

Análise da Distribuição de Esforços em Relação à Variação da Distância Entre Banzos de uma Treliça**Analysis of the Distribution of Efforts in Relation to the Variation of the Distance Between Bands of a Truss**

DOI:10.34117/bjdv6n11-496

Recebimento dos originais: 23/10/2020

Aceitação para publicação: 24/11/2020

Pedro Henrique da Silva Cazella

Pós-graduado em Estruturas
UNESP - Ilha Solteira-SP
Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira - SP, 15385-000
p.cazella@unesp.br

Marcelo Rodrigo de Matos Pedreiro

Mestrado em Engenharia Civil
Universidade Brasil - Campus Fernandópolis
Estrada projetada F1, S/N Fazenda Santa Rita, Fernandópolis - SP, 15600-000
marcelo.pedreiro@universidadebrasil.edu.br

Gean Pereira da Silva Júnior

Pós-graduado em Segurança do Trabalho
UNESP - Ilha Solteira-SP
Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira - SP, 15385-000
gean.junior1995@gmail.com

Felipe Reis Rodrigues

Graduado em Engenharia Civil
UNESP - Ilha Solteira-SP
Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira - SP, 15385-000
fr.rodrigues@unesp.br

Matheus Viana de Souza

Graduado em Engenharia Civil
UNESP - Ilha Solteira-SP
Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira - SP, 15385-000
mv.souza@unesp.br

RESUMO

O estudo buscou analisar o comportamento da topologia treliçada (Howe) utilizada em cobertura de pavilhões industriais, para um vão de 20 metros, visando criar uma relação entre disposição geométrica dos elementos da treliça, comprimento total de barras e alteração na distribuição de esforços de acordo com a mudança na distância entre banzos. A geometria foi definida através do programa Autocad 2019, os carregamentos fixados e aplicados sobre os nós do banzo superior por meio do programa Ftool, onde foram analisados e comparados de acordo com as variações da altura da treliça. De acordo com os resultados obtidos nas análises, a variação da altura (distância entre banzos) de uma treliça do modelo Howe de banzo superior

inclinado e banzo inferior horizontal, foi possível concluir que o aumento da mesma gera a redução de esforços nas barras, tornando-os mais uniformes nas montantes e diagonais, podendo assim melhorar sua eficiência estrutural, com aumento relativamente pequeno no comprimento das barras.

Palavras-chave: Treliça, Esforços, Alteração, Altura.

ABSTRACT

The study aimed to analyze the behavior of the truss topology (Howe) used in industrial pavilion roofing, for a span of 20 meters, aiming to create a relationship between the geometric arrangement of the truss elements, total length of bars and change in the distribution of efforts according to the change in the distance between banzos. The geometry was defined through the Autocad 2019 program, the loads fixed and applied on the upper banzo nodes through the Ftool program, where they were analyzed and compared according to the variations in the height of the truss. According to the results obtained in the analysis, the height variation (distance between banzos) of a Howe model truss of inclined upper banzo and horizontal lower banzo, it was possible to conclude that the increase of the same generates the reduction of efforts in the bars, making them more uniform in the amounts and diagonals, thus being able to improve their structural efficiency, with a relatively small increase in the length of the bars.

Keywords: Truss, Efforts, Alteration, Height.

1 INTRODUÇÃO

O profissional da engenharia estrutural necessita buscar constantemente modelos e sistemas estruturais com a melhor eficiência possível, ou seja, projetar com base na arquitetura e tipos de carregamento, a melhor distribuição e organização dos elementos que irão suportar edificação, observando sempre a necessidade de produzir a estrutura mais econômica possível, preservando a integridade da estrutura durante sua vida útil e o bem estar daqueles que irão fazer sua utilização.

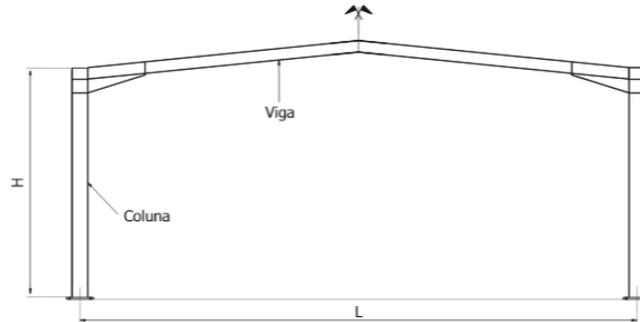
O conceito de estrutura consiste em um conjunto de elementos que se inter-relacionam para desempenhar determinada função (RABELLO, 2017). Neste conceito, em uma edificação, estrutura é a parte que tem como principal função resistir às cargas atuantes sobre a mesma, sendo que deve resistir aos esforços incidentes, transmitindo os mesmos até seu destino final, o solo, utilizando-se de vínculos que unem cada componente estrutural da edificação.

