



**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**HUGO CARNEIRO DE PAULA**

**COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS TRELIÇADOS DO TIPO PRATT,  
DO TIPO WARREN E DO TIPO HOWE, COM FOCO NO MENOR  
PESO.**

**FORTALEZA**

**2023**

**HUGO CARNEIRO DE PAULA**

**COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS TRELIÇADOS DO TIPO PRATT,  
DO TIPO WARREN E DO TIPO HOWE, COM FOCO NO MENOR  
PESO.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
engenharia civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Esp. Danúbio Costa  
Lagoa

**FORTALEZA**

**2023**

Folha destinada à inclusão da **Ficha Catalográfica** a ser solicitada à Biblioteca da FAS e posteriormente impressa no verso da Folha de Rosto (folha anterior).

Espaço destinado à elaboração da ficha catalográfica sob responsabilidade da Faculdade Ari de Sá.

**HUGO CARNEIRO DE PAULA**

**Comparação entre sistemas treliçados do tipo Pratt, do tipo Warren e do tipo Howe, com foco no menor peso.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em engenharia civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Esp. Danúbio Costa Lagoa

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me./Dr. (Nome do Orientador(a))  
Faculdade Ari de Sá

---

Prof. Me./Dr. (Nome do Avaliador Externo)  
Nome da Faculdade/Universidade do Avaliador 1

---

Prof. Me./Dr. (Nome do Avaliador Externo)  
Nome da Faculdade/Universidade do Avaliador 2

Espaço destinado à dedicatória (elemento opcional). Folha que contém o oferecimento do trabalho à determinada pessoa ou pessoas.

Exemplo: Dedico este trabalho à minha família, pelos momentos de ausência.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por sempre cuidar e abençoar minha vida.

À minha mãe por todo apoio e pelo exemplo de força e determinação.

Aos meus colegas de trabalho pelos ensinamentos e ajuda no caminho que comecei a trilhar.

Finalmente, aos professores Danúbio e Leonardo por possibilitarem a realização deste estudo.

Em seu coração, a engenharia é sobre  
usar a ciência para encontrar soluções  
criativas e práticas. É uma profissão  
nobre.

(Rainha Elizabeth II)

## RESUMO

Este trabalho constitui uma análise das treliças planas compostas por elementos de aço formados a frio em estruturas metálicas. A pesquisa se concentra na comparação de três variações de treliças específicas - Warren, Howe e Pratt - todas submetidas a condições uniformes, com um vão de 20 metros entre apoios da treliça e banzos paralelos. Foi decidido de forma arbitrária as dimensões de um galpão que poderia ser locado nos bairros centrais de Fortaleza. O estudo abrange uma ampla gama de tópicos, incluindo conceitos fundamentais de treliças, suas diversas aplicações em engenharia civil e os materiais envolvidos. Além disso, destaca a importância dos métodos de cálculo, com uso do software Scia Engineer, para determinar a estabilidade e a eficiência das treliças. Ao se decidir as dimensões, foi determinado as condições de contorno para esse estudo e decidido o software para cálculo que utilize as normas necessárias. O principal objetivo deste projeto é identificar a geometria de treliça que otimiza o uso de aço, com vistas à economia de recursos. Como é um caso específico é necessário a importância de outros estudos para outros vãos e condições de contorno diferente

**Palavras-chave:** Treliça Pratt. Treliça Howe. Treliça Warren. Dimensionamento. Resistência.

## ABSTRACT

This work constitutes an analysis of flat trusses composed of cold-formed steel elements in metal structures. The research focuses on comparing three specific truss variations - Warren, Howe, and Pratt - all subjected to uniform conditions, with a 20-meter span between truss supports and parallel chords. The dimensions of a shed that could be located in the central neighborhoods of Fortaleza were arbitrarily decided. The study covers a wide range of topics, including fundamental truss concepts, their various applications in civil engineering, and the materials involved. Furthermore, it highlights the importance of calculation methods, using the Scia Engineer software, to determine the stability and efficiency of the trusses. When deciding on the dimensions, boundary conditions for this study were determined, and the software for calculation that uses the necessary standards was chosen. The main objective of this project is to identify the truss geometry that optimizes the use of steel, aiming for resource efficiency. As this is a specific case, the importance of other studies for different spans and different boundary conditions is necessary.

**Keywords:** Pratt truss. Howe truss. Warren truss. Sizing. Resistance.

## SUMÁRIO

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....           | <b>13</b> |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....            | <b>14</b> |
| 2.1 OBJETIVO GERAL .....            | 14        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....      | 14        |
| <b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....      | <b>15</b> |
| 3.1 TRELIÇAS .....                  | 15        |
| 3.1.1 Conceito.....                 | 15        |
| 3.1.2 Tipos .....                   | 17        |
| 3.1.2.1 Treliza Warren.....         | 17        |
| 3.1.2.2 Treliza Howe .....          | 18        |
| 3.1.2.3 Treliza Pratt.....          | 18        |
| 3.1.3 Aplicações.....               | 18        |
| 3.1.4 Materiais Utilizados.....     | 20        |
| 3.1.4.1 Elementos tracionados.....  | 20        |
| 3.1.4.2 Elementos comprimidos ..... | 21        |
| 3.1.5 Cálculo.....                  | 22        |
| 3.1.5.1 Combinações de cargas.....  | 23        |
| 3.1.5.2 Software Scia .....         | 25        |
| <b>4 METODOLOGIA</b> .....          | <b>26</b> |
| <b>5 RESULTADOS</b> .....           | <b>28</b> |
| 5.1 PERFIS FORMADOS A FRIO .....    | 28        |
| 5.2 CARGAS.....                     | 30        |
| 5.3 SOLICITAÇÕES.....               | 32        |
| 5.3.1 Treliza Warren .....          | 32        |
| 5.3.2 Treliza Howe .....            | 34        |
| 5.3.3 Treliza Pratt.....            | 35        |
| 5.4 COMPARAÇÃO .....                | 38        |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> ..... | <b>40</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....            | <b>42</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta um estudo sobre os diferentes comportamentos de treliças planas formadas por elementos formados a frio. Assim, será feita uma comparação entre três sistemas de treliças utilizados em estruturas metálicas, com mesmas condições de contorno, de forma arbitrária foi escolhido o vão de 20 metros para análise, todas com banzos paralelos, dando ênfase na solicitação dos elementos constituintes de cada treliça, assim mostrando a diferença de peso dos componentes de cada uma, pois a utilização do aço retem uma porção do custo das edificações em geral, e esse estudo é para mostrar qual geometria de treliça gera uma otimização do aço para assim haver diminuição deste valor.

As treliças surgiram como uma opção para baratear os custos do aço utilizado nas edificações pois permite ter variação de espessuras por toda sua estrutura. Assim, essa solução vem sendo cada vez mais estudada para que essa redução seja cada vez maior, por isso quanto menor o peso de uma treliça, mesmo com grandes cargas, melhor para a economia dessa estrutura.

Foram realizados 3 ensaios no software Scia engineer, da empresa Scia, pois o mesmo permite que se realize as verificações de resistências pelos códigos da NBR 14762/2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, dois para cada tipo de treliça (Pratt, Howe, Owen), de forma arbitrária foi escolhido o vão entre montantes de 2 metros, sendo assim, o espaçamento entre terças será de 2 metros e altura da treliça também de 2 metros.

Cada tipo de treliça funciona de modos distintos, por conta que seus elementos estão sujeitos a esforços diferentes a partir da disposição que estão arranjados na sua estrutura. Nesse estudo proposto será utilizado o aço A36, por ser mais comum e fácil de encontrar no mercado, no qual possui a resistência de escoamento  $f_y = 250$  Mpa e a resistência de ruptura  $f_u = 400$  Mpa, para que o foco da pesquisa, de comparação de melhor aproveitamento do perfil, tenha uma mesma base de comparação sem alterar as características mecânicas do aço em si e observar somente a diferença de geometrias.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar qual sistema treliçado mais econômico, entre o sistema Warren, o sistema Pratt e o sistema Howe, para galpões metálicos situados dentro da cidade de Fortaleza-CE.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Comparar 3 tipos de treliças com mesmas condições de contorno em vão de 20 metros.
- Dimensionar os componentes das treliças.
- Analisar as diferenças de pesos entre esses sistemas treliçados.
- Determinação de cargas a ser aplicada
- Avaliar os tipos de perfis e pesos de cada estudo de caso e seu detalhamento

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 TRELIÇAS

##### 3.1.1 Conceito

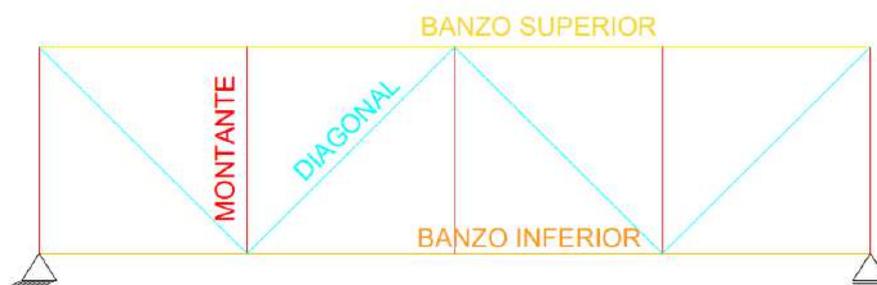
Segundo Martha (2010), a treliça é um componente estrutural reticulado que possui suas ligações entre as barras, isto é, existem rótulas em todos os nós. Quando se faz a análise de uma treliça, considera-se as cargas atuando diretamente nos nós. Com essas considerações, leva-se em conta que a treliça apresenta apenas esforços internos axiais, assim, gerando apenas esforços normais de tração ou compressão, caso não haja excentricidades.

