrutura em cada simulação. Dessa forma, é necessário apenas informar o peso dos equipamentos fixos. O peso nominal das telhas foi estimado em  $100 \text{ N/m}^2$ , com base em dados fornecidos por catálogos técnicos de telhas termoacústicas.

As ações variáveis na treliça incluem a ação do vento e a sobrecarga na cobertura. De acordo com a norma ABNT NBR 6120 (2019), foi considerado um valor de  $250 \text{ N/m}^2$  de sobrecarga variável em projeção horizontal.

A ação variável do vento foi estimada com base na ABNT NBR 6123 (2023), considerando uma velocidade básica do vento de 40 m/s. A edificação foi modelada como retangular, com relação comprimento/largura igual a 2 e altura/largura de 1/2, implantada em terreno plano. Trata-se de um ginásio poliesportivo localizado em área urbana, com aberturas fixas em todos os quatro lados, cada uma com 3,125 m de altura.

### Análise estrutural e dimensionamento

Para a análise das treliças planas de cobertura, foi adotado o Método dos Elementos Finitos (MEF). Em todas as modelagens, foi considerado o modelo de treliça cujas barras são consideradas rotuladas em suas extremidades e as forças externas aplicadas somente nos nós da estrutura.



As simulações foram realizadas variando o comprimento da primeira montante, iniciando em 0,00 cm e incrementando 5,00 cm até atingir 100 cm, totalizando 21 simulações. As rotinas de dimensionamento seguiram as recomendações da ABNT NBR 14762 (2010).

### Definição do material

Os projetos foram simulados considerando perfis U simples formados a frio em todos os grupos da treliça. O material utilizado foi o aço SAE 1012, comumente empregado em projetos de estruturas metálicas com perfis formados a frio. Suas resistências de interesse são as seguintes:

- Resistência ao escoamento:  $f_y = 180$  MPa.
- Resistência de ruptura:  $f_u = 330$  MPa.

### Análise dos resultados

A metodologia empregada no dimensionamento dos perfis baseou-se na seção transversal mínima, visando a obtenção da menor massa linear, dado que o aço é comercializado por quilograma (kg). Assim, as massas correspondentes a cada uma das 21 simulações foram registradas para posterior análise comparativa.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as simulações dos 21 comprimentos de montantes mencionados, as massas obtidas estão impressas no gráfico da Figura 2.

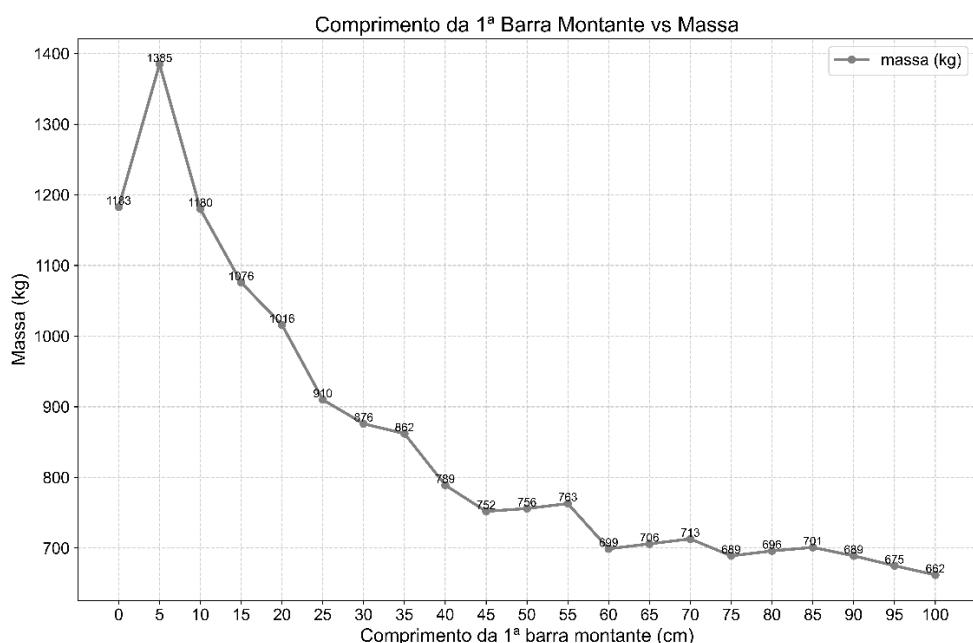


Figura 2: Gráfico Comprimento da 1<sup>a</sup> barra montante *versus* massa



Verifica-se uma redução expressiva nas massas obtidas, com uma diferença percentual de 52% entre os valores extremos em relação ao maior valor, o que evidencia a influência direta do comprimento da primeira montante no consumo de material. Apesar do aumento nos comprimentos das barras montantes e diagonais, os esforços nos elementos tendem a diminuir à medida que o comprimento da primeira montante é ampliado, resultando em perfis mais leves para toda a treliça.

Destaca-se, ainda, o comportamento das duas primeiras simulações. Nota-se uma diferença marcante nas massas relativas aos comprimentos de 0 cm e 5 cm. Tal fato é explicado pela introdução de duas novas barras diagonais (conforme ilustrado na Figura 1), cujas inclinações são bastante reduzidas. Essa baixa inclinação concentra os esforços nessa região, exigindo perfis com maiores dimensões nas diagonais. Em todos os demais grupos analisados, os perfis para 5 cm apresentaram menores massas em comparação com 0 cm, exceto no caso das diagonais, devido ao problema mencionado. Contudo, conforme ilustrado na Figura 2, o aumento progressivo no comprimento das montantes eleva as inclinações das diagonais, reduzindo, consequentemente, os esforços neste grupo.

## CONCLUSÕES

A pesquisa demonstrou a influência significativa do comprimento da barra montante de extremidade no consumo de aço em treliças metálicas de cobertura, evidenciando uma redução expressiva na massa das estruturas com o aumento desse parâmetro. Os resultados destacaram a complexidade da interação entre a geometria e os esforços internos, particularmente na redistribuição das solicitações, o que afeta diretamente o dimensionamento dos perfis metálicos. O estudo reforça a importância de otimizar o comprimento das barras para minimizar o consumo de recursos, promovendo soluções mais sustentáveis na engenharia estrutural.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6120. **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2019.



ABNT NBR 6123. **Forças devidas ao vento em edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2023.

ABNT NBR 14762. **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2010.

CORTEZ, L. A. et al. Uso das estruturas de aço no Brasil. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, v. 4, n. 2, p. 217–217, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/cdgexatas/article/view/5215>>.

LEI, T.; et al. Global iron and steel plant CO<sub>2</sub> emissions and carbon-neutrality pathways. **Nature**, v. 622, n. 7983, p. 514–520, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41586-023-06486-7>>.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

PRAVIA, Z. M. C.; et al. **Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço: Edifício Detalhado**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

SUN, W.; et al. Material and energy flows of the iron and steel industry: Status quo, challenges and perspectives. **Applied Energy**, v. 268, p. 114946, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114946>>.

WECKENBORG, C.; et al. Prospective assessment of transformation pathways toward low-carbon steelmaking: Evaluating economic and climate impacts in Germany. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 203, p. 107434, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107434>>.