Em obras industriais de pavilhões, a cobertura torna-se um elemento de grande importância, pois a necessidade de vencer grandes vãos podem tornar a estrutura antieconômica, conseqüente da ineficiente distribuição geométrica dos seus elementos.

Atualmente existe grande amplitude quanto aos elementos estruturais de acordo com sua função no conjunto estrutural, além de existir vários conjuntos de elementos estruturais.

Soluções utilizando pórticos (conjunto de vigas e pilares mediante à vinculação rígida), como os apresentados na Figura 1, são frequentemente visualizadas no meio industrial.

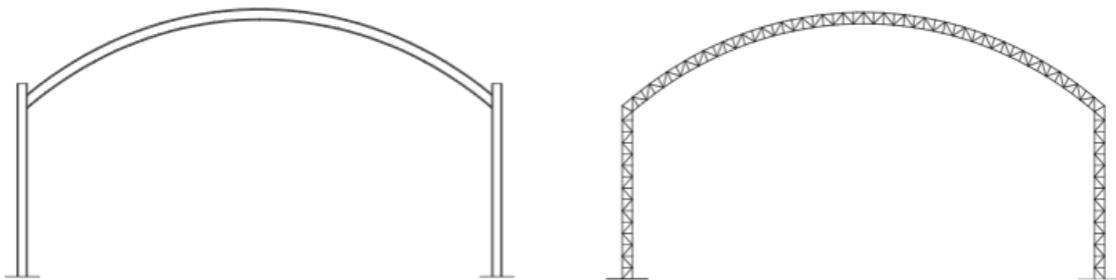
Figura 1 – Sistema estrutural em Pórtico.



Fonte: D'Alambert et al. (2005).

Arcos (treliçados ou não), como os apresentados na Figura 2, são notados principalmente em ginásios e quadras poliesportivas, pois determinadas condições particulares deste tipo de edificação exigem as características geométricas deste sistema estrutural.

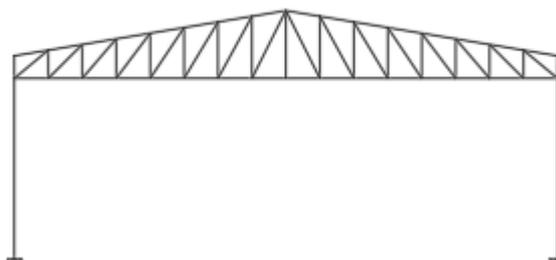
Figura 2a e b – Arco com perfil alma cheia e treliçado.



Fonte: Souza (2016).

Treliças planas trapezoidais, como apresentado na Figura 3, são frequentemente visualizadas em diversos tipos de edificação, desde galpões até coberturas que necessitam receber tubulações entre forro e telhas.

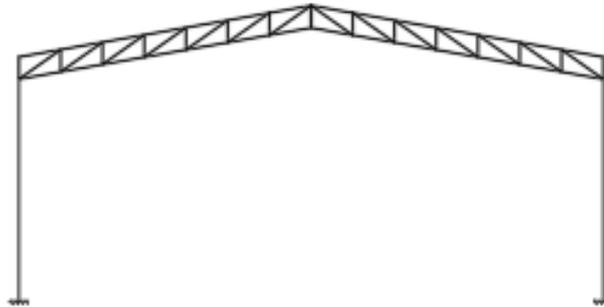
Figura 3 – Treliça plana trapezoidal.



Fonte: Acervo do autor.

As vigas treliçadas de banzos paralelos também são uma opção de grande utilização em meio aos projetistas estruturais quando se deseja vencer grandes vãos sem a existência de forro, como apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Viga treliçada.