As treliças são formadas por barras em formato de triângulos e para que não gere grandes cargas de momento, as cargas devem ser nos nós para que tenha somente esses esforços axiais.

Segundo R. C. Hibbeler (2010), em seu livro “*Engineering Mechanics: Statics*” define uma treliça como uma estrutura composta por membros esbeltos conectados entre si nas suas extremidades. [...] E treliças planares ficam em um único plano e frequentemente são usadas para sustentar telhados e pontes. Também neste livro de Hibbeler, assume-se que todas as cargas são aplicadas nos nós e que todos os membros são interligados por parafusos ou por solda. E a “*AISI-S214-2012-turss-design (American Iron and Steel Institute)*” (2012) cita as premissas para se fazer análise nesse tipo de treliça, no qual consiste em ter os membros conectados por nós em cada ponta, e em cada ponta da rede da treliça ser fixo.

A barras que compõem a treliça é comumente chamadas de banzos, montantes e diagonais.

Figura 1 – Treliça tipo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

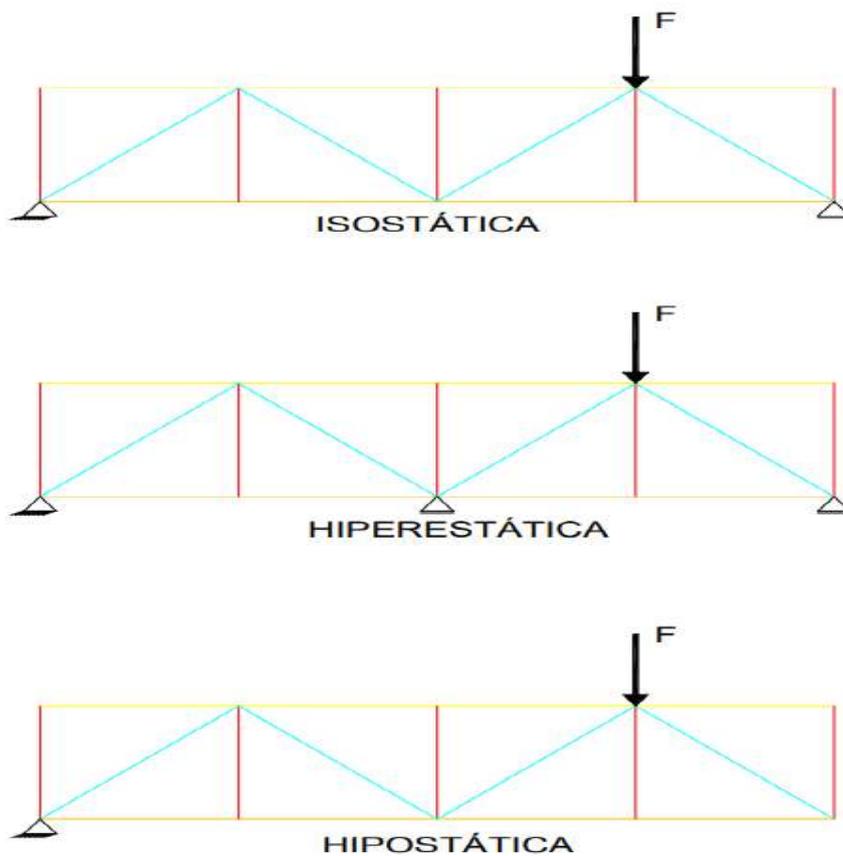
As treliças podem ser classificadas quanto a formação em: simples, compostas e complexas (SORIANO, 2010).

- a) Treliças simples: é formada a partir de três barras bi rotuladas ligadas em forma de triângulo, as quais acrescentam duas barras não colineares ligadas através de uma rótula. Ao acrescentar a esse conjunto condições de contorno mínimas para o impedimento de seus deslocamentos de corpos rígidos, obtém-se uma treliça plana simples e isostática.
- b) Treliça composta: é formada pela união de duas ou mais treliças simples que não haja deslocamentos relativos entre essas e que o conjunto não seja uma treliça simples.

As treliças também podem ser classificadas quanto ao equilíbrio estático em: hipostática, isostática e hiperestática.

- i. Treliça hipostática: é quando o número de equações é inferior ao número de incógnitas, ou seja, a estrutura apresenta mais incógnitas do que equações (não dá para calcular).
- ii. Treliça isostática: é quando o número de equações igual ao número de incógnitas.
- iii. Treliça hiperestática: é quando o número de equações excede o número de incógnitas.

Figura 2 - Estaticidade



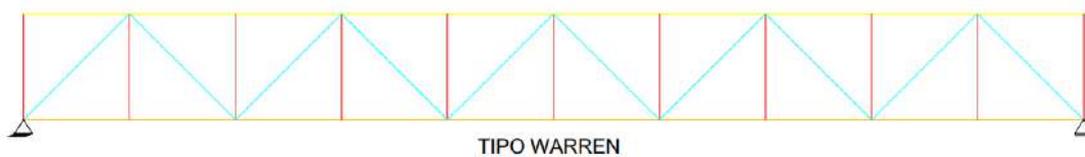
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 3.1.2 Tipos

#### 3.1.2.1 Treliza Warren

Um dos sistemas mais comum na construção civil, no qual consiste em banzos paralelos em conjunto com diagonais alternando sua inclinação, assim alternando o trabalho entre tração e compressão (ver figura 3.)

Figura 3 – Treliza Warren



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 3.1.2.2 Treliça Howe

Consiste, também, em banzos paralelos, porém suas diagonais trabalham somente a compressão por estarem dispostas em uma única inclinação saindo do nó central superior e chegando no nó inferior, sendo espelhado pelo eixo central vertical (ver figura 4.)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 3.1.2.3 Treliça Pratt

O sistema de tipo Pratt, no qual também possui os banzos paralelos, e suas diagonais trabalham somente a tração, sendo assim a inclinação de suas diagonais está oposta à do tipo Howe, sai pelo nó central inferior e chega no nó superior, sendo também espelhado pelo eixo central vertical (ver figura 5.)

