

DIMENSIONAMENTO DE UMA TRELIÇA DE MADEIRA SEGUNDO AS NORMAS BRASILEIRA E AMERICANA

Clara Balotin Leocadio da Silva¹, Lauren Karoline De Sousa Gonçalves²

¹Graduanda na Faculdade de Engenharia Civil – FECIV, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Minas Gerais, Brasil – clara.balotin@ufu.br

²Professora na Faculdade de Engenharia Civil – FECIV, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Minas Gerais, Brasil – laurenkaroline@ufu.br

Resumo: A madeira é um dos materiais mais tradicionais utilizados na construção civil, desempenhando um papel fundamental em diversas aplicações estruturais, como em sistemas de coberturas e edificações. Embora seu uso ainda seja limitado no Brasil, em países como os Estados Unidos a madeira é amplamente empregada em construções. Independentemente da frequência de utilização, cada país estabelece normas específicas para o dimensionamento de estruturas de madeira, assegurando a segurança e o desempenho adequado. No Brasil, a regulamentação é feita pela ABNT NBR 7190-1:2022, enquanto nos Estados Unidos utiliza-se a NDS 2018 (National Design Specification for Wood Construction), desenvolvida pelo American Wood Council (AWC). Este trabalho tem como objetivo aplicar e comparar ambas as normas no dimensionamento de uma treliça de madeira utilizada em coberturas, empregando o Método das Tensões Admissíveis e o Método dos Estados Limites. A comparação revelou divergências relevantes, relacionadas principalmente ao tipo de madeira permitido, aos coeficientes de segurança e às ações consideradas em projeto. Como consequência, observou-se que o dimensionamento conforme a norma americana resultou em menores esforços e deslocamentos na estrutura analisada, enquanto a norma brasileira apresentou valores mais elevados para compressão, tração e deslocamento. Esses resultados evidenciam a influência direta dos critérios normativos nas condições de segurança e desempenho das estruturas de madeira.

Palavras-chave: Madeira. NBR. NDS. Dimensionamento. Estrutura. Norma.

Abstract: Wood is a traditional construction material widely used in structural applications such as roofing systems and buildings. While its use remains limited in Brazil, it is extensively adopted in countries like the United States. Each country has established specific standards for the design of wood structures to ensure safety and performance. In Brazil, the design follows ABNT NBR 7190-1:2022, whereas in the United States, it adheres to the NDS 2018 (National Design Specification for Wood Construction), developed by the American Wood Council (AWC). This study applies and compares both standards in the structural design of a timber truss used in roofing, employing the Allowable Stress Design Method and the Limit States Design Method. Results indicate significant differences related to permissible wood types, safety factors, and load considerations. The American standard led to lower internal forces and deflections, while the Brazilian standard resulted in higher compression, tension, and displacement values. These findings emphasize the critical impact of normative criteria on the safety and performance of wood structures.

Keyword: Wood. NBR. NDS. Design. Structure. Standard.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados na construção civil, sendo empregada desde os primórdios da humanidade. Ao longo dos anos, pesquisas e avanços tecnológicos permitiram o aprimoramento de seu uso, tornando-a um material cada vez mais viável para aplicação em diversas etapas das edificações (EESCRJ, 2022).

Dentre as principais vantagens da madeira, destacam-se sua boa resistência mecânica e a impactos, a trabalhabilidade, o isolamento térmico e acústico eficiente, além de ser um recurso renovável, de baixo custo e com apelo estético (Kanehira, 2022). Essas características têm permitido que a madeira seja amplamente empregada em estruturas, fechamentos e acabamentos. No entanto, observa-se na literatura que, há duas décadas, apesar de seu grande potencial, o uso da madeira na construção civil brasileira ainda era marcado por certa resistência, especialmente em razão da escassez de informações sobre suas propriedades e da limitada abordagem do tema na formação dos engenheiros civis no país (Gesualdo, 2003).

Embora o uso da madeira ainda possa estar associado ao desmatamento, é fundamental destacar que o Brasil possui grande disponibilidade desse recurso e que sua extração pode ser realizada de forma sustentável. O reflorestamento permite repor as árvores retiradas, e o processo produtivo da madeira consome pouca energia e gera baixos níveis de poluição, tornando-a uma alternativa ambientalmente favorável em comparação a outros materiais construtivos (Gesualdo, 2003).

Uma das aplicações estruturais mais comuns da madeira é a construção de treliças para telhados. A treliça é um sistema estrutural formado por elementos rígidos interligados por nós, cuja principal função é proporcionar suporte à cobertura, conferindo maior segurança, durabilidade e resistência à construção (ASM, 2023). Esse tipo de estrutura é amplamente empregado em coberturas, lajes e pontes, devido à sua capacidade de suportar cargas elevadas e vencer grandes vãos sem a necessidade de apoios intermediários.

Para garantir a segurança e a eficiência das estruturas de madeira, diferentes métodos de dimensionamento são utilizados. Entre eles, destacam-se o Método dos Elementos Finitos, Método das Tensões Admissíveis e o Método dos Estados Limites. O primeiro, desenvolvido no século XX com o advento dos computadores (UFPR, s.d.) é utilizado para a análise de diversos sistemas estruturais, como vigas, pórticos, treliças e grelhas, permitindo determinar o estado de tensão e deformação de um sólido sob cargas externas (Amuchastegui, 2016). O Método das Tensões Admissíveis, de formulação tradicional, baseia-se na comparação entre as tensões solicitantes e os valores admissíveis do material, sendo amplamente utilizado por sua simplicidade e rapidez na análise estrutural (Kot, 2022). Por fim, o Método dos Estados Limites garante que nenhum estado-limite, que é calculado no dimensionamento, ultrapasse o recomendado quando a estrutura for submetida a todas as cargas possíveis, caso contrário, a estrutura não será recomendada para utilização (Carvalho, 2022).

No Brasil, a normatização vigente para projetos e execução de estruturas de madeira é a NBR 7190:2022, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece os critérios para o dimensionamento e a verificação de segurança dessas estruturas, adotando o Método dos Estados Limites como principal abordagem de cálculo. Nos Estados Unidos, a regulamentação é estabelecida pela NDS 2018 (*National Design*

Specification for Wood Construction), desenvolvida pelo *American Wood Council* (AWC), que segue princípios semelhantes à norma brasileira, adotando o *Allowable Stress Design* (ASD), também conhecido como Método das Tensões Admissíveis, como metodologia de dimensionamento.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo comparar os critérios de dimensionamento de treliças de madeira segundo a ABNT NBR 7190-1:2022 e a NDS 2018. Para isso, foi realizado o cálculo de uma mesma estrutura considerando as diretrizes de ambas as normas, permitindo analisar diferenças nos coeficientes de segurança, nos tipos de madeira permitidos e nas unidades de medida adotadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A Madeira como Material Estrutural

Embora a madeira ainda não seja explorada em todo o seu potencial no Brasil, seu uso na construção civil apresenta diversas vantagens (Kanehira, 2022), tais como:

- Redução na geração de resíduos durante a obra;
- Maior agilidade na execução das construções;
- Diversidade de espécies com características distintas, adequadas a diferentes aplicações;
- Alta resistência à compressão e à tração;
- Boa estética, contribuindo para projetos arquitetônicos mais atrativos;
- Baixo peso próprio, facilitando o transporte e o manuseio;
- Sustentabilidade, por ser um recurso renovável quando proveniente de reflorestamento;
- Bom desempenho como isolante térmico e acústico.