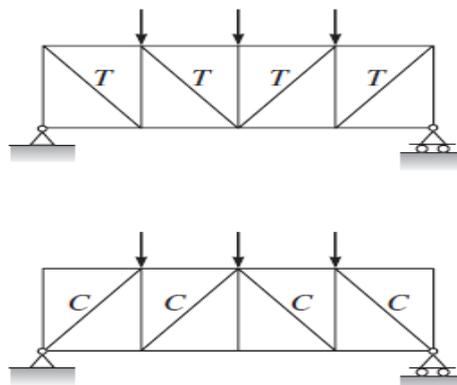


Fonte: Acervo do autor.

No entanto, existem diversos conjuntos de elementos estruturais, formando assim sistemas estruturais.

Visando economia e redução de peso próprio, os sistemas treliçados planos consistem em um conjunto de elementos lineares alongados, denominados hastes ou barras, onde as dimensões transversais são pequenas em relação ao comprimento. Estes elementos, quando combinados, formam os sistemas lineares, onde as barras são teoricamente solicitadas somente à tração e compressão axial, como está descrito na Figura 5.

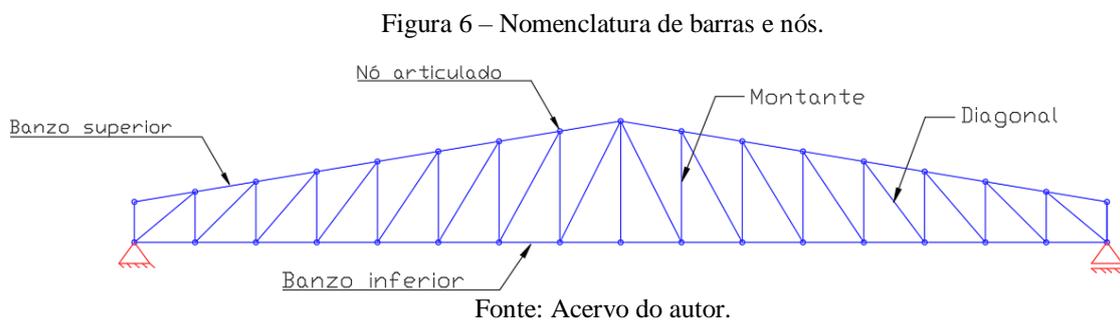
Figura 5a e b – T representa tração e C compressão.



Fonte: Leet et al. (2010).

As treliças são estruturas de barras ligadas entre si por nós articulados, que formam uma configuração geométrica estável, de formas triangulares. As cargas se aplicam exclusivamente nos nós, que resultam somente em esforços normais nas barras. Devido a este fato, deve-se garantir que as ligações nos encontros das barras sejam articuladas (BREUNIG, 2008; MARTHA, 2010).

Todas as barras são nomeadas de acordo com seu posicionamento e inclinação, concorrendo somente a um único ponto, evitando teoricamente, o surgimento de esforços de momentos fletores solicitantes nas barras, possivelmente decorrentes de excentricidade no encontro das mesmas. Sendo assim descrevem configurações semelhantes à da Figura 6, embora possam ser eliminados os montantes em algumas ocasiões, assim como alterar inclinação de diagonais, espaçamento interno entre os elementos, entre outros modelos conhecidos, o princípio da formação de triângulos nos modelos geométricos internos se mantém.



As treliças podem ser isostáticas (estaticamente determinada), cujo número de reações de apoio é igual ao número de equações de equilíbrio disponíveis, ou hiperestáticas (estaticamente indeterminada), cujo número de reações de apoio é superior ao número de equações de equilíbrio disponíveis, ou superior ao necessário, utilizando-se então da rigidez dos elementos estruturais para determinação precisa de esforços nas barras e nos apoios (MARTHA, 2010).

Normalmente as treliças são utilizadas quando há necessidade de vencer vãos consideráveis, constituindo assim as estruturas de sustentação de edificações como telhados de galpões industriais, hangares, quadras ou até mesmo pontes, devido ao seu favorável sistema de distribuição de cargas ao longo de seus elementos e seu peso próprio relativamente menor em relação a outros sistemas estruturais.

Apesar capacidade de vencer grandes vãos, se as geometrias internas e externas (topologias) forem definidas sem o prévio aprimoramento ou experiência por parte do engenheiro projetista, o sistema pode se tornar antieconômico.