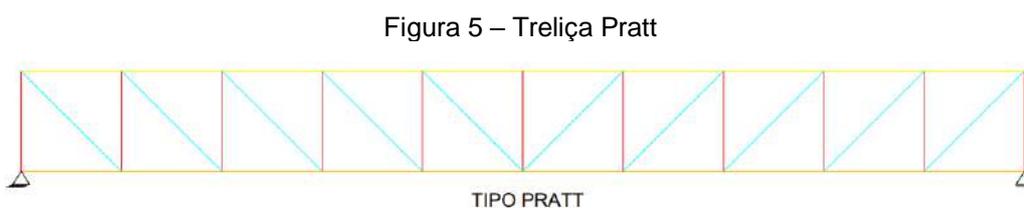
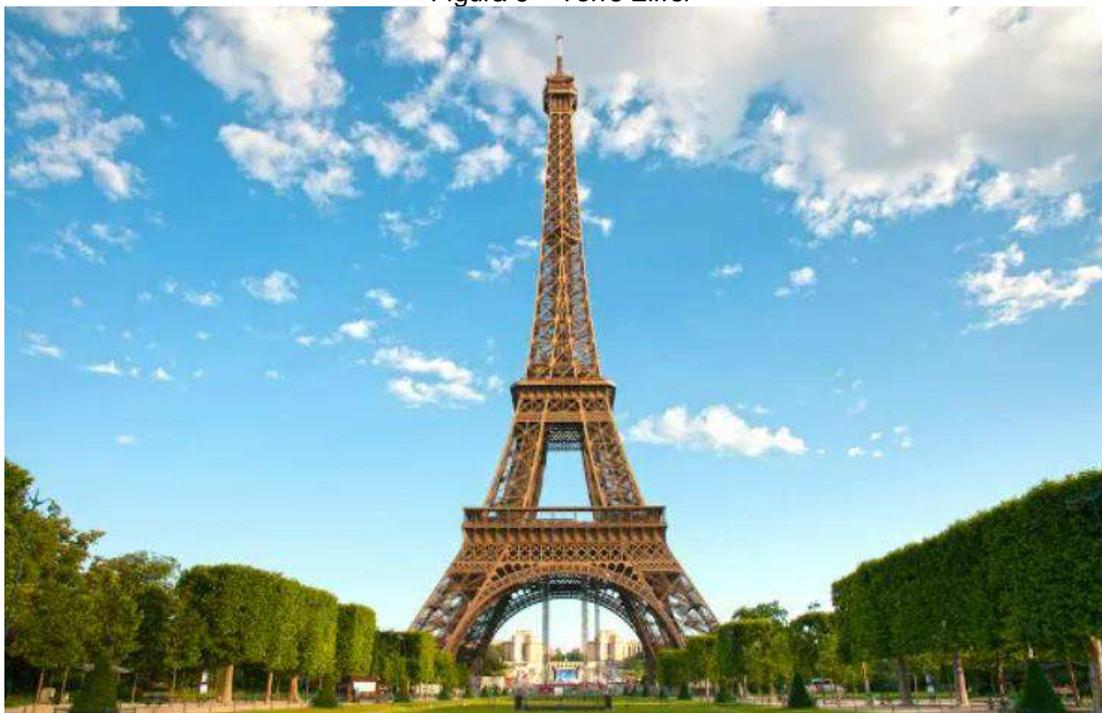


Figura 3: Elaborado pelo autor (2023)

### 3.1.3 Aplicações

As treliças possuem várias aplicações, algumas delas são: vigas, pontes, lajes, telhados, pilares etc. Uma famosa estrutura treliçada é a torre Eiffel, que possui as suas colunas feitas em treliça, outra estrutura treliçada bastante comum é a treliça para lajes. Mas o presente estudo irá focar nas vigas treliçadas.

Figura 6 – Torre Eiffel



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/curiosidades/torre-eiffel.htm> (2023)

Figura 7 – Telhado com vigas treliçadas



Fonte: [www.regionaltelhas.com.br/blog/](http://www.regionaltelhas.com.br/blog/) (2023)

### 3.1.4 Materiais Utilizados

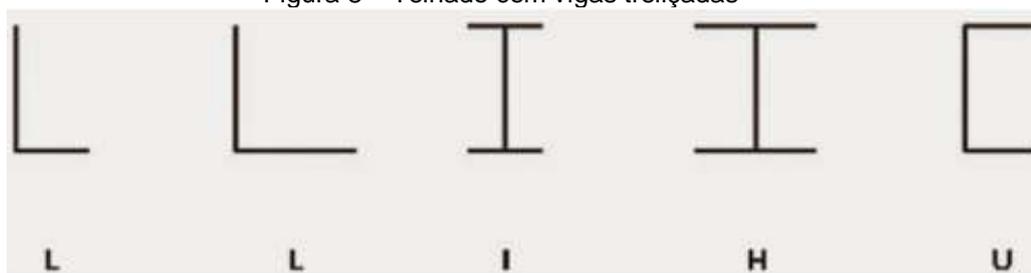
Existem vários tipos de aços estruturais que podem ser empregados para os mais diversos tipos de estruturas, e não é diferente para a formação das treliças, com seus banzos, montante e diagonais.

Para se construir uma treliça é utilizado pode ser utilizado diversos materiais, mas o foco será nos perfis de aço e eles estão descritos nas normas NBR 6648 que fala das chapas grossas de aço carbono (mais utilizados nas ligações), NBR 6649 de chapas finas a frio, NBR 6650 de chapas finas a quente, NBR 7007 de aços para perfis laminados, NBR 5000 de chapas grossas de baixa liga e alta resistência mecânica, NBR 5004 de chapas finas de baixa liga e alta resistência mecânica, NBR 5008 de chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes a corrosão atmosférica para usos estruturais, NBR 5920/5921 de chapas finas de baixa liga e alta resistência mecânica.

Onde cada uma dessas normas fala sobre seus limites de escoamento e ruptura(resistências) de acordo com sua classe/grau.

Com cada tipo de aço, são formados os mais diferentes tipos de perfis que podem compor uma treliça, alguns deles são: I, H, U, C, L. Contudo, iremos utilizar perfis formados a frio para dimensionar as treliças em estudo, determinados pela norma ABNT NBR14762:2010.

Figura 8 – Telhado com vigas treliçadas

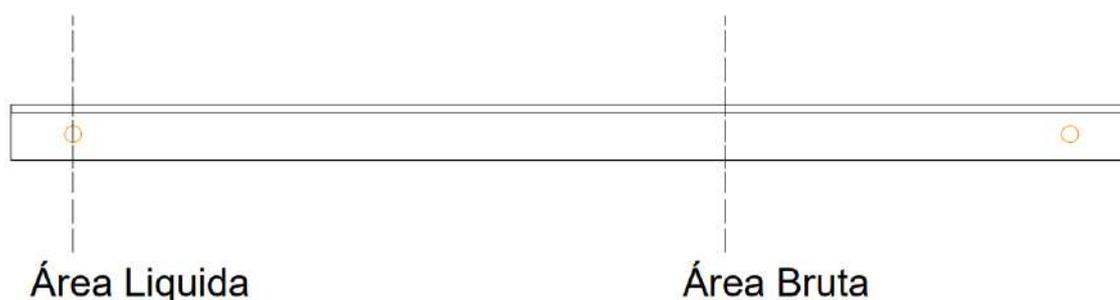


Fonte: <https://felipeschmitzhaus.blogspot.com/2015/04/perfis-estruturais-de-aco-o-que-e-um.html> (2023)

#### 3.1.4.1 Elementos tracionados

Segundo o livro Perfis de aço formados a frio, de Paulo Roberto M. de Carvalho, Gladimir Grigoletti e Giovana Daltrozo Barbosa, em qualquer perfil de aço, a solicitação de tração está baseada na consideração de que, se a força de tração for centrada, a distribuição de tensões é uniforme. E essas barras tracionadas podem

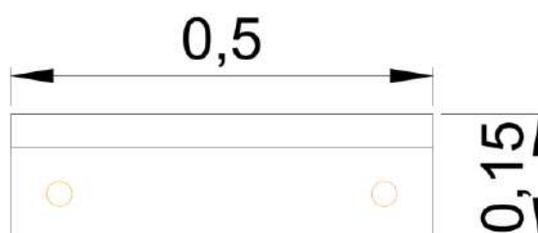
entrar em colapso de duas maneiras: pelo escoamento generalizado da seção bruta e pela ruptura da seção líquida.



### 3.1.4.2 Elementos comprimidos

Quando perfis de aço estão submetidos a essa solicitação, podem apresentar instabilidades que transformam a compressão numa solicitação com procedimentos de verificação, por vezes de difícil solução (Carvalho, Paulo Roberto M., P.95, Perfis de aço formados a frio, 2014). Esses modos de colapso são por escoamento, por flambagem local, por flambagem global, por flambagem por distorção ou pelas interações entre alguns desses modos.

O colapso por escoamento puro se dá em perfis muito curtos e com paredes muito espessas (perfil não esbelto). A partir do diagrama tensão-deformação, podemos ver que quando um perfil é robusto ele atinge a tensão de escoamento sem flambar. Mas como estamos trabalhando com perfis formados a frio, dificilmente irá entrar em colapso dessa maneira por ser esbelto (relação largura/espessura alta) (Carvalho, Paulo Roberto M., P.96, Perfis de aço formados a frio, 2014).