Por possuir essas características, a madeira pode ser utilizada em diversos elementos de uma construção, como pilares, vigas e painéis. Por possuir alta capacidade de suportar cargas, é um excelente material para ser utilizado na estrutura de edificações. Segundo uma pesquisa realizada pela Universidade de São Paulo (USP), entre as estruturas que existem na construção civil, a madeira é o material mais utilizado na execução de estruturas de cobertura (Prefeitura do Município de São Paulo, 2001).

2.2. Sistemas Treliçados: Características e Aplicações

Treliça é um elemento estrutural caracterizado por um sistema triangulado, composto por banzos, montantes, diagonais e nós. Os seus membros são conectados de forma que as forças atuantes sejam predominantemente axiais, ou seja, de tração ou compressão (SkyCiv, 2024). Por ser uma estrutura eficiente na transmissão de esforços e capaz de vencer grandes vãos com reduzido consumo de material, a treliça é amplamente utilizada na construção de pontes e de coberturas.

Uma de suas principais vantagens é a capacidade de abranger longas distâncias utilizando uma quantidade relativamente pequena de material, o que a torna uma solução

estrutural leve e econômica. Existem diversos tipos de treliça, sendo que este trabalho se propõe a dimensionar uma treliça do tipo Howe. Esse modelo se caracteriza pelas diagonais inclinadas em direção às extremidades, as quais resistem predominantemente aos esforços de compressão, enquanto os montantes centrais trabalham à tração (UFG, 2011).

2.3. A Importância das Diretrizes Normativas

As normas técnicas são documentos elaborados por especialistas e aprovados por órgãos reconhecidos, com o objetivo de estabelecer regras e diretrizes que garantam a padronização de processos, produtos e serviços. Essas diretrizes visam assegurar que determinada atividade seja executada com eficiência, qualidade, segurança e conformidade (Donatelli, 2019).

No campo da Engenharia Civil, as normas são essenciais para garantir que as edificações sejam projetadas e construídas de maneira segura, durável e funcional. Além disso, elas contribuem para a redução de desperdícios de materiais, o aumento da eficiência nos processos construtivos e a melhoria das condições de segurança no ambiente de trabalho. O descumprimento das normas vigentes pode ocasionar patologias construtivas, falhas estruturais e comprometimento da integridade das edificações.

Essas normas também promovem uniformidade na execução das atividades e na comunicação entre profissionais, independentemente da região em que atuam, uma vez que todos seguem os mesmos critérios e procedimentos técnicos. Cada país possui suas próprias características e, por isso, conta com normas específicas elaboradas por seus respectivos órgãos reguladores. No Brasil, a entidade responsável pela elaboração e publicação das normas técnicas é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Este trabalho tem como objetivo comparar os critérios normativos para o dimensionamento de estruturas de madeira, utilizando a norma brasileira ABNT NBR 7190-1:2022 e a norma americana *National Design Specification for Wood Construction* (NDS), publicada pelo *American Wood Council* (AWC). Para isso, foi realizado o dimensionamento de uma treliça do tipo Howe, elemento utilizado na estrutura de cobertura de um galpão.

3. METODOLOGIA

A partir das diretrizes estabelecidas pelas normas ABNT NBR 7190-1:2022 e NDS 2018, este estudo realizou o dimensionamento comparativo de uma treliça do tipo Howe, com o objetivo de analisar as diferenças nos critérios normativos e no desempenho estrutural entre as abordagens brasileira e americana. A seguir, são descritas as etapas metodológicas adotadas.

A estrutura considerada neste estudo possui 12 metros de largura, 29 metros de comprimento e 4 metros de altura, com aberturas para janelas e portões que influenciam diretamente nas ações do vento. A escolha da treliça Howe justifica-se pela sua aplicação frequente em coberturas industriais e eficiência estrutural.

O dimensionamento, segundo a Norma Brasileira (ABNT NBR 7190-1:2022), foi realizado considerando o carregamento de vento obtido por meio do software VisualVentos para uma velocidade básica de 35 m/s. As combinações de ações foram realizadas com base na ABNT NBR 8681:2004, utilizando os coeficientes de ponderação e combinações estabelecidos pela norma. As cargas foram aplicadas à estrutura a partir do software Ftool, que forneceu os esforços axiais para dimensionamento das barras.

O dimensionamento da treliça de acordo com as diretrizes americana foi feito com base no *American Wood Construction* de 2018. Para o cálculo das cargas verticais, dessa norma, foi usado o Capítulo 16 do *Internacional Building Code* (IBC) para definição das cargas permanentes e variáveis da estrutura, além das equações de combinações utilizadas. Para dimensionar as cargas verticais, também foi utilizado o Apêndice B do *Design of Wood Structures* (Breyer, 2015). Vale destacar que as ações do vento foram obtidas por meio do cálculo da pressão de estagnação (q_s) e aplicação dos fatores de ajuste (I_w , C_e , C_q), conforme a metodologia norte-americana. E a modelagem estrutural também utilizou o Ftool, permitindo a comparação direta dos esforços axiais.

Para viabilizar uma comparação coerente entre os modelos normativos, foram adotados materiais equivalentes em função estrutural. No modelo brasileiro, considerou-se madeira da classe C24 (conífera), enquanto no modelo americano foi adotado o Pinheiro-branco-do-leste (*Eastern White Pine*). As telhas empregadas nos dois modelos também apresentaram equivalência quanto à massa e às características de cobertura.

Por fim, os resultados obtidos para as principais barras da treliça foram analisados com base nos estados limites de compressão, tração e flecha, conforme os critérios estabelecidos por cada norma. Essa abordagem permitiu avaliar a segurança e a eficiência estrutural de acordo com as diretrizes normativas brasileira e americana.

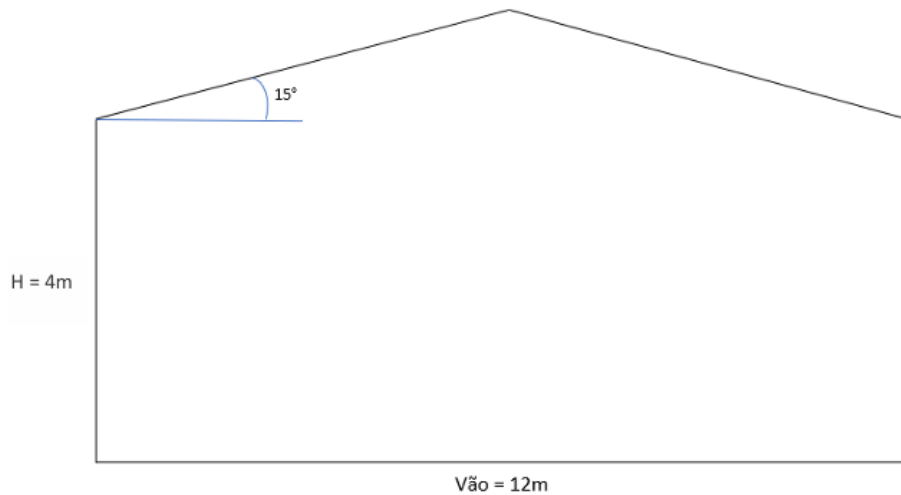
4. DIMENSIONAMENTO

Nesta seção, são mostrados os resultados obtidos a partir dos cálculos de dimensionamento e de esforços na barra da treliça de madeira utilizando as normas brasileira ABNT NBR 7190-1:2022 e americana NDS 2018 (*National Design Specification for Wood Construction*), esta última publicada pelo American Wood Council (AWC).