Diante disso, em busca da redução de custos de acordo com a melhor distribuição dos esforços, sem deixar de lado a qualidade e a eficiência de um projeto, justifica-se o tema deste artigo, o qual busca analisar o comportamento da topologia treliçada (Howe) utilizada em cobertura de pavilhões industriais, para um vão de 20 metros, visando criar uma relação entre

disposição geométrica dos elementos da treliça, comprimento total de barras e alteração na distribuição de esforços de acordo com a mudança na distância entre banzos.

2 METODOLOGIA

2.1 DEFINIÇÃO DE GEOMETRIA

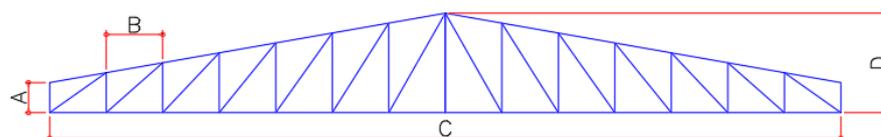
Inicialmente foi escolhida a topologia da treliça a ser analisada, embasando-se nos modelos mais utilizados em coberturas de galpões e estacionamentos na região de Fernandópolis-SP.

As literaturas não definem espaçamento ótimo do treliçado interno, porém Leet et al. (2010) indica que as diagonais devem possuir inclinação entre 45° e 60° com relação ao banzo inferior, o que ocasiona na liberdade e experiência do projetista definir distâncias que proporcionem inclinações neste intervalo ou próximas a ele. Portanto, distâncias do treliçado interno (entre montantes e diagonais) foram adotadas relacionando o vão livre entre terças que é suportado pelas telhas geralmente vendidas e utilizadas na região, com os nós da treliça que coincidem nos apoios das terças, visando evitar excentricidades no banzo superior.

A inclinação foi definida de baseando-se nas inclinações encontradas na maioria das edificações.

O modelo do treliçado e suas dimensões estão descritos na Figura 7 e Tabela 1 respectivamente, bem como as variações de distância entre banzos (A), cujo objetivo foi aumentar 10 centímetros por vez até que sua altura fosse dobrada.

Figura 7 – Modelo de treliça definido (Howe).



Fonte: Acervo do autor.

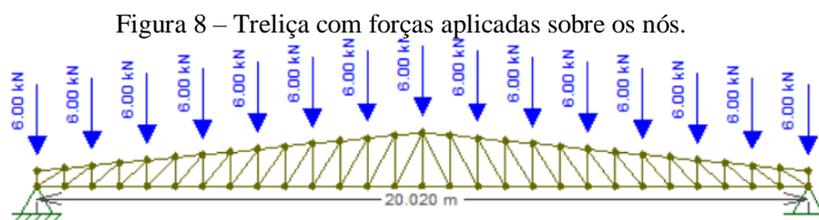
Tabela 1 – Medidas internas, externas, inclinação e variação de altura.

Modelo	Inclinação Banzo				
	sup.	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)
TH30	$5,71^\circ = 10\%$	0,30	0,715	20,02	1,30
TH40	$5,71^\circ = 10\%$	0,40	0,715	20,02	1,40
TH50	$5,71^\circ = 10\%$	0,50	0,715	20,02	1,50
TH60	$5,71^\circ = 10\%$	0,60	0,715	20,02	1,60

Fonte: Acervo do autor.

2.2 CARREGAMENTOS

Foi adotada uma carga pontual de sobrepressão permanente sobre os nós em que coincidem as terças da estrutura, como apresentado na Figura 8, calculado por meio de uma média das cargas permanentes que poderiam incidir sobre a mesma, visando facilitar a análise de seu desempenho.



Fonte: Acervo do autor.

Ainda em consideração à Figura 8, a estrutura treliçada foi considerada isostática, para a melhor compreensão dos resultados. O carregamento e o sistema isostático foi utilizado em todas as variações de altura da topologia treliçada escolhida.

2.3 ANÁLISES

Após definição das características geométricas, medidas internas e externas utilizando o software Autocad 2019, as treliças foram desenhadas no software Ftool e em seguida lançadas as cargas sobre seus nós. Após este processo, as análises genéricas dos esforços nas barras foram feitas pelo Método dos Elementos Finitos (utilizado pelo programa), mediante ao carregamento definido previamente.