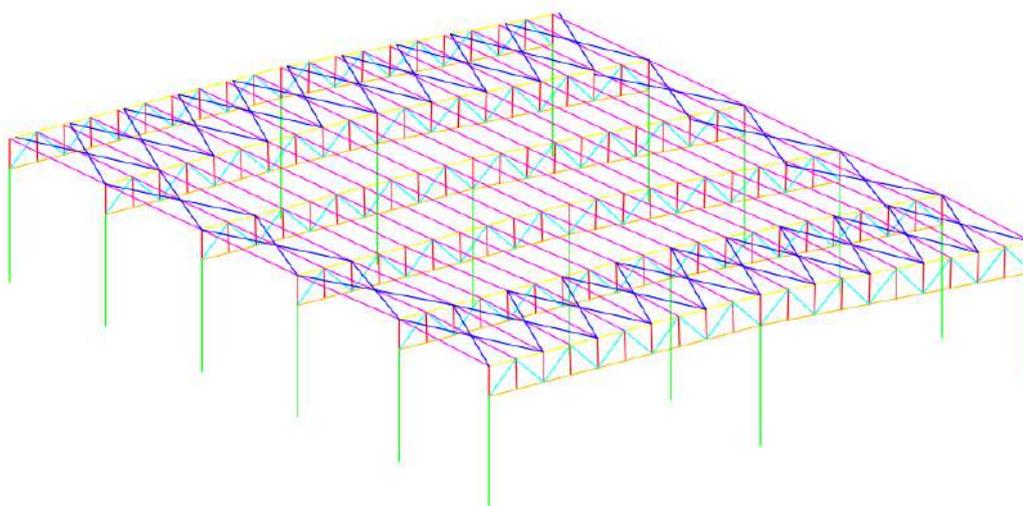
O colapso por flambagem podem ocorrer de várias formas, localmente, quando um ou mais elementos de um perfil se comprimem de forma crítica e apresentar ondulações, flexão, quando apresenta uma deformação idêntica à deformação de um perfil fletido transladando paralelamente a si próprio, torção, quando o perfil tem sua seção rotacionada mantendo o eixo na posição original, flexo-

toção, quando tem uma combinação dos dois efeitos, distorção, quando acontece um abaulamento da alma e rotação das mesas do perfil e acontece em perfis enrijecidos segundo (Carvalho, Paulo Roberto M., P.97, Perfis de aço formados a frio, 2014).

### 3.1.5 Cálculo

Para se calcular uma treliça, ela deve ter a rotação impedida em relação ao seu eixo longitudinal, segundo a NBR 14762/2010, para que ela não saia do plano e atue de forma diferente da planejada e calculada. E pela Norma NBR 14762, mostra que para se ter uma estrutura estável precisa ter elementos de travamentos, tais como contraventos, terças, mão francesas etc. Os contraventamentos funcionam como um diafragma, ajudando a transmitir os esforços pela estrutura.

Figura 9 – Vista Isométrica do galpão



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Existem alguns métodos de cálculos que são determinados pela estaticidade da treliça, assim alguns métodos foram criados para determinar os esforços atuantes na treliça a partir da estaticidade dela. Contudo, irei utilizar do software SCIA que possui os métodos de cálculo necessários para este estudo.

## 3.1.5.1 Combinações de cargas

Segundo a norma NBR 14762:2010, as ações das cargas devem ser combinadas tanto em estado limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS), e para isso temos os coeficientes de ponderação tanto para as cargas permanentes como as variáveis, e elas servem para segurança estrutural, durabilidade, economia e atendimento as normas.

Tabela 1 — Valores dos coeficientes de ponderação das ações  $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$

| Combinações                | Ações permanentes ( $\gamma_g$ ) <sup>a c</sup> |   |   |  |  |             |
|----------------------------|---|---|---|--|--|-------------|
|                            | Diretas   |   |   |  |  | Indiretas   |
|                            | Peso próprio de estruturas metálicas            | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos |             |
| Normais                    | 1,25<br>(1,00)                                  | 1,30<br>(1,00)                          | 1,35<br>(1,00)  | 1,40<br>(1,00)   | 1,50<br>(1,00)   | 1,20<br>(0) |
| Especiais ou de construção | 1,15<br>(1,00)                                  | 1,20<br>(1,00)                          | 1,25<br>(1,00)  | 1,30<br>(1,00)   | 1,40<br>(1,00)   | 1,20<br>(0) |
| Excepcionais               | 1,10<br>(1,00)                                  | 1,15<br>(1,00)                          | 1,15<br>(1,00)  | 1,20<br>(1,00)   | 1,30<br>(1,00)   | 0<br>(0)    |
|                            | Ações variáveis ( $\gamma_q$ ) <sup>a d</sup>   |   |   |  |  |             |
|                            | Efeito da temperatura <sup>b</sup>              | Ação do vento                           | Ações truncadas <sup>e</sup>  | Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação                 |  |             |
| Normais                    | 1,20  | 1,40                                    | 1,20  | 1,50   |  |             |
| Especiais ou de construção | 1,00  | 1,20                                    | 1,10  | 1,30   |  |             |
| Excepcionais               | 1,00  | 1,00                                    | 1,00  | 1,00   |  |             |

Fonte: NBR 14762:2010

Tabela 2 — Valores dos fatores de combinação  $\psi_0$  e de redução  $\psi_1$  e  $\psi_2$  para as ações variáveis

| Ações  |   | $\gamma_{f2}^a$ |            |            |
|--|---|-----------------|------------|------------|
|  |   | $\psi_0$        | $\psi_1^d$ | $\psi_2^e$ |
| Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação   | Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b)</sup> | 0,5             | 0,4        | 0,3        |
|  | Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas <sup>c)</sup>      | 0,7             | 0,6        | 0,4        |
|  | Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)   | 0,8             | 0,7        | 0,6        |
| Vento  | Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral   | 0,6             | 0,3        | 0          |
| Temperatura  | Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local   | 0,6             | 0,5        | 0,3        |
| Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos   | Passarelas de pedestres   | 0,6             | 0,4        | 0,3        |
|  | Vigas de rolamento de pontes rolantes   | 1,0             | 0,8        | 0,5        |
|  | Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes  | 0,7             | 0,6        | 0,4        |
| <sup>a</sup> Ver alínea c) de 4.7.5.3.<br><sup>b</sup> Edificações residenciais de acesso restrito.<br><sup>c</sup> Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.<br><sup>d</sup> Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar $\psi_1$ igual a 1,0.<br><sup>e</sup> Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para $\psi_2$ o valor zero. |   |                 |            |            |

Fonte: NBR 14762:2010

Nesse estudo as combinações utilizadas para estado limite último e de serviço serão:

ELU –  $1,25 \cdot (\text{peso próprio}) + 1,25 \cdot (\text{carga permanente}) + 1,5 \cdot (\text{sobrecarga de norma}) + 1,5 \cdot 0,8 \cdot (\text{carga de utilidade})$

ELU –  $1,25 \cdot (\text{peso próprio}) + 1,25 \cdot (\text{carga permanente}) + 1,5 \cdot 0,8 \cdot (\text{sobrecarga de norma}) + 1,5 \cdot (\text{carga de utilidade})$

ELU –  $1,00 \cdot (\text{peso próprio}) + 1,00 \cdot (\text{carga permanente}) + 1,4 \cdot (\text{carga de vento})$

ELS –  $1,00 \cdot (\text{peso próprio}) + 1,00 \cdot (\text{carga permanente}) + 1,0 \cdot (\text{sobrecarga de norma}) + 1,0 \cdot (\text{carga de utilidade})$

ELS –  $1,00 \cdot (\text{peso próprio}) + 1,00 \cdot (\text{carga permanente}) + 0,3 \cdot (\text{carga de vento})$

Para o vão em estudo de 20 metros, a deformação máxima aceita pela norma é de  $L/250$ , logo nossa deformação permitida pela norma é igual a 100mm.