4.1. Características da Estrutura

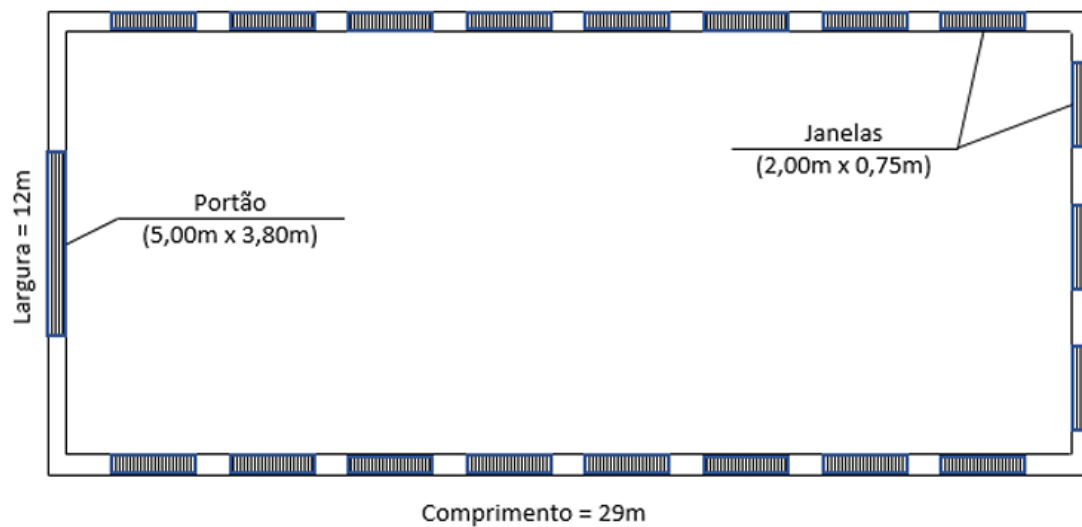
A treliça considerada neste estudo é parte da estrutura do telhado de um galpão que possui 4m de altura, 12m de largura e 29m de comprimento. Além disso, o galpão possui janelas e portões que influenciam nas cargas envolvidas. É possível identificar todas essas dimensões e aberturas nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 - Vista frontal do galpão



Fonte: Adaptado de Pinheiro, Molina e Lahr (2010).

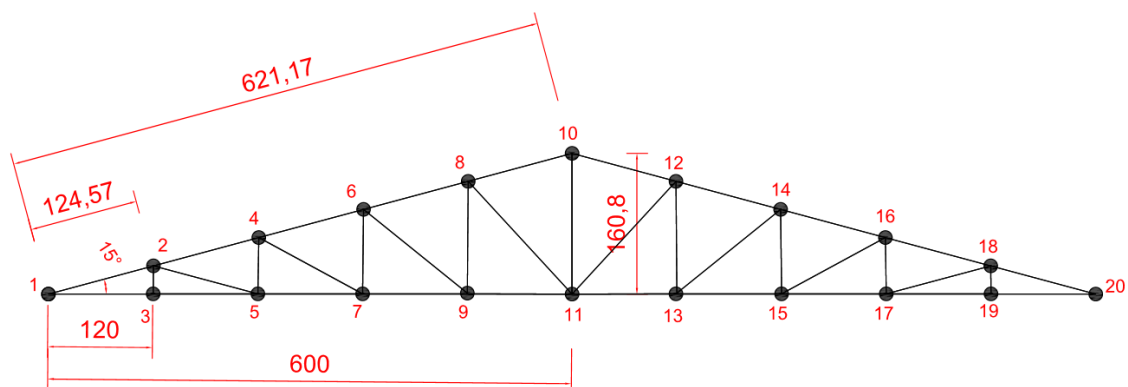
Figura 2: Vista superior do galpão



Fonte: Adaptado de Pinheiro, Molina e Lahr (2010).

A estrutura de madeira analisada é uma treliça do tipo Howe, seus espaçamentos (em centímetros), nós, montantes, diagonais e banzos podem ser visualizados na Figura 3. Além disso, é importante ressaltar que a cobertura possui uma inclinação de 15° . A escolha deste tipo de treliça justifica-se pela sua aplicação frequente em coberturas industriais e eficiência estrutural.

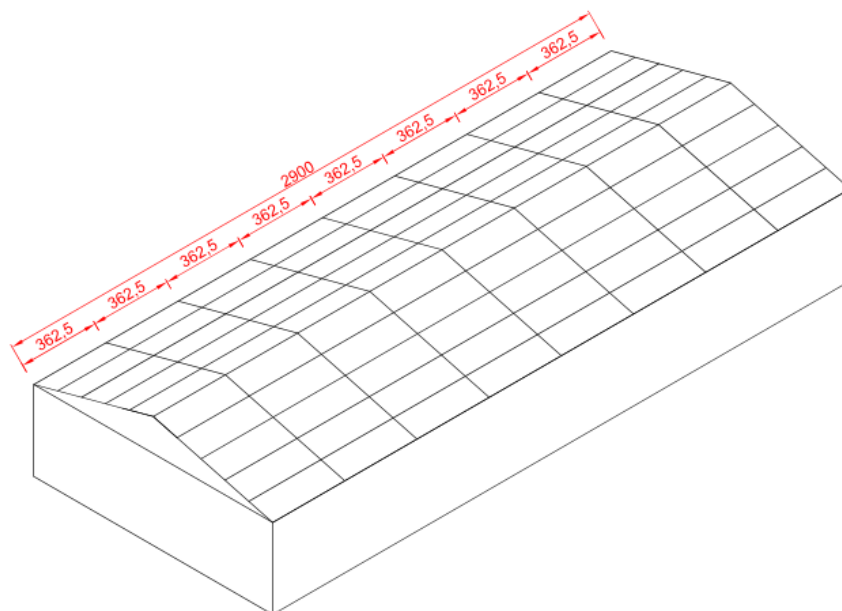
Figura 3: Treliça



Fonte: Autores (2025)

A Figura 4 mostra uma visão superior do galpão, com o distanciamento de 3,63 m entre tesouras.

Figura 4: Visão superior do galpão [cm]



Fonte: Autores (2025)

A estrutura está implantada em um terreno plano, tendo o Fato topográfico (S_1) de 1,0. Além disso, foi considerada como um galpão para depósito, fazendo parte do Grupo 4, sendo assim, possui um Fator estatístico (S_3) de 0,95. Utilizando a NBR 7190-1:2023,

é possível calcular o Fator S_2 , resultando em 0,77, por ser considerado Categoria IV e Classe B.

Seguindo o objetivo desse artigo, os materiais empregados foram considerados com base em cada normativa, sendo equivalentes em função estrutural. Na Tabela 1 estão indicados os tipos de madeira e telha considerados para realizar os cálculos do carregamento.

Tabela 1 – Características da treliça

Descrição	AWC	NBR
Madeira	Pinheiro-branco-do-leste	Conífera C24
Telha	Fibrocimento ondulado com amianto	Ondulada de fibrocimento

Fonte: Autores (2025).

As unidades de medida seguiram o Sistema Internacional (SI) para a NBR e o Sistema Imperial Britânico para a AWC, sendo que o significado de cada uma das unidades de medida, segundo as diretrizes americana, estão descritas na Tabela 2. Porém, para melhor entendimento desse trabalho, todos os resultados calculados seguindo a NDS foram convertidos para o SI.

Tabela 2 – Sistema Imperial Britânico

Sigla	Significado
psf	Libra por pé quadrado (pounds per square foot)
fbf	Libra-força (pound-force)
kip	Quilolibras (kilopound)
psi	Libras por polegada quadrada (pounds per square inch)
in	Polegada (inch)
ft	Pés (feet)

Fonte: Autores (2025).

