

António Madaleno S. Luís

Amelia Estévez Betancourt

Recepción: 22-10-2019 Aprobación: 07-01-2020

## **Proposta de sistema de exercícios para a determinação dos esforços em treliças a partir do método dos nós**

### **Exercise system for determining the stresses in the lattice bars from the nodes method**

MSc. António Madaleno S. Luís<sup>1</sup>, e-mail: [LuicAntonio@outlook.com](mailto:LuicAntonio@outlook.com)

PhD. Amelia Estévez Betancourt<sup>2</sup>, e-mail: [yalimael@gmail.com](mailto:yalimael@gmail.com)

#### **Resumo**

O objectivo da proposta do sistema de exercícios para a determinação dos esforços nas barras de treliças a partir do método dos nós, é pelo facto do carregamento numa treliça se realizar nos nós. Na teoria de projecto, as barras de uma treliça simples são sujeitas somente a esforços normais (tracção ou compressão), sendo estas barra elementos rectos indeformáveis, unidos na sua extremidade por nós (articulações) consideradas perfeitas. Estes elementos são bastante esbeltos podendo suportar pouca carga lateral, assim sendo, as cargas devem ser aplicadas preferencialmente nos vários nós e não nos elementos rectos, ficando os elementos estruturais que as constituem solicitados apenas por esforços normais. Se houver necessidade de se aplicar uma carga entre dois nós ou quando for necessário aplicar uma carga distribuída numa treliça, é preciso prever um sistema de transmissão de cargas para os nós da treliça. Este método consiste em isolar sucessivamente cada um dos nós, marcar as forças exteriores, activas e reactivas, e os esforços normais das barras que nele concorrem. Os esforços normais das barras serão assim determinados como forças que garantem o equilíbrio do nó. Se a treliça está em equilíbrio, todos os seus nós também o estão.

**Palavras-chave:** Sistema de exercícios, Método dos nós, Esforços de compressão e tracção.

#### **Abstract**

The purpose of the exercise system for determining the stresses in the lattice bars from the knot method is that the lattice loading is performed at the nodes. In design theory, the bars of a single trellis are subjected only to normal stresses (traction or compression), these bars being straight members that are undeformable, joined at their end by us (joints) considered to be perfect. These elements are very thin and can withstand little lateral loading, therefore, the loads must be applied preferably in the various nodes and not in the straight elements, leaving the structural elements that constitute them required only by normal efforts. If there is a need to apply a load between two nodes or when it is necessary to apply a distributed load on a truss, it is necessary to provide a load transfer system for the truss knots. This method consists of successively isolating each of the nodes, marking the active and reactive outer forces,

---

<sup>1</sup> MSc. Auxiliar. Instituto Superior de Huambo. Angola

<sup>2</sup> Ph.D. Full Professor. Instituto Superior de Huambo. Angola

António Madaleno S. Luís

Amélia Estévez Betancourt

Recepción: 22-10-2019 Aprobación: 07-01-2020

and the normal stresses of the bars competing therewith. The normal stresses of the bars will thus be determined as forces that guarantee the equilibrium of the node. If the trellis is in balance, all your nodes are.

**Key words:** System of exercises, Method of nodes, Compression and traction efforts.

## Introdução

Dá-se o nome de estrutura aos elementos resistentes de uma construção, de uma máquina, de um objecto, entre outros. Ao olhar em nosso redor, podemos observar que tudo o que nos cerca possui uma estrutura: o edifício onde nos encontramos; o computador que utilizamos; a estante onde guardamos os nossos livros; até mesmo a cadeira em que nos sentamos apresenta uma estrutura. Nós próprios temos uma estrutura, constituída por ossos, músculos e tendões. A estrutura tem como função resistir aos esforços produzidos pelas acções que nelas actuam. Para que uma estrutura cumpra as suas funções, esta deve resistir às acções (toda e qualquer solicitação física imposta a uma estrutura) que actuam sobre ela ao longo da sua vida útil. As acções, que solicitam a estrutura podem dividir-se quanto: à natureza, ao modo de aplicação e à duração, Beer, P.; Johnston Jr.; Eisenberg, R.; Clausen, E. (2016).

As treliças são um dos principais tipos de estruturas de engenharia, apresentando-se como uma solução estrutural simples, prática e económica para muitas situações de engenharia, especialmente em projecto de passagens superiores, pontes e coberturas. A treliça apresenta a grande vantagem de conseguir vencer grandes vãos, podendo suportar cargas elevadas comparativamente com o seu peso. Podemos ainda observar as estruturas treliçadas em postes de alta tensão, vigas de lançamento, guias e em inúmeras outras estruturas de engenharia, Beer, P.; Johnston Jr.; Eisenberg, R.; Clausen, E. (2018).

A cadeira de Análise de Estruturas, forma parte do Curso de formação de Engenheiros em Construção Cívil, tem por objectivo principal a apresentação das principais ferramentas utilizadas para a solução de problemas que envolvam análise estrutural. Os conceitos e métodos da disciplina serão utilizados em aplicações práticas do curso de Estruturas e Concreto Armado, uma vez que guarda uma estreita relação com a cadeira de Resistência dos Materiais I e II que se reparte no terceiro ano, Estruturas que se reparte durante o Segundo Semestre do quarto ano e Concreto Armado no quinto ano. A cadeira alia o desenvolvimento da competência na aplicação dos métodos básicos de análise estrutural ao desenvolvimento da capacidade crítica do processo de cálculo, mediante a cadeira de Mecânica das Construções durante o segundo Semestre do segundo ano, através da compreensão dos Princípios gerais da Mecânica, Estática das partículas e dos corpos rígidos assim como Análise de treliças planas e membros estruturais (vigas), que esse processo pretende simular. Como parte dos temas a tratar nas cadeiras antes mencionadas, a análise das treliças é pouco tratada a partir da sua

António Madaleno S. Luís

Amélia Estévez Betancourt

Recepción: 22-10-2019 Aprobación: 07-01-2020

sistematização mediante um sistema de exercícios que permitem aos estudantes analisar treliças para adoptar um método que determine os esforços nas barras de maneira mais efectiva, mediante o sistema de forças que actuam nas treliças em função de um problema profissional específico, elemento que constitui a situação problemática identificada. Se propõem o seguinte objectivo: Propor um sistema de exercícios para a determinação dos esforços em treliças a partir do método dos nós.