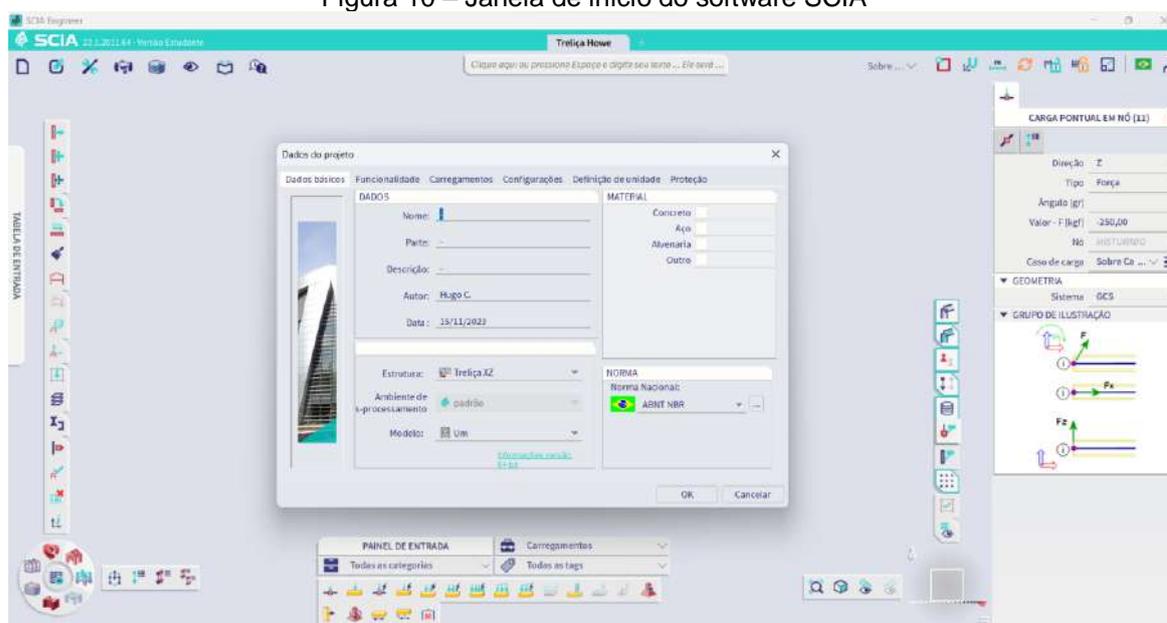
### 3.1.5.2 Software Scia

O *SCIA Engineer* é um software utilizado por engenheiros estruturais para análise, projeto e dimensionamento de estruturas em geral. Ele é desenvolvido pela SCIA, uma empresa que vem desenvolvendo, distribuindo e dando suporte através de softwares para engenharia estrutural e o mercado da construção. O software SCIA possui várias normas de vários países e estão praticamente alcançando todo o globo.

O *SCIA Engineer* tem vários recursos e funcionalidades para engenheiros e projetistas, como: análise estrutural, projeto, dimensionamento, modelagem 3D, integração BIM, análise não linear, relatórios e documentação.

Ele possui uma interface intuitiva, com abas divididas em agrupamentos, tal como cargas, estruturas, relatórios etc. Também possui várias normas de diversos países e possui integração com outros softwares por meio da integração BIM, além de possuir suporte técnico e atualizações de melhorias constantes.

Figura 10 – Janela de início do software SCIA



Fonte: SCIA Engineer

Ao se iniciar um projeto no software, ele pede dados iniciais para se utilizar como premissa. No caso deste projeto foi utilizado o tipo de estrutura treliça XZ para que os esforços utilizados no modelo de cálculo sejam axiais e não permita que tenha momento, assim calculando como a teoria indica para o conceito de treliça.

## 4 METODOLOGIA

- Revisão Bibliográfica:

Realizou-se uma pesquisa extensa na literatura técnica e normas brasileiras relacionadas a estruturas metálicas, treliças e perfis formados a frio. Coletou-se informações sobre os conceitos de treliças, tipos de treliças, aplicações, materiais utilizados e métodos de cálculo.

- Definição dos Objetivos:

Estabeleceu-se os objetivos gerais e específicos do estudo, destacando o foco na identificação do sistema treliçado mais econômico para galpões metálicos em Fortaleza, CE.

- Seleção dos Sistemas Treliçados:

Escolheu-se três tipos de treliças para comparação: Warren, Howe e Pratt. Garantiu-se que todas as treliças tivessem as mesmas condições de contorno, com um vão de 20 metros e banzos paralelos.

- Dimensionamento dos Componentes:

Utilizou-se o software Scia Engineer para realizar o dimensionamento dos componentes das treliças. Fez-se análises para determinar as cargas a serem aplicadas, levando em consideração normas como NBR 14762/2010, NBR 6120 e NBR 8800.

- Escolha dos Perfis Formados a Frio:

Com base na NBR 14762/2010 e no software Scia Engineer, selecionou-se os perfis formados a frio mais adequados para cada elemento da treliça (banzos, montantes e diagonais).

- Cálculo das Solicitações:

Avaliou-se as solicitações nos elementos de cada treliça, considerando diferentes tipos de carregamento, como carga permanente, sobrecarga, carga de vento e carga de utilização. Realizou-se cálculos para determinar as tensões e esforços atuantes nos perfis.

- Comparação de Peso de Aço:

Comparou-se o peso total de aço utilizado em cada treliça, levando em conta os perfis selecionados. Calculou-se a economia de material obtida ao escolher a treliça mais eficiente em termos de peso.

- Análise dos Resultados:

Interpretou-se os resultados obtidos, destacando as diferenças entre os sistemas treliçados em relação à economia de aço. Considerou-se as implicações econômicas e estruturais das escolhas feitas.

- Considerações Finais:

Fez-se uma conclusão com base nos resultados e na análise realizada, ressaltando as principais descobertas e implicações do estudo.

- Revisão e Formatação do Texto:

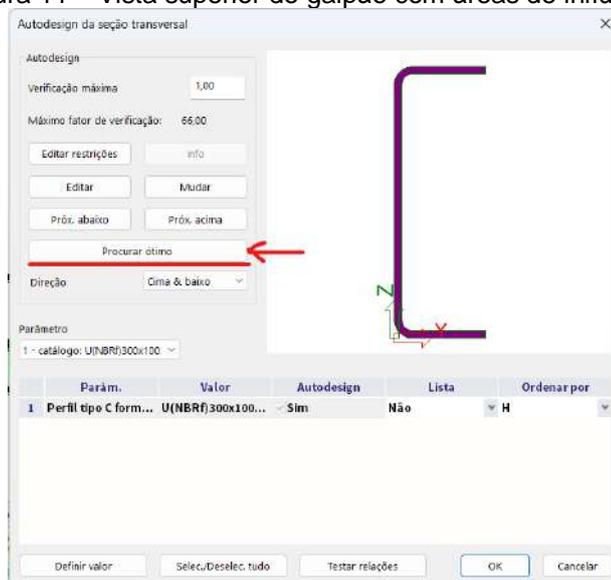
Revisou-se e formatou-se o texto de acordo com as normas acadêmicas e técnicas.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 PERFIS FORMADOS A FRIO

A partir da norma brasileira de perfis formados a frio (NBR 14762), foi utilizado um catálogo desses perfis que se encontra no software SCIA, e a partir das suas funções foi determinado o perfil “ótimo” para cada elemento da treliça a fim de atender as condições de contorno utilizadas.

Figura 11 – Vista superior do galpão com áreas de influência



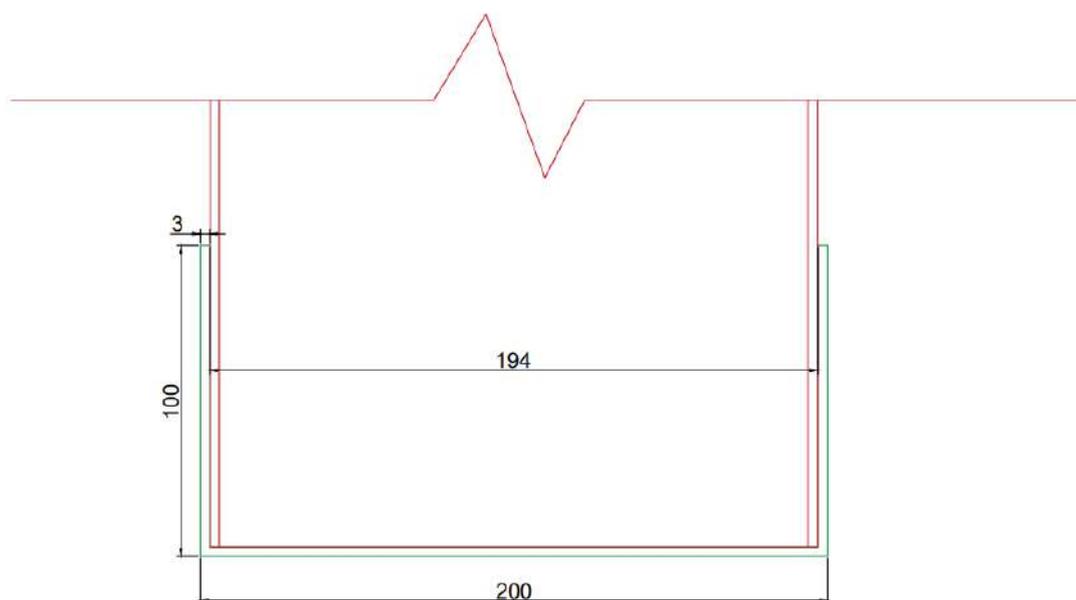
Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

Os perfis utilizados nos banzos, montantes e diagonais foram perfis U dobrados, e assim utilizado um tipo de perfil para cada elemento, nos banzos um tipo de perfil U, nos montantes outro perfil U e nas Diagonais um outro. No qual o primeiro valor depois da sigla U significa a altura desse perfil, o segundo valor o tamanho de sua aba e o terceiro valor a sua espessura. E como o propósito do estudo é somente verificar qual treliça possui uma geometria que ao ser dimensionado, pese menos que as outras, assim gerando economia de material utilizado.