4.2. Cálculo das Cargas Horizontais e Esforços nas Terças

Primeiramente foi feito o cálculo das forças horizontais considerando a força do vento. Para ambas as normas, foi adotada a velocidade básica do vento de 35 m/s, ou 78,29 mph.

4.2.1. Norma Americana (NDS/AWC)

O cálculo das cargas horizontais pela norma AWC iniciou-se com o cálculo da pressão dinâmica do vento (q_s). A partir desse resultado, do fator de importância da estrutura (I_w), do fator de cominação de altura (C_e) e do coeficiente de pressão (C_q), fez-

se as combinações para determinar as pressões positivas e negativas do vento, indicados na Tabela 3.

Tabela 3 – Cargas horizontais segundo a AWC

Descrição	Resultado	Explicação
q_s (kN/m ²)	0,75 (15,69 psf)	-
I_w	0,87	armazém pequeno
C_e	1,06	para 0'<h<15'
C_e	1,13	para 15'<h<20'
C_q	1,13	para h<40' - pressão positiva
C_q	0,70	para h<40' - pressão negativa
Combinação 1 (kN/m ²)	0,78 (16,35 psf)	para 0'<h<15'
Combinação 2 (kN/m ²)	0,83 (17,43 psf)	para 15'<h<20' - pressão positiva
Combinação 3 (kN/m ²)	0,52 (-10,80 psf)	para 15'<h<20' - pressão negativa

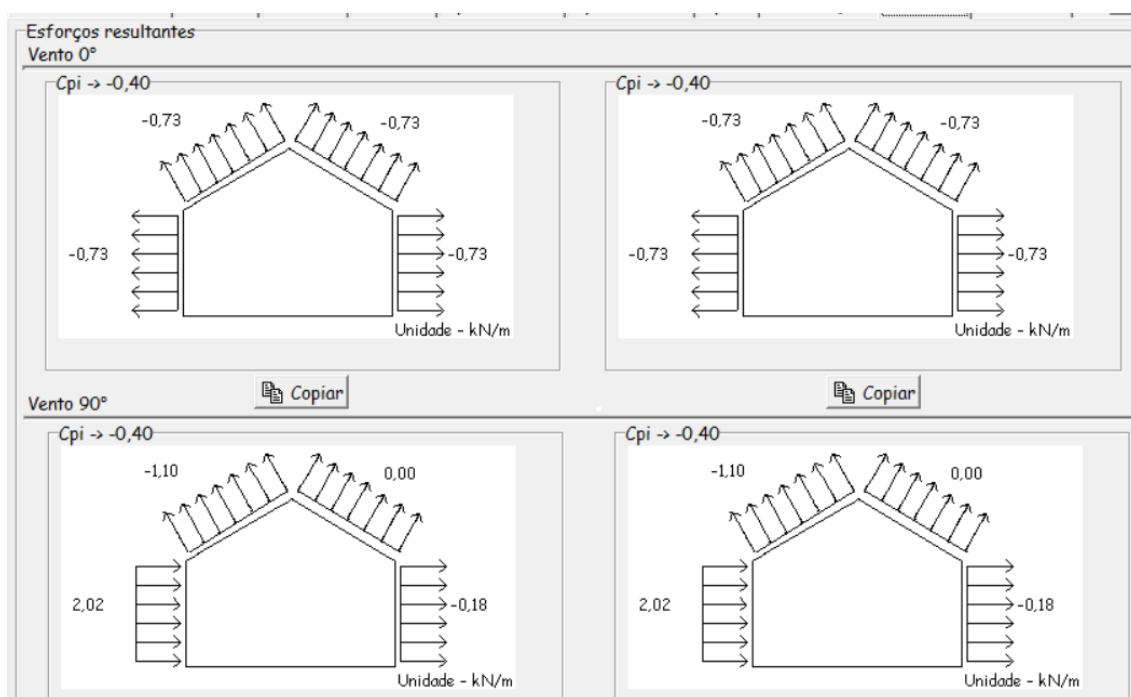
Fonte: Autores (2025)

Para que o dimensionamento feito, foi considerado a pressão positiva mais crítica, de 0,83 kN/m² (17,43 psf). Dessa forma, ela foi decomposta para ficar vertical na estrutura, resultando em uma carga de 0,06 kN/m² (1,17 psf).

4.2.2. Norma Brasileira (NBR)

A determinação da carga de vento seguiu os procedimentos da ABNT NBR 7190-1:2022 e da ABNT NBR 6123:2023, com auxílio do software VisualVentos, considerando a mesma velocidade básica. O esforço resultante, ver Figura 5, foi convertido em carga horizontal distribuída na terça, e a carga mais crítica foi aplicada no modelo estrutural via Ftool.

Figura 5 – Ações resultantes do vento pelo VisualVentos



Fonte: VisualVentos (2025)

Com os esforços resultantes do telhado de -0,73kN/m e de -1,10kN/m foi possível criar a Tabela 4.

Tabela 4 - Carga do vento de sucção

Descrição	Carga do vento
Carga 1 (kN/m)	0,73
Carga 2 (kN/m)	1,10
Carga 3 (kN/m)	0,00

Fonte: Autores (2025)

Os valores presentes na Tabela 4 foram utilizados na Equação 1 para encontrar a carga horizontal que é transmitida para as terças.

$$Força\ horizontal = \frac{Força\ do\ vento \times sen(\alpha)}{2} \quad (1)$$

Inserindo as cargas do vento e o ângulo de 15° obteve-se as cargas demonstradas na Tabela 5.

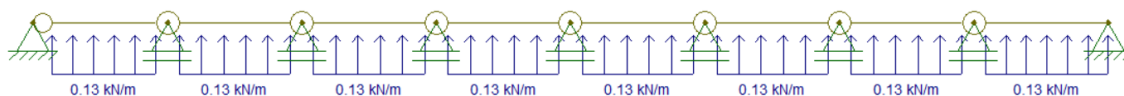
Tabela 5 – Cargas horizontais da terço

Descrição	Carga do horizontal
Carga 1 (kN/m)	0,09
Carga 2 (kN/m)	0,13
Carga 3 (kN/m)	0,00

Fonte: Autores (2025)

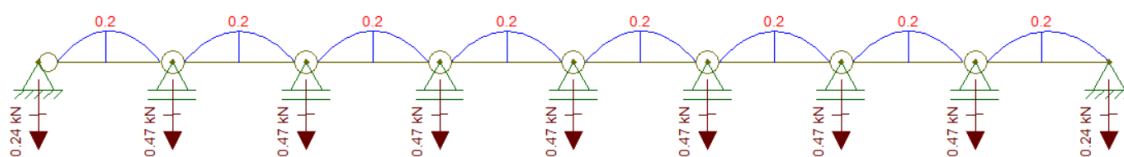
Assim, considerou-se a carga mais crítica, de 0,13 kN/m, a qual foi aplicada no software Ftool com o objetivo de simular a estrutura submetida às ações horizontais do vento, conforme ilustrado na Figura 6. A partir dessa simulação, obtiveram-se os valores das reações de apoio na terço iguais a 0,24 kN nas extremidades e 0,47 kN na região central da treliça. Esses valores representam a carga horizontal transferida pelo vento, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 6 – Carga do Vento distribuída pela Terço



Fonte: Autores (2025)

Figura 7 – Cargas horizontais da estrutura



Fonte: Autores (2025)

4.3. Cargas Verticais e Esforços nas Treliças

4.3.1. Norma Americana (NDS/AWC)

O cálculo das cargas verticais, seguindo a AWC, foi feito com combinações entre carga permanente (D), cargas variáveis (L) e cargas do vento (W), utilizando as equações a seguir e resultando nos valores indicados na Tabela 6.