O comprimento total das barras dos quatro modelos foram verificados através do programa Autocad 2019.

Para uma análise de melhor compreensão, os resultados analisados através do software Ftool foram lançados em tabelas no programa Excel 2019, que permitiu uma visão mais clara e comparativa entre os modelos, assim como a geração de gráficos decorrentes das análises.

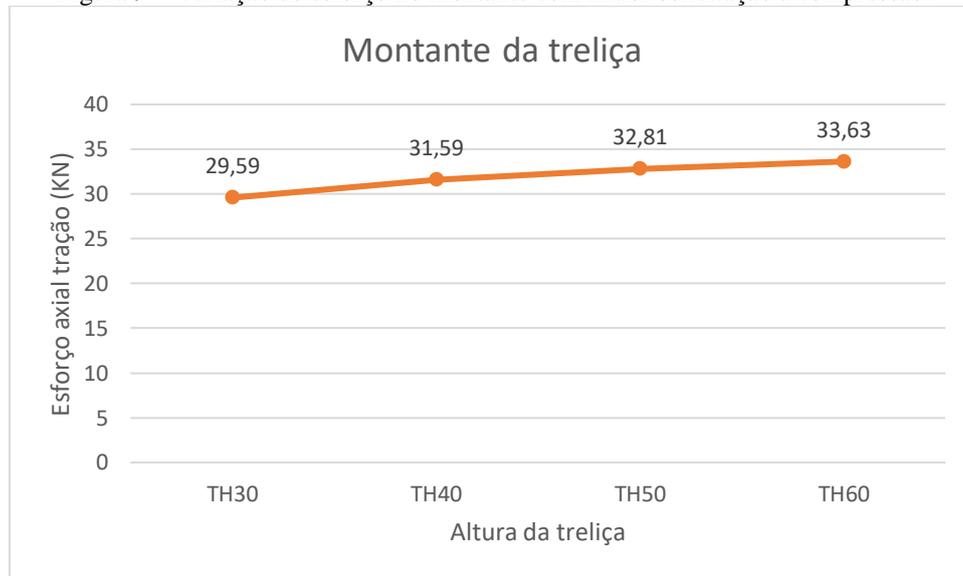
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise das estruturas, conforme a descrição no capítulo anterior, foi possível extrair diversos resultados, sendo que os principais utilizados neste estudo são a variação de esforços nas barras com maior solicitação axial (compressão ou tração) nos montantes, nas diagonais, no banzo superior e no banzo inferior. Neste capítulo são apresentados estes resultados, seguidos de uma interpretação dos mesmos.

3.1 RESULTADOS NO MONTANTE

A Figura 9 apresenta a variação do esforço no montante com maior solicitação à compressão em relação ao aumento da distância entre banzos (altura da treliça), sem variar a inclinação do banzo superior.

Figura 9 – Variação de esforço no montante com maior solicitação à compressão.



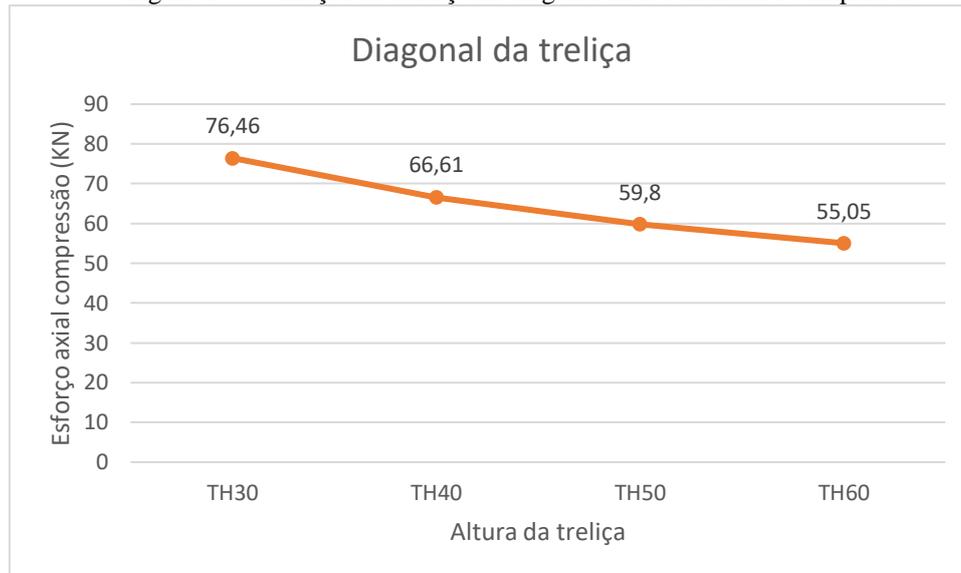
Fonte: Acervo do autor.