Os montantes e diagonais possuem medidas menores que os banzos para poder ser feito o encaixe dentro deles para facilitar na fabricação e ser feito a solda,

sendo assim, foi descontado deles duas vezes a espessura do banzo, ficando com o tamanho de 194mm, para que seja feito esse encaixe como mostra a figura 12 abaixo.

Figura 12 – Encaixe das diagonais e montantes nos banzos

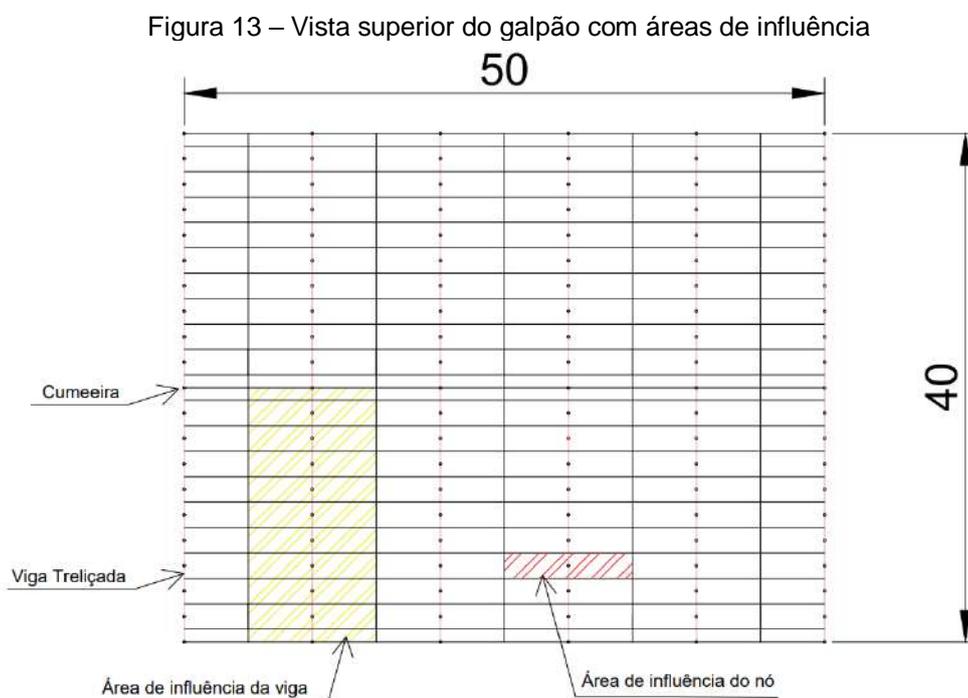


Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.2 CARGAS

Utilizaremos cargas fixas para todos os casos de estudo, e com isso irei utilizar a norma NBR 6120 que fala sobre as cargas utilizadas para cálculo de estruturas e a NBR 8800 para as ações na estrutura. Segundo a NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, deve-se admitir cargas permanentes e cargas acidentais. Assim, teremos o peso próprio dos materiais, que será retirado da biblioteca do software em uso (Scia) e o peso dos elementos construtivos fixos como a telha, que em análise ao catálogo da isoeste, a carga da telha zipada 0,50mm é de  $4,55\text{kg/m}^2$ , a sobre carga apresentada na NBR 6120 de  $25\text{kgf/m}^2$ , de carga de utilização de  $5\text{kgf/m}^2$  representando o peso de instalações elétricas e a carga de vento será determinada a partir da NBR 6123, com a premissa de estar localizado na cidade de fortaleza, no bairro de Fátima na avenida treze de maio, e a incidência do vento inicialmente na região do nordeste, a partir das isopletas, é de  $30\text{kgf/m}^2$ .

Levando em consideração a NBR 6123, o vento calculado para realização desse estudo tem uma pressão dinâmica de  $35,8\text{kgf/m}^2$  e o coeficiente de forma da edificação na cobertura é de 1,20, logo a carga de vento utilizada é de  $42,96\text{kgf/m}^2$ .



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A influência de cada treliça se dá a partir do vão entre elas, e irei avaliar as treliças centrais por possuírem uma influência maior, sendo a distância entre as treliças de 10m e com as condições de contorno regionais para a cidade de fortaleza.

Assim sendo, as cargas nos nós da treliça são de:

$$\text{Carga da telha} - 4,55\text{kgf/m}^2 * 2\text{m} * 10\text{m} = 91\text{kgf}$$

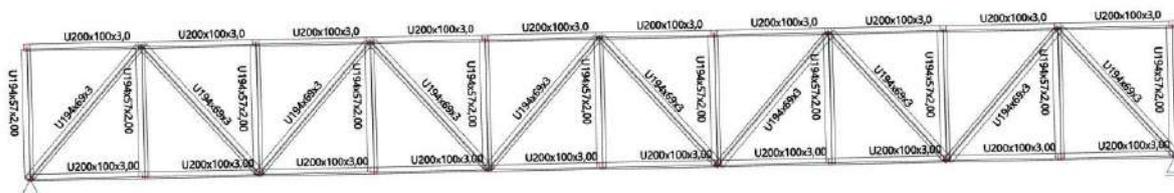
$$\text{Sobrecarga de Norma} - 25\text{kgf/m}^2 * 2\text{m} * 10\text{m} = 500\text{kgf}$$

$$\text{Carga de utilidade (instalações)} - 5\text{kgf/m}^2 * 2\text{m} * 10\text{m} = 100\text{kgf}$$

$$\text{Carga de vento} - 42,96\text{kgf/m}^2 * 2\text{m} * 10\text{m} = 859,2\text{kgf}$$



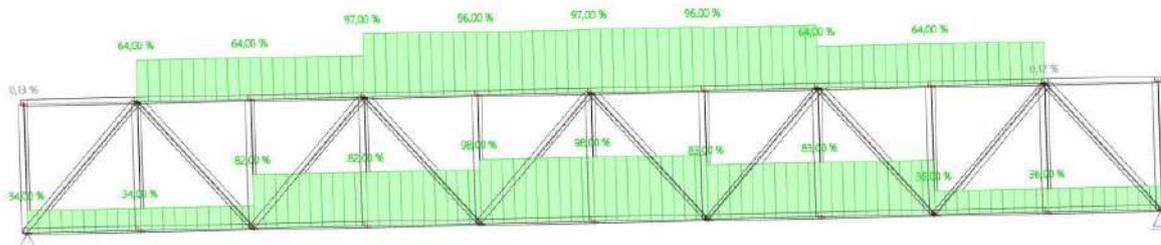
Figura 15 – Perfis utilizados na treliça Warren



Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

Nos bancos temos as solicitações (em verde) abaixo para o perfil empregado U200x100x3,00:

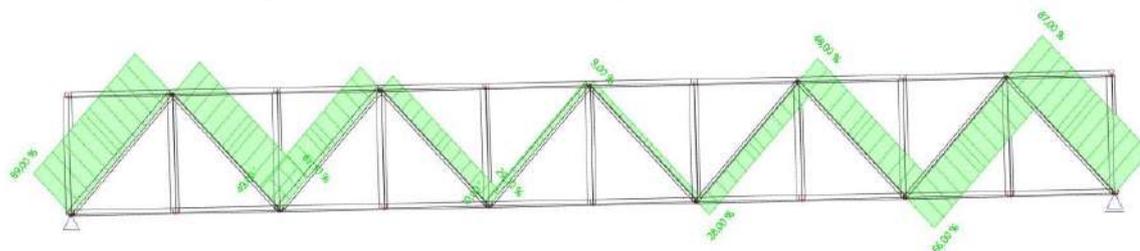
Figura 16 – Solicitações nos bancos da treliça Warren



Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

Nas diagonais temos as solicitações abaixo para o perfil empregado U194x69x3,00:

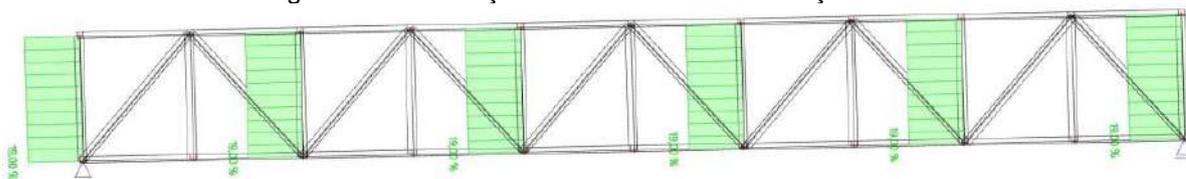
Figura 17 – Solicitações nas diagonais da treliça Warren



Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

Nos montantes temos as solicitações abaixo para o perfil empregado U194x57x2,00:

Figura 18– Solicitações nos montantes da treliça Warren

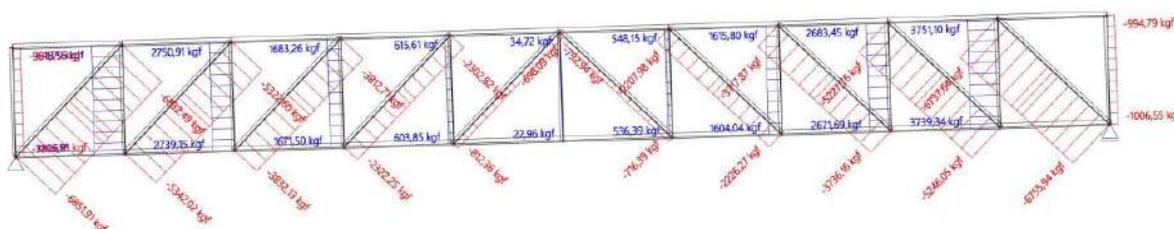


Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

### 5.3.2 Treliça Howe

A treliça Howe tem as suas diagonais e seus montantes com esforços de compressão, quando sujeitos as cargas gravitacionais, como podemos ver na figura abaixo e quando sujeitos, majoritariamente, a cargas de ventos se inverte esses esforços de compressão. Será utilizado o mesmo perfil para todas as diagonais, assim como um outro mesmo perfil para todos os montantes e outro perfil da mesma forma para os banzos.

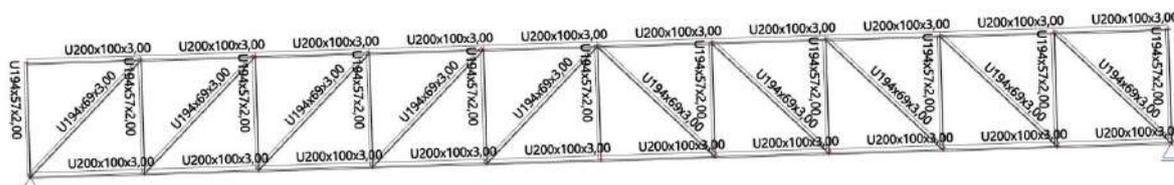
Figura 19 – Esforços nos montantes e diagonais Howe



Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

Ao verificar a solicitação envoltória (em vermelho compressão e em azul tração) e o quanto cada perfil consegue suportar, podemos dimensionar para que tenhamos um tipo de perfil para cada elemento e que possua o menor peso, temos essas solicitações em cada componente da estrutura da treliça Howe:

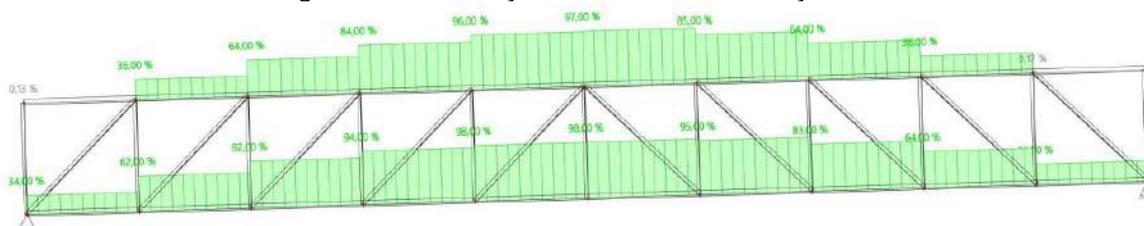
Figura 20 – Perfis utilizados na treliça Howe



Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

Nos banzos temos as solicitações (em verde) abaixo para o perfil empregado U200x100x3,00:

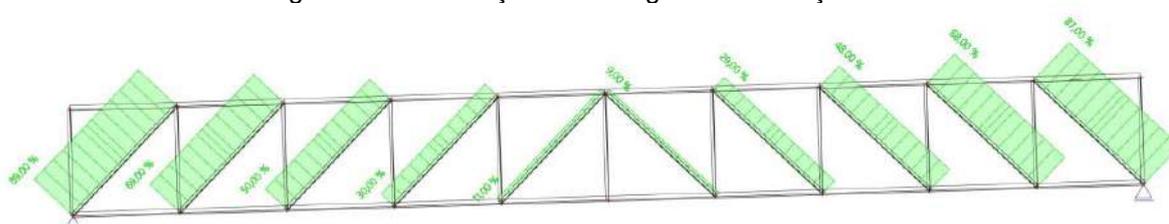
Figura 21 – Solicitações nos banzos da treliça Howe



Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

Nas diagonais temos as solicitações abaixo para o perfil empregado U194x69x3,00:

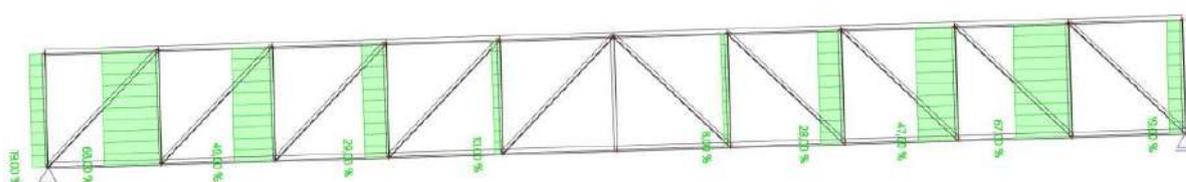
Figura 22 – Solicitações nas diagonais da treliça Howe



Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

Nos montantes temos as solicitações abaixo para o perfil empregado U194x57x2,00:

Figura 23 – Solicitações nos montantes da treliça Howe



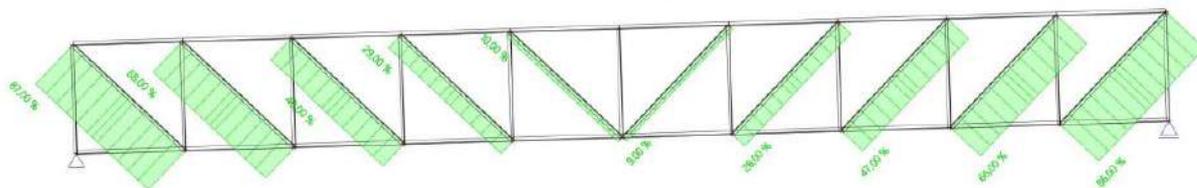
Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

### 5.3.3 Treliça Pratt

A treliça Pratt possui suas diagonais ao esforço de tração e seus montantes ao esforço de compressão, quando sujeitos as cargas gravitacionais, como podemos ver na figura abaixo e quando sujeitos, majoritariamente, a cargas de ventos se inverte esses esforços de tração e compressão. Será utilizado o mesmo perfil para todas as diagonais, assim como um outro mesmo perfil para todos os montantes e outro perfil da mesma forma para os banzos.



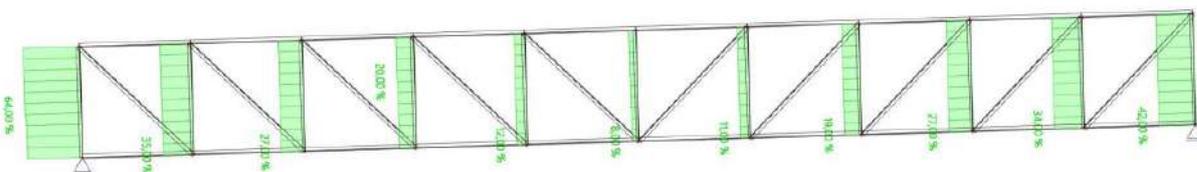
Figura 27 – Solicitações nas diagonais da treliça Pratt



Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

Nos montantes temos as solicitações abaixo para o perfil empregado U194x57x2,00:

Figura 28 – Solicitações nos montantes da treliça Pratt



Fonte: Elaborado pelo autor no SCIA Engineer

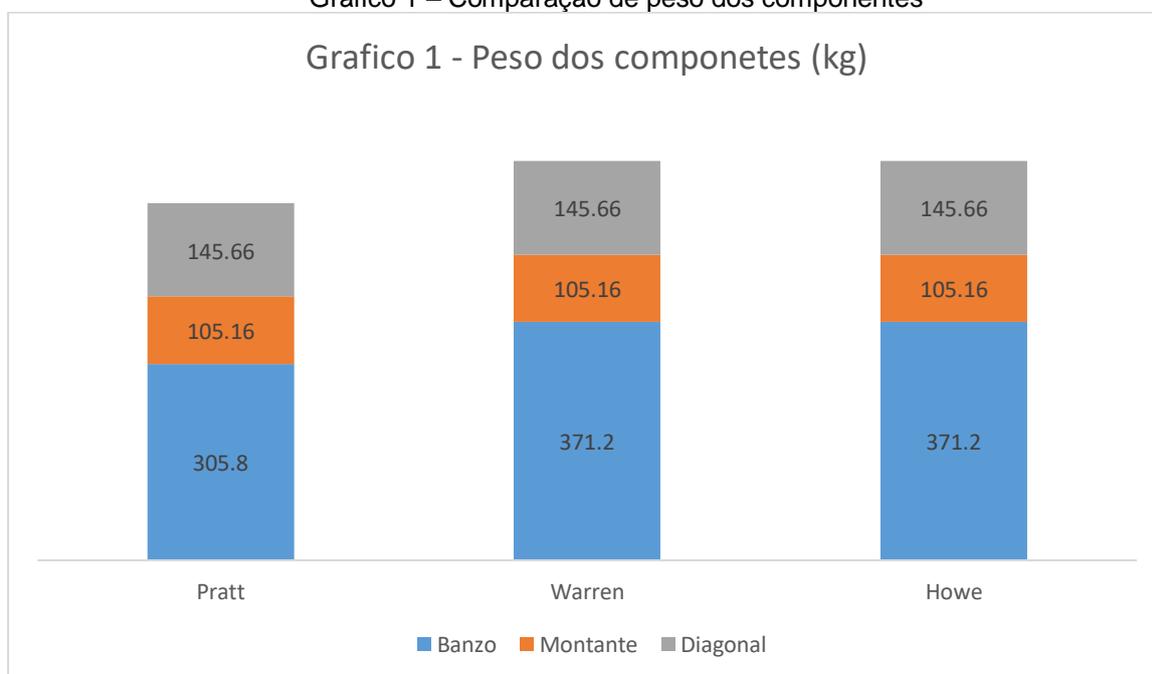
## 5.4 COMPARAÇÃO

A partir dos resultados obtidos, temos os perfis que compõem cada tipo das treliças estudadas e com isso podemos verificar o peso de aço utilizado em cada uma, e como cada geometria trabalha de forma diferente as suas diagonais, há uma diferença da quantidade de aço utilizado em cada uma delas.

Como podemos ver, a treliça Pratt trabalhou suas diagonais a tração, enquanto as diagonais da treliça Howe trabalharam somente a compressão e as diagonais da treliça Warren tiveram alternância. Assim, os esforços que transferem das diagonais para os banzos são diferentes.

Assim, temos que a treliça Pratt tem um peso de banzos de 305,80kg, de diagonais de 145,66kg e para os montantes de 105,16kg, somando 556,62kg por treliça de 20m. Para a treliça Warren temos um peso para os banzos de 371,20kg, para as diagonais 145,66kg e para os montantes de 105,16kg, somando 622,02kg por treliça de 20m. Para a treliça Howe temos um peso para os banzos de 371,20kg, para as diagonais 145,66kg e para os montantes de 105,16kg, também somando 622,02kg por treliça de 20m.

Gráfico 1 – Comparação de peso dos componentes



Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando o galpão arbitrário de estudo para fazer um levantamento de peso temos que:

Tabela 3 – Peso por treliça

| Tipo de Treliça | Peso/vão | Quantidade de treliças | Peso Total |
|-----------------|----------|------------------------|------------|
| Pratt           | 556,62   | 12                     | 6.679,44   |
| Howe            | 622,02   | 12                     | 7.464,24   |
| Warren          | 622,02   | 12                     | 7.464,24   |

Fonte: Elaborado pelo autor

Comparando entre a solução mais pesada e a solução mais leve que atendem às condições de contorno do projeto e esforços solicitantes previstos, temos uma economia de 784,80kg de aço empregado na estrutura treliçada desse galpão com a treliça do tipo Pratt. Além de se distanciar do limite de uso do perfil, gerando uma maior segurança estrutural.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada neste estudo teve como objetivo fundamental a avaliação de diferentes tipos de treliças sob condições específicas de carga e geometria, com um foco particular na economia de material. Investigamos minuciosamente três tipos distintos de treliças - Warren, Howe e Pratt - e observamos como cada uma delas responde a solicitações de esforços em suas barras diagonais. Essa análise revelou diferenças notáveis na quantidade de aço necessária, tanto em termos de espessura quanto de tamanho, para atender eficazmente a essas demandas.

No entanto, é crucial destacar que este estudo se limita a um caso específico e que as conclusões aqui apresentadas podem variar consideravelmente com base nas cargas e nas condições de contorno únicas de cada projeto. Portanto, enfatizamos a importância de uma análise estrutural personalizada para cada empreendimento. A escolha do tipo de treliça deve ser feita considerando não apenas a geometria das barras, mas também variáveis adicionais, como custos de mão de obra, prazos de construção e impactos ambientais.

Uma das descobertas mais impactantes deste estudo é a economia substancial de material alcançada ao optar pela treliça do tipo Pratt, que é otimizada para trabalhar predominantemente na tração. Com uma economia de 784,80 kg de aço em comparação com as treliças Warren e Howe, sob as condições de carga e geometria analisadas, fica evidente o potencial econômico significativo dessa escolha. Essa economia não apenas reduz os custos de material, mas também tem implicações na sustentabilidade econômica dos projetos.

Além da economia de material, é importante ressaltar que a escolha da treliça ideal também pode influenciar outros aspectos cruciais em um projeto de engenharia civil. Treliças mais leves não apenas simplificam o processo de fabricação e montagem, mas também diminuem a carga sobre as fundações e a infraestrutura de suporte, o que pode ter implicações significativas na eficiência global do projeto.

Outro ponto a ser considerado é a viabilidade econômica a longo prazo. Projetos que priorizam a economia de material podem resultar em estruturas mais leves, o que, por sua vez, pode reduzir os custos de manutenção ao longo da vida útil da construção. Além disso, a diminuição do peso das treliças pode impactar positivamente o transporte, reduzindo os custos logísticos e diminuindo a emissão de gases de efeito estufa associados ao transporte de materiais pesados.

Neste cenário, reforçamos a importância de considerar a otimização de material como um dos principais critérios de decisão no processo de projeto. A escolha da treliça certa não é apenas uma questão de eficiência estrutural imediata, mas também de impacto econômico a longo prazo e sustentabilidade ambiental. À medida que a engenharia civil avança em direção a um futuro mais consciente e sustentável, estudos como este fornecem insights valiosos para profissionais e pesquisadores comprometidos com a construção de um ambiente construído mais eficiente e responsável.

Por fim, convido os leitores a refletirem sobre como a escolha adequada da treliça pode impactar significativamente a eficiência, a economia e a sustentabilidade em projetos de engenharia civil.

Para futuros estudos é sugerido utilizarem outras condições de contorno para locais diferentes, assim tendo uma maior gama de cargas e condições diferentes. Podendo também ser feito estudos de treliças trapezoidais e também feitas em arco.

## REFERÊNCIAS

GOMES, Maria Idália. (2016). **Estudo e Análise de Treliças**. 10.13140/RG.2.1.1816.8724

TAVARES, Gislaine Goulart. (2016). **Otimização geométrica da treliça plana em arco do tipo PRATT**. <http://repositorio.unesc.net/handle/1/4976>.

DELGADO JR., H.G.; ROBERTO XAVIER, C.; ADILSON DE CASTRO, J.; DE OLIVEIRA VASSALLO PETRILLO, M.; DE ALMEIDA PIRES, G. **Um modelo para aplicação em análise estrutural de treliças planas: formulação e implantação pelo método dos elementos finitos**. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, v. 17, n. 50, p. 1-18, 2022. DOI: 10.47385/cadunifoa.v17.n50.3908. Disponível em: <https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/viwe/3908>. Acesso em: 17 jun. 2023.

HIBBELER, R. C., **Engineering Mechanics: Statics**, Pearson, 12th edition (January 7, 2009)

BELLEI Ildony H., **Edifícios industriais em aço**. 2ª edição, São Paulo, Pini, 1998.

KASSIMALI, Aslam. **Análise estrutural**. Tradução Noveritis do Brasil; revisão técnica Luiz Antonio Vieira Carneiro. São Paulo : Cengage Learning, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 6648: Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural: especificação**. Brasil, 1984.

AISI STANDARD **North American Standard for Cold-Formed Steel Framing-Truss Design**. 2012 Edition

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 6649: Chapas fina a frio de aço-carbono para uso estrutural**. Brasil, 1986.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBT 6650: Chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural: especificação.** Brasil, 1986.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 7007: Aços-carbono e micro ligados para uso estrutural e geral.** Brasil, 2002.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.** Brasil, 2010.