- Combinação 1: $D + L$
- Combinação 2: $D + 0,75 \cdot L$
- Combinação 3: $D + 0,6 \cdot W$
- Combinação 4: $D + 0,75 \cdot L + 0,75 \cdot (0,6 \cdot W)$
- Combinação 5: $0,6 \cdot D + 0,68 W$

Tabela 6 – Combinações das cargas verticais pela AWC

Combinações	Valor calculado
D (kN/m ²)	0,32 (6,70 psf)
L (kN/m ²)	0,96 (20,00 psf)
W (kN/m ²)	0,06 (1,20 psf)
Combinação 1 (kN/m ²)	1,28 (26,70 psf)
Combinação 2 (kN/m ²)	1,04 (21,70 psf)
Combinação 3 (kN/m ²)	0,35 (7,40 psf)
Combinação 4 (kN/m ²)	1,06 (22,20 psf)
Combinação 5 (kN/m ²)	0,23 (4,70 psf)

Fonte: Autores (2025)

Assim, foi levado em consideração a carga mais crítica de 1,28 kN/m², que multiplicada pelo cosseno do ângulo e pela distância de contribuição, achou-se uma contribuição de carga de cada treliça de 4,48 kN/m (306,65 lbs/ft). Considerando que essa carga está distribuída, foi necessário concentrar nos nós. Esse cálculo foi feito baseado na área de contribuição de cada nó, mostrados na Tabela 7.

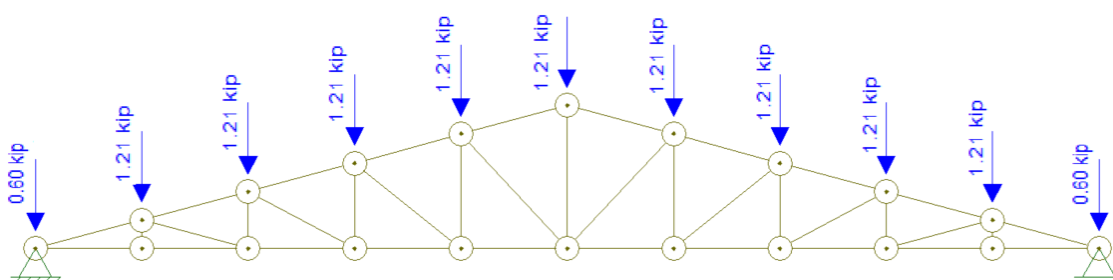
Os resultados mostrados na Tabela 6 podem ser visualizados na Figura 8, que foi feita pelo software Ftool, em que foi possível determinar as cargas axiais da estrutura, como mostra a Figura 9.

Tabela 7 – Cargas verticais distribuídas nos nós

Nó	Carga (kN)
1	2,67 (0,60 kips)
2	5,38 (1,21 kips)
4	5,38 (1,21 kips)
6	5,38 (1,21 kips)
8	5,38 (1,21 kips)
10	5,38 (1,21 kips)
12	5,38 (1,21 kips)
14	5,38 (1,21 kips)
15	5,38 (1,21 kips)
16	5,38 (1,21 kips)
18	5,38 (1,21 kips)
20	2,67 (0,60 kips)

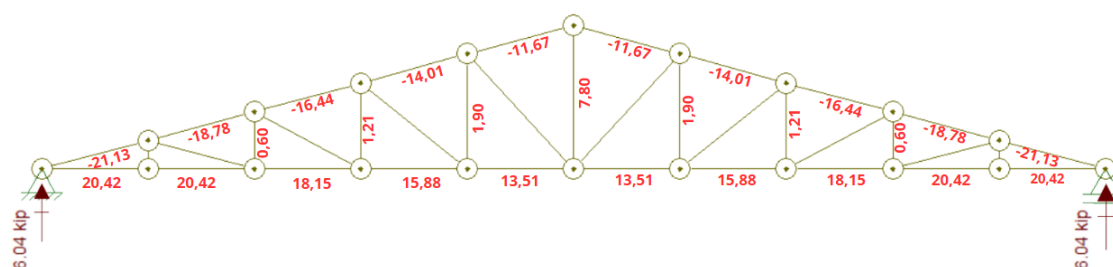
Fonte: Autores (2025)

Figura 8 – Cargas Verticais pela AWC, na estrutura



Fonte: Autores (2025)

Figura 9 – Cargas Axiais pela AWC, na estrutura [kip]



Fonte: Autores (2025)

Com a Figura 8, pode-se notar que o trecho 1-2 possui a maior carga axial de compressão e o trecho 1-3 de tração, sendo assim ele será utilizado de base para os

cálculos de compressão, tração de Deslocamento da treliça, seguindo a Norma Americana.

4.3.2. Norma Brasileira (NBR)

O dimensionamento, segundo a normativa brasileira, seguiu os critérios da ABNT NBR 7190-1:2022 e as combinações da ABNT NBR 8681:2004. Foram consideradas as ações permanentes (peso próprio, telha), variáveis (sobrecarga) e vento. Os esforços resultantes do vento adquiridos no software VisualVentos foram multiplicados pelo cosseno do ângulo, como na Equação 2, resultando na Tabela 8.

$$Carga\ vento = Esforço\ resulante \times \cos(\alpha) \quad (2)$$

Tabela 8 – Carga do vento vertical

Descrição	Carga
Carga de vento 1 (kN/m)	0,71
Carga de vento 2 (kN/m)	0,98
Carga de vento 3 (kN/m)	0,00

Fonte: Autores (2025)

Os valores do peso de cada peça da estrutura foram calculados separadamente, sendo estas peças a terço, os montantes, as diagonais e os banzos. Para isso, multiplicou-se a densidade da madeira conífera C24 pelo volume correspondente a cada peça. Os valores da área da seção transversal, o comprimento, volume, densidade, massa, peso e o peso adotado após os cálculos estão indicados na Tabela 9.

Tabela 9 – Cálculo do peso das peças da estrutura

	Área (m²)	Comprimento (cm)	Volume (cm)	Densidade (kg/cm³)	Massa (kg)	Peso (N)	Peso Adotado (kN)
Terço	72,00	31 900,00	2 296 800,00	0,00042	98,33	98,33	0,10
Montante	72,00	5 928,48	426 850,56	0,00042	179,28	18,27	0,02
Diagonal	36,00	21 074,04	758 665,44	0,00042	318,64	32,48	0,03
Banzo superior	36,00	22 362,12	805 036,32	0,00042	326,59	33,29	0,03
Banzo inferior	36,00	21 600,00	777 600,00	0,00042	326,59	33,29	0,03

Fonte: Autores (2025)

Os pesos das peças foram transformados em cargas distribuídas, dividindo-os pelo comprimento de cada peça, em metros. Com essas informações foram feitas combinações utilizando os fatores de combinação e os coeficientes de ponderação, como mostra a Equação 3.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \times F_{Gi} + [F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j} \times F_{Qj,k}] \quad (3)$$

Abaixo está descrita como foi feita cada combinação:

- Combinação 1: a principal carga variável é a sobrecarga utilizando a caga do vento 1;
- Combinação 2: a principal carga variável é a sobrecarga utilizando a caga do vento 2;
- Combinação 3: a principal carga variável é a sobrecarga utilizando a caga do vento 3;
- Combinação 4: a principal carga variável é o vento utilizando a caga do vento 1;
- Combinação 5: a principal carga variável é o vento utilizando a caga do vento 2;
- Combinação 6: a principal carga variável é o vento utilizando a caga do vento 3;

As cargas e os coeficientes considerados estão descritos na Tabela 10, já os resultados estão dispostos na Tabela 11. Os coeficientes de majoração e minoração foram obtidos da ABNT NBR 8681:2004. A telha considerada foi a ondulada de fibrocimento de 6mm.