Nota-se que enquanto a distância entre banzos aumentou, o esforço no montante mais solicitado da treliça também aumentou. Levando em conta que à medida que a altura dobrou, o esforço final aumentou cerca de 13% em relação ao seu esforço inicial. Um aumento relativamente baixo em relação ao das outras categorias de barras.

3.2 RESULTADOS NA DIAGONAL

Na Figura 10 são apresentadas as variações de esforços axiais na diagonal de maior solicitação à compressão.

Figura 10 – Variação de esforço na diagonal mais solicitada à compressão.



Fonte: Acervo do autor.

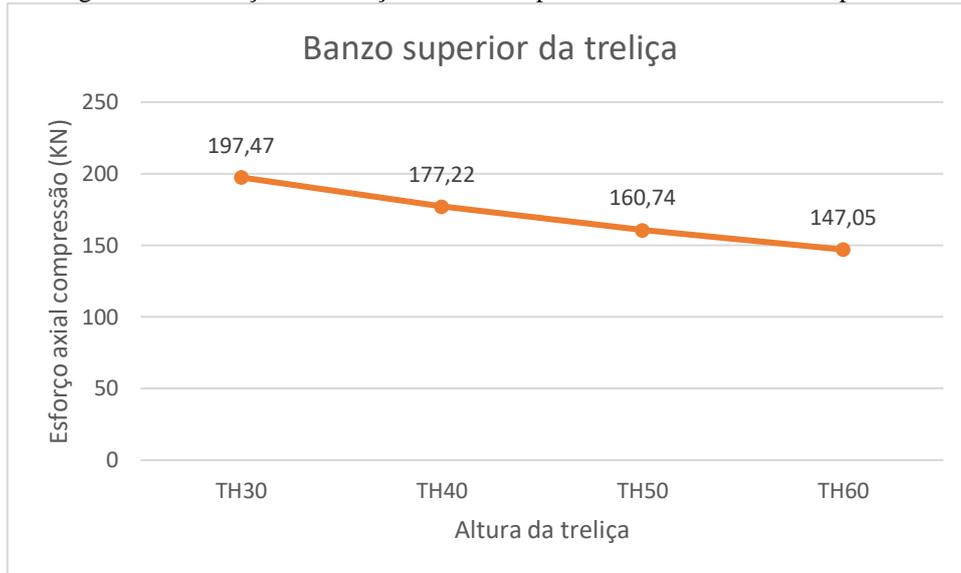
É possível notar uma diminuição mais acentuada do esforço de compressão em relação ao aumento da distância entre banzos. Enquanto a altura dobrou, o esforço reduziu cerca de 28% em relação ao esforço de compressão inicial, o que pode favorecer na escolha do material que será utilizado na construção da treliça.

Analisando-se o gráfico da montante e da diagonal mais solicitada, é possível notar uma convergência dos valores à números mais próximos uns dos outros de acordo com o aumento da distância entre banzos, o que pode resultar em uma maior uniformidade quanto a seção e material das barras, levando à uma maior eficiência da treliça, pois a tendência das barras resistirem à esforços de amplitudes semelhantes à medida que se aumenta a altura, favorece a utilização de seções e materiais com maior uniformidade no quesito solicitação/resistência que ocorre sobre a mesma. Levando-se em conta que uma treliça, por requisitos construtivos, deve manter simetria e uniformidade nos perfis de suas barras, esta situação pode ser favorável.

3.3 RESULTADOS NO BANZO SUPERIOR

A figura 11 apresenta a variação de esforço de compressão no banzo superior de maior solicitação.

Figura 11 – Variação de esforço no banzo superior mais solicitado à compressão.