Tabela 10 – Fatores das combinações das cargas verticais pela NBR

Fatores	Resultados
Carga da terça [kN/m]	0,027
Carga dos montantes [kN/m]	0,003
Carga das diagonais [kN/m]	0,003
Carga do banzo superior [kN/m]	0,003
Carga do banzo inferior [kN/m]	0,003
Carga telhas [kN/m]	0,22
Cargas Acidentais [kN/m]	0,30
Carga de vento 1 [kN/m]	0,71
Carga de vento 2 [kN/m]	0,98
Carga de vento 3 [kN/m]	0,00
Coeficiente de majoração para Pesos Próprios (desfavorável)	1,30
Coeficiente de majoração para Pesos Próprios (favorável)	1,00
Coeficiente de majoração para ações variáveis - γ (vento)	1,00
Coeficiente de majoração para ações variáveis - γ (Sobrecarga)	1,50
Coeficiente de minoração - Ψ_0 (vento)	0,60
Coeficiente de minoração - Ψ_0 (Sobrecarga)	0,50

Fonte: Autores (2025)

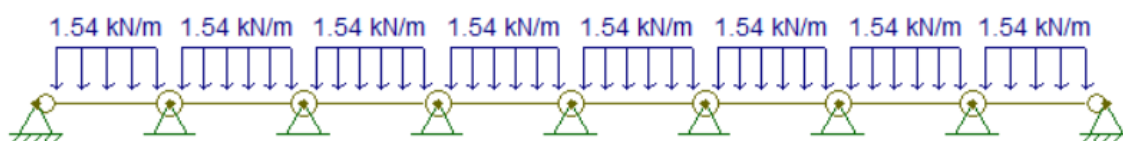
Tabela 11 – Combinações das cargas verticais pela NBR

Combinações	Resultados [kN/m]
Combinação 1	1,21
Combinação 2	1,38
Combinação 3	0,79
Combinação 4	1,27
Combinação 5	1,54
Combinação 6	0,57

Fonte: Autores (2025)

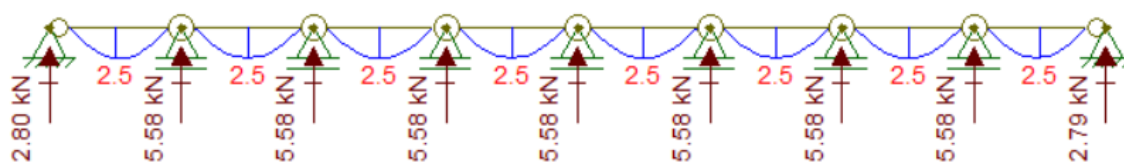
Considerando a Combinação 5 como a mais crítica, adicionou-se na terça a carga distribuída de 1,54 kN/m a partir do software Ftool, conforme Figura 10, sendo possível obter as cargas verticais da Figura 11.

Figura 10 – Cargas distribuída pela terça



Fonte: Autores (2025)

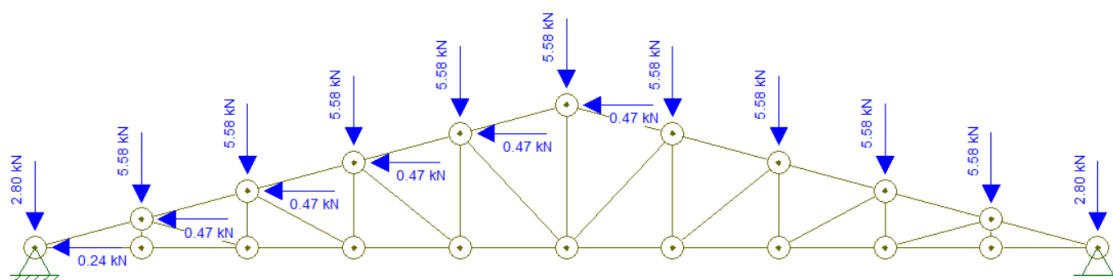
Figura 11 – Cargas Verticais da estrutura



Fonte: Autores (2025)

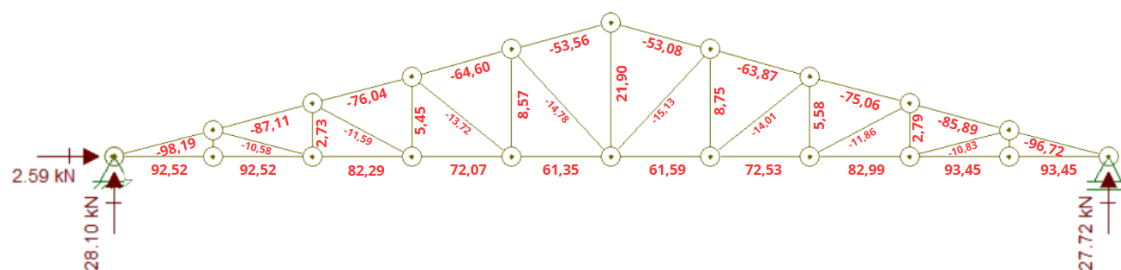
Assim, as cargas horizontais e verticais foram inseridas no software Ftool, Figura 12, o que resultou nas forças axiais da Figura 13. Observa-se que o trecho 1-2 tem as maiores cargas axiais de compressão e o trecho 1-3 para a tração, e por isso o seu resultado será o considerado para os demais cálculos.

Figura 12 – Cargas Verticais e Horizontais na estrutura



Fonte: Autores (2025)

Figura 13 – Cargas axiais finais na estrutura [kN]



4.4. Verificação dos esforços nas barras

A verificação dos esforços nas barras foi realizada com base nos maiores esforços axiais obtidos nos dois modelos analisados, com destaque para os trechos compreendidos entre os nós 1 e 2 e os nós 1 e 3, conforme mencionado anteriormente. Para esse trecho, foram calculados os seguintes parâmetros:

- Compressão: comparação entre a tensão solicitante e a tensão resistente (ajustada ou de cálculo).
- Tração: comparação da força axial com a força de projeto admissível.
- Deslocamento: comparação da flecha obtida com a flecha limite admissível (AWC) ou os critérios da NBR.

As equações e fatores normativos utilizados estão descritos na Tabela 12, conforme o caso.

Tabela 12 – Comparações para o membro suportar os esforços

NDS/AWC	
Compressão	Se a Força axial $< F_c' \times A$, o membro suporta compressão
Tração	Se a Força axial $< F_t' \times A$, o membro suporta tração
Deslocamento	Se $\Delta_{L1} < \Delta_{permitido}$, o membro suporta Deslocamento
ABNT NBR 7190-1:2022	
Compressão	Se $\sigma N_{c,d} < f_{c0,d}$, o membro suporta compressão
Tração	Se $\sigma N_{t,d} < f_{t0,d}$, o membro suporta compressão
Deslocamento	Se a flecha for inferior ao valor máximo admissível, o membro suporta

Fonte: Autores (2024)

4.4.1. Norma Americana (NDS/AWC)

De acordo com as recomendações da AWC, os valores característicos de resistência à tração, compressão e flexão, bem como o módulo de elasticidade, devem ser ajustados por fatores específicos para determinação dos valores de projeto. No caso da verificação de deflexões, utiliza-se o módulo de elasticidade ajustado (E'), que considera fatores distintos dos aplicados nas verificações de resistência. O valor de projeto é encontrado na Tabela 4A do Suplemento do *National Desing Specification*, os parâmetros utilizados para a madeira Pinheiro-branco-do-leste estão indicados na Tabela 13.