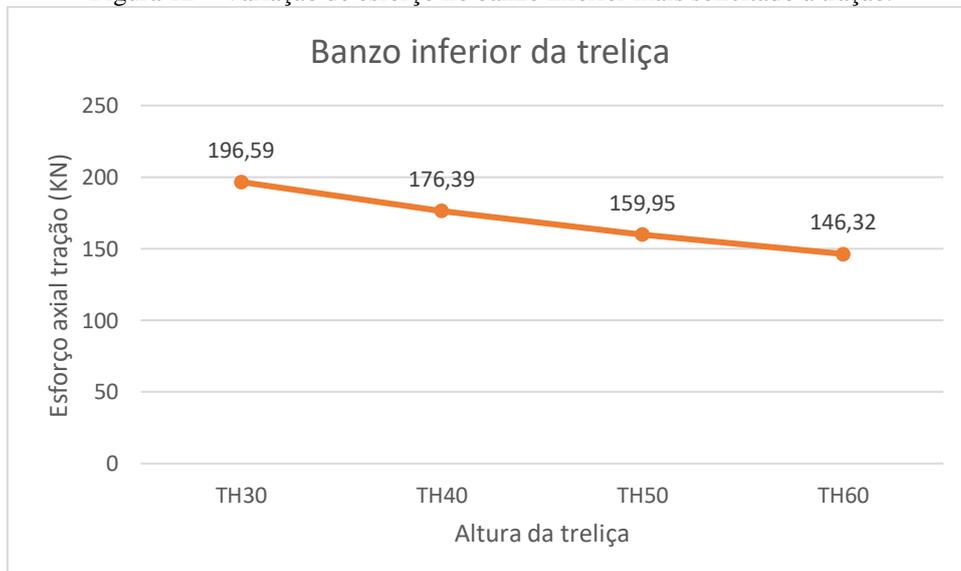
Fonte: Acervo do autor.

Para o banzo superior é possível observar uma redução de cerca de 50 KN no esforço de compressão axial, correspondendo a um valor 25% menor em relação ao inicial, enquanto a distância entre banzos dobrou. Outro ponto possível de se observar é grandeza do esforço no banzo, o que geralmente exige perfis mais robustos para resistir aos grandes esforços, portanto esta redução pode ser de grande importância no momento do dimensionamento das barras.

3.4 RESULTADOS NO BANZO INFERIOR

Na Figura 12 são apresentadas as variações dos esforços de tração no banzo inferior mais solicitado da treliça.

Figura 12 – Variação de esforço no banzo inferior mais solicitado à tração.



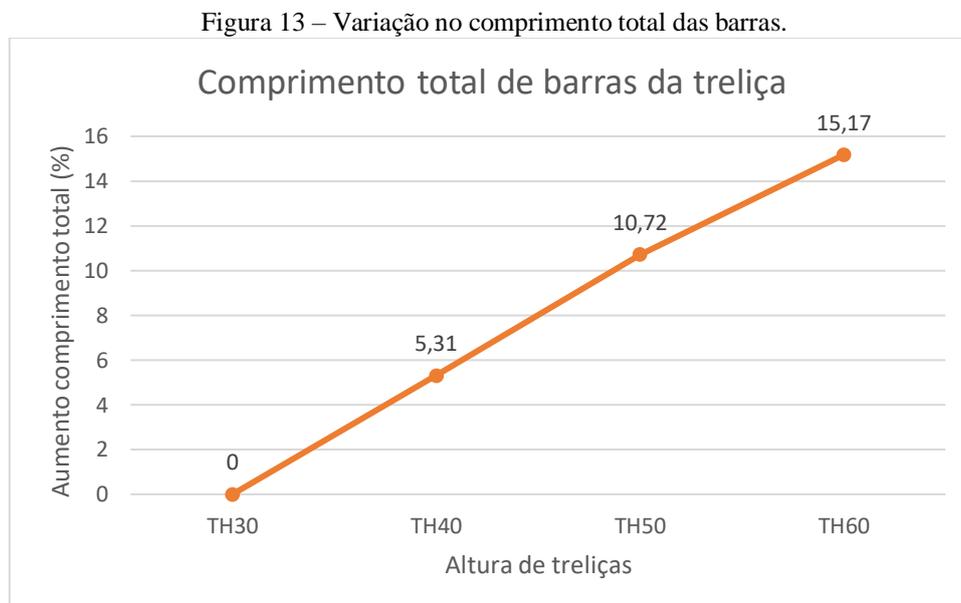
Fonte: Acervo do autor.