Utilizando os coeficientes indicados na Tabela 13, é possível ajustar os valores da Tabela 14, resultando nos valores da Tabela 15.

Tabela 13– Valor de projeto da madeira Pinheiro-branco-do-leste

F_t (MPa)	F_c (MPa)	E (MPa)
3,96 (575,00 psi)	8,27 (1 200,00 psi)	8273,71 (1 200 000,00 psi)

Fonte: Autores (2025)

Tabela 14 – Coeficientes de ajuste

Coeficientes	Valores
C_d	0,90
C_m	0,70
C_t	1,00
CF	1,11
C_i	1,00

Fonte: Autores (2025)

Para chegar no valor ajustado de compressão é necessário determinar o resultado multiplicando a razão dos valores da resistência pelo fator de estabilidade de colunas calculado, disposto na Tabela 15. O valor ajustado de tração e da compressão precisam ser multiplicados pela área da barra, gerando o $F_t' \times A$ e $F_c' \times A$

Tabela 15 – Valores de projeto ajustados

Parâmetros	Valores modificados
$F_t' \times A$ (kN)	8,97 (2 017,59 lbf)
$F_c' \times A$ (kN)	19,67 (4 422,36 lbf)
E' (MPa)	5791,60 (840 000,00 psi)

Fonte: Autores (2025)

Assim, também é calculado a tensão solicitante de compressão (f_c), a força axial (f_t) e a deslocamento do membro (Δ_{L1}) da treliça, sendo que Δ_{L1} é comparada com a deslocamento permitida ($\Delta_{permitido}$) no membro. Esses resultados são mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores dos esforços e do deslocamento

Parâmetros	Valor calculado	Valores de comparação
f_c (kN)	93,99 (21 130,00 lbf)	19,67 (4 422,36 lbf)
f_t (kN)	90,83 (20 420,00 lbf)	8,97 (2 017,59 lbf)
Δ_{L1} (m)	0,005 (0,20 in)	0,004 (0,15 in)

Fonte: Autores (2025)

4.4.2. Norma Brasileira (NBR)

Para o cálculo de resistência a compressão seguindo a Norma Brasileira, é preciso dividir o valor de cálculo da força normal de compressão ($N_{c,d}$) pela área, resultando no valor de cálculo da tensão de compressão normal ($\sigma N_{c,d}$). O valor encontrado dessa razão precisa ser menor que o valor de cálculo da resistência à compressão paralela às fibras ($f_{c0,d}$). Desse modo, a Equação 4 demonstra o que foi dito, resultando na Tabela 17.

$$\sigma N_{c,d} = \frac{N_{c,d}}{A} \leq f_{c0,d} \quad (4)$$

Tabela 17 – Resistência a Compressão

Parâmetros	Valores calculados
$f_{c0,d}$ (MPa)	12,00
$N_{c,d}$ (kN)	98,12
$\sigma N_{c,d}$ (MPa)	33,75

Fonte: Autores (2025)

No cálculo de resistência de tração é preciso fazer a razão entre o valor de cálculo da força normal de tração ($N_{t,d}$) pela área, o que resulta no valor de cálculo da tensão de tração normal ($\sigma N_{t,d}$). Isso é comparado com o valor de cálculo da resistência à tração paralela às fibras ($f_{t0,d}$), como mostra a Equação 5, seus resultados estão dispostos na Tabela 18.

$$\sigma N_{t,d} = \frac{N_{t,d}}{A} \leq f_{t0,d} \quad (5)$$

Tabela 18 – Resistência a Tração

Parâmetros	Valores calculados
$f_{t0,d}$ (MPa)	8,00
$N_{t,d}$ (kN)	92,50
$\sigma N_{t,d}$ (MPa)	33,27

Fonte: Autores (2025)

Para a deslocamento é calculado os valores máximos da flecha instantânea e da flecha final, que são comparados com os valores da estrutura. Os valores máximos são calculados utilizando as Equações 6, 7, 8 e 9. As flechas das terças são obtidas usando a Equação 10 e 11, já a das tesouras é dada pelo software Ftool. Todos os valores estão na Tabela 19.

$$\delta_{int} = \frac{L}{300} \quad (6)$$

$$\delta_{int} = \frac{L}{500} \quad (7)$$

$$\delta_{fin} = \frac{L}{150} \quad (8)$$

$$\delta_{fin} = \frac{L}{300} \quad (9)$$

$$\delta_{terça,int} = VB_g + VB_q \quad (10)$$

$$\delta_{terça,fin} = VB_g + (VB_q \times \Psi_{2,q} \times (1 + fluência)) \quad (11)$$

Sendo que o valor de fluência foi considerado como 0,6.

Tabela 19 – Deslocamento

Terça			
	Máximo	Da estrutura em x	Da estrutura em y
δ_{inst} [cm]	1,21	1,94	2,12
δ_{inst} [cm]	0,73		
δ_{fin} [cm]	2,42	1,56	1,67
δ_{fin} [cm]	1,21		
Tesoura			
	Máximo	Da estrutura	
δ_{inst} [cm]	4,00	11,49	
δ_{inst} [cm]	2,40		
δ_{fin} [cm]	8,00	9,24	
δ_{fin} [cm]	4,00		

Fonte: Autores (2025)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas análises realizadas, observou-se que a treliça dimensionada não atendeu aos requisitos de verificação das normas que foram utilizadas para o dimensionamento. Para a NDS/AWC os valores de tração e compressão ultrapassaram os limites, da mesma forma que ocorreu no dimensionamento segundo a ABNT NBR 7190-1:2022. No caso da compressão, de acordo com a norma brasileira os valores ultrapassam o limite normativo, enquanto que na americana o resultado atendeu ao critério. Dessa forma, a estrutura, nessas condições, não seria segura conforme ambas as normas.

Por mais que as duas normas tenham reprovado, há uma discrepância entre os valores encontrados. É possível observar na Tabela 20 os resultados dos esforços de acordo com ambas as normas, sendo que todos os valores estão no Sistema Internacional de Unidades. Dessa forma, foi possível comparar os dados e perceber que os resultantes dos cálculos são parecidos para compressão e tração, porém seguindo a norma brasileira são consideravelmente maiores que os da americana para o deslocamento, como mostra a Tabela 20.

Tabela 20 – Comparação entre o resultado dos esforços

	NDS/AWC	NBR	Porcentagem
Compressão (kN)	98,44	98,12	NDS/AWC é 0,33% maior que a NBR
Tração (kN)	90,84	92,5	NBR é 1,79% maior que a NDS/AWC
Deslocamento (m)	0,004	0,12	NBR é 96,67% maior que a NDS/AWC

Fonte: Autores (2025)

Esse contraste de resultados está associado as diferentes abordagens entre as normas. A norma brasileira utiliza fatores de segurança mais conservadores, além de critérios próprios para ajuste de resistência e cálculo dos esforços atuantes. Já a norma americana, além de permitir o uso de diversos coeficientes de ajuste favoráveis, adota métodos que tendem a otimizar o dimensionamento.

Para fins comparativos, foi feito o cálculo de compressão e tração da mesma forma que na NBR utilizando os dados da NDS. Dessa forma, foi obtida a Tabela 21.

Tabela 21 – Comparação entre o resultado da tensão normal

	NBR	NDS/AWC
$\sigma_{Nc,d}$ (MPa)	33,76	5,47
$\sigma_{Nt,d}$ (MPa)	33,27	2,50

Fonte: Autores (2025)

A norma brasileira utiliza fatores de modificação que ajustam a resistência conforme o tipo de solicitação, de carga e condições de serviço, já a norma americana trás fatores mais variados para cada tópico (umidade, temperatura, duração da carga, entre outros). Isso faz com que os cálculos fiquem diferentes de acordo com cada diretriz. Vale salientar que as combinações de carga da ABNT NBR 8681:2004 são explicadas e bem definidas, diferente da NDS/AWC que especifica elas em um documento alternativo, a ASCE 7-16, o que afeta a organização e o dimensionamento.

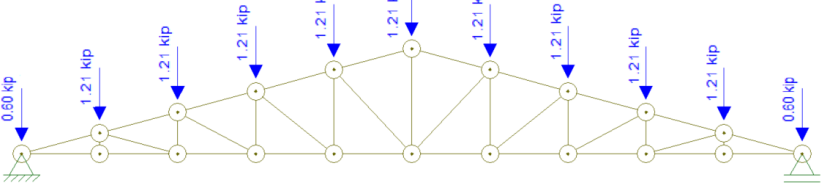
Também é possível observar uma diferença entre os métodos utilizados. O Método das Tensões Admissíveis faz uma comparação entre a tensão que a estrutura está submetida com a tensão de resistência, enquanto que os Métodos dos Estados Limites consideram diferentes estados limites de projeto, como o estado limite de serviço e o estado limite de resistência, comparando os esforços submetidos pela estrutura com os limites que ela pode atingir a partir de uma abordagem probabilística para a segurança.

Ademais, a variação nos materiais utilizados, mesmo sendo equivalentes em função estrutural, também pode ter influenciado nos resultados finais. Fatores como o módulo de elasticidade, resistência à tração e compressão paralela às fibras possuem diferenças significativas entre a madeira C24 e o Pinheiro-branco-do-leste.

Dessa forma, evidencia-se a importância da correta aplicação das normas técnicas locais no dimensionamento de estruturas, respeitando suas premissas e critérios de segurança. A utilização de uma norma estrangeira sem a devida contextualização pode resultar em estruturas subdimensionadas ou fora dos padrões normativos brasileiros.

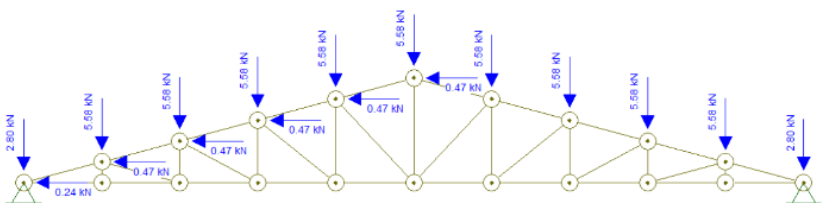
Para que seja mais fácil entender os resultados desse trabalho, as Tabelas 22 e 23 resumem tudo que foi abordado anteriormente para as normas NDS/AWC e NBR, respectivamente.

Tabela 22 – Resumo dos resultados para NDS/AWC

Força nas treliças	
Compressão [kN]	98,44
Tração [kN]	90,84
Deformação [m]	0,004

Fonte: Autores (2025).

Tabela 23 – Resumo dos resultados para NBR

Força nas treliças	
Compressão [kN]	121,52
Tração [kN]	119,80
Deformação [m]	0,12

Fonte: Autores (2025).

6. CONCLUSÃO

Esse artigo analisa a diferença entre as normas ABNT NBR 7190-1:2022 e a NDS/AWC, por meio dos cálculos do dimensionamento de uma treliça de madeira e os esforços que ela suporta.

Assim, os resultados apontaram que há diferença entre o uso das normas, uma vez que levam em considerações tipos de materiais e de cargas diferentes, além parâmetros considerados para o dimensionamento. Essas divergências afetam o cálculo dos esforços, fazendo os valores de compressão, tração e deslocamento serem diferentes em cada método. Porém, mesmo com suas diferenças metodológicas, ambas trazem equivalência ao reprovarem a mesma estrutura.

Além disso, a diferença de materiais considerados em cada norma influenciou no resultado obtido, uma vez que os seus dados e especificações são diferentes.

O estudo também permitiu concluir que é importante utilizar as recomendações normativas de cada país, assim o engenheiro poderá garantir segurança da estrutura e dos usuários, bem como o desempenho adequado durante a vida útil da estrutura.

REFERÊNCIAS

AMUCHASTEGUI, G.J. **Elementos Finitos – O que é? Quando utilizar? Quais são os benefícios?** Disponível em: <<https://ens.us.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estrutura de madeira. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

AMERICAN WOOD COUNCIL. National design specification for wood construction (NDS). 2018 Edition. Washington, DC, USA. American Forest & Paper Association, 2018.

AMERICAN WOOD COUNCIL. Supplement NDS: National design specification – Design values for wood construction. 2018 Edition. Washington, DC, USA. American Forest & Paper Association, 2018.

Appendix B: Weights of building materials. Disponível em: <<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071745604/back-matter/appendix2>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

CARVALHO, R. **Método dos Estados Limites.** Disponível em: <<https://lureengenharia.com.br/metodo-dos-estados-limites/>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

DOATELLI, L. **Normas Técnicas: Qual a importância? - Blog Biossegurança.** Disponível em: <<https://www.cristofoli.com/biosseguranca/normas-tecnicas-qual-a-importancia/>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ENGENHARIA, A. S. M. **O que é treliça e para que serve?** Disponível em: <<https://blog.asmeng.com.br/trelica-o-que-e-para-que-serve/>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ENGENHARIA, Kot. **Segurança estrutural: Conceitos básicos e interpretação de resultados.** Disponível em: <<https://kotengenharia.com.br/seguranca-estrutural/>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

GESUALDO, F. A. R. **ESTRUTURAS DE MADEIRA.** Capítulo 1 – Generalidades. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/08/notas_de_aula_madeiras.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL (ICC). **Chapter 16 structural design - 2018 international building code (ibc).** Disponível em: <<https://codes.iccsafe.org/content/IBC2018/chapter-16-structural-design>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

KANEHIRA, C. **O uso da madeira na Construção Civil: no Brasil e no mundo.** Disponível em: <<https://eescjr.com.br/blog/o-uso-da-madeira-na-construcao-civil-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-tema/>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** São Paulo: Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, [s.d.]. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/arquivos/secretarias/meio_o_ambiente/fauna_flora/manual_madeira/manual_da_madeira03.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2025.

SKYCIV. **Tipos de estruturas treliçadas | Engenharia SkyCiv.** Disponível em: <<https://skyciv.com/pt/docs/tutorials/truss-tutorials/types-of-truss-structures/>>. Acesso em: 15 abr. 2025.

PINHEIRO, R. V.; MOLINA, J. C.; LAHR, F. A. R. Estrutura treliçada de madeira tipo “Howe” para cobertura – exemplo. In: CALIL JUNIOR, C.; MOLINA, J. C. (Ed.). Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo. São Paulo: PINI, 2010. p. 37–100.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. *Introdução ao MEF.* Capítulo 1 – O método dos elementos Finitos. Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM266/Apostila/Introdução%20ao%20MEF.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2025.