Nota-se que houve também uma redução de cerca de 50 KN no esforço de tração axial em relação ao aumento da distância entre banzos. À medida que a mesma dobrou, o esforço reduziu cerca de 25% em relação ao esforço de tração inicial da barra.

É importante ressaltar uma redução significativa quanto aos esforços de compressão, visto que de acordo com o material, seção e comprimento das barras, este pode exigir perfis mais robustos no dimensionamento pelo efeito de flambagem. A redução neste tipo de esforço pode tornar a estrutura mais econômica.

3.5 RESULTADOS COMPRIMENTO TOTAL DE BARRAS

A figura 13 apresenta a variação do comprimento total das barras da treliça para cada variação de distância entre banzos.



Fonte: Acervo do autor.

De acordo com os resultados presentes na figura acima, pode-se notar que a cada 10 centímetros aumentados na distância entre banzos da treliça, o comprimento total de suas barras se altera em aproximadamente 5%, o que pode se tornar compensatório conforme o tipo de material e seção que irá ser empregado e dimensionado.

Em observação ao benefício de se conseguir maior uniformidade nos esforços, o aumento da altura da treliça pode aumentar sua inércia e conseqüentemente diminuir flechas, utilizando-se de um aumento relativamente baixo no comprimento total do material a ser utilizado.

Em contrapartida, quando se aumenta a altura, o comprimento individual das barras da treliça também aumenta, o que pode influenciar negativamente no momento do dimensionamento e escolha de material, visto que materiais de alta resistência podem permitir

seções mínimas aos esforços de tração, porém podem necessitar de perfis mais robustos nos esforços de compressão, pelo efeito da flambagem, que é afetado diretamente pelo comprimento da barra.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nas análises do capítulo anterior, a variação da altura (distância entre banzos) de uma treliça do modelo Howe de banzo superior inclinado e banzo inferior horizontal, é possível concluir que o aumento da mesma gera a redução de esforços nas barras diagonais, banzo superior, banzo inferior e um pequeno aumento nos montantes, tendendo à uma maior uniformidade nas solicitações das barras, melhorando assim sua eficiência estrutural e com acréscimo relativamente baixo no comprimento das barras.

Levando-se em conta que para o dimensionamento ideal de uma treliça devem ser considerados outras variáveis como o comprimento das barras, tipo de material utilizado e suas propriedades (envolvendo-se os conceitos de Resistência dos Materiais), o esforço nas barras e a geometria interna e externa da treliça tem um importante papel na etapa inicial de concepção estrutural, pois alterações como as visualizadas neste trabalho podem gerar economias consideráveis, podendo tornar a estrutura mais eficiente em relação aos esforços solicitantes/resistência efetiva.

REFERÊNCIAS

BREUNIG, Marcio Nelson. **Análise do desempenho das diferentes topologias de estruturas treliçadas utilizadas em coberturas de pavilhões industriais**. 2008. 141 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2008. Disponível em: http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/tcc-titulos/2008/Analise_do_Desempenho_das_Diferentes_Topologias_de_Estruturas_Trelicadas_Utilizadas_em_Coberturas_de_Pavilhoes_Industriais.pdf. Acesso em: 26 fev. 2020.

CARACTERÍSTICAS dos galpões em pórtico com perfis estruturais laminados. *In*: D'ALAMBERT, Flávio *et al.* **Galpões em Pórticos com Perfis Estruturais Laminado**. 3. ed. [S. l.: s. n.], 2005. v. 3, cap. 2, p. 16.

LEET, Kenneth M. *et al.* **Fundamentos da análise estrutural**. 3. ed. [S. l.]: AMGH Editora, 2010. 790 p. ISBN 978-85-7726-059-1.

MARTHA, Luiz Fernando. Conceitos Básicos de análise Estrutural. *In*: ANÁLISE de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos. [S. l.]: Elsevier, 2010. cap. 2, p. 13-15. ISBN 978-85-352-1082-8.

RABELLO, Yopanan C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. 12ª Reimpressão. São Paulo: Zigurate Editora, 2017. 265 p. ISBN 85-85570-03-2.

SOUZA, Alex Sander Clemente. **Projeto e dimensionamento de estruturas metálicas em perfis soldados e laminados**: Sistemas estruturais: coberturas. UFSCar: [s. n.], 20