### Abordagem histórica

Segundo Schmidt e Boresi, (1999), as treliças surgiram como um sistema estrutural mais económico às vigas, sendo um dos principais tipos de estruturas de engenharia. Estes sistemas estruturais foram utilizados durante séculos para vencer grandes vãos. No início do século XIX surge o ferro laminado, que apesar de menos económico que o ferro fundido, apresentava uma melhoria substancial no seu comportamento face às tracções. Pela primeira vez os projectistas tinham ao seu dispor um material capaz de realizar distintas tipologias: estruturas suspensas, estruturas com vigas, estruturas em arco e uma melhoria nas estruturas treliçadas. A partir da década de 70 do século XIX, o aço começou a substituir o ferro fundido e o ferro laminado, principalmente devido à sua maior resistência e ductilidade. As configurações clássicas de estruturas treliçadas que foram utilizadas desde a Revolução Industrial (século XIX), na época do desenvolvimento das treliças, estas distinguiam-se pelas suas configurações, pelos materiais, pela capacidade de resistirem a elevados esforços e ainda por apresentarem grandes vãos, Meriam, J.L. e Kraige, L.G. (2000). Ainda hoje, as treliças designam-se pelos nomes de quem as aperfeiçoou. As treliças tipo “duas águas” são usadas para coberturas, enquanto as treliças de “banzos paralelos” são usualmente adotadas para as estruturas de pontes. (Ver figura 1 e 2).

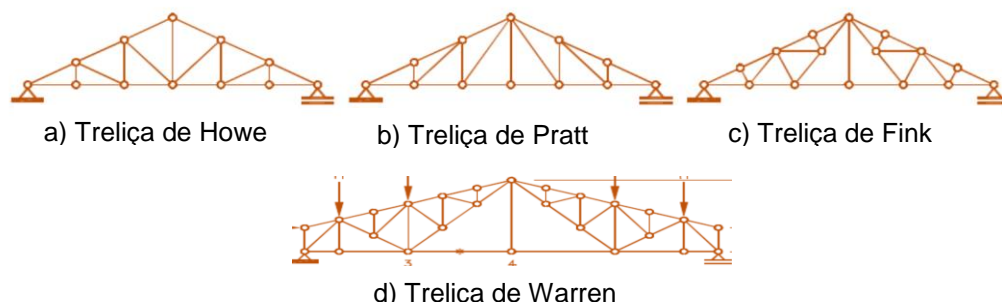
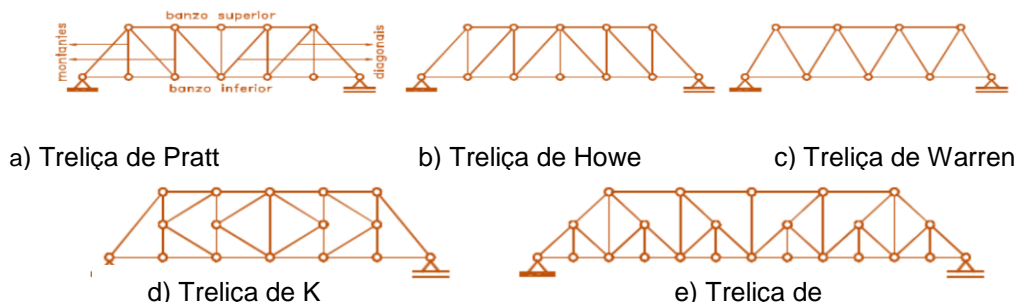


Figura 1 - Tipos de treliças utilizadas em coberturas



António Madaleno S. Luís

Amélia Estévez Betancourt

Recepción: 22-10-2019 Aprobación: 07-01-2020

Figura 2. Tipos de treliças utilizadas em pontes ou passagens superiores. Fonte: J.L.Meriam, L.G.Kraige, Sexta Edição

### **Fundamentação da determinação dos esforços nas barras de uma treliça a partir do método dos nós**

As Treliças como sistema articulado plano rígido triangulado, segundo Maria, S.G. (2016), é definido como sendo um sistema de barras rígidas delgadas coplanares ligadas entre si por extremidades rotuladas, formando um sistema estável. O carregamento numa treliça é realizado nos nós. A forma como as barras estão colocadas na treliça torna-a num sistema eficiente para suportar estas cargas, ou seja, uma treliça pode suportar cargas pesadas comparativamente com o seu peso próprio. A maioria das estruturas reais apresenta várias treliças unidas entre si, formando uma estrutura espacial (Fig. 3a). Cada treliça é projectada para suportar as cargas que actuam no seu plano, podendo assim serem tratadas como estruturas bidimensionais, ou seja, os eixos das barras estão contidos num mesmo plano (Fig. 3b).



Figura 3 - (a) Treliça tridimensional - carrinho de avanço e (b) Treliça plana. Fonte: S.G. Maria, 2016

Na teoria de projecto, as barras de uma treliça simples são sujeitas somente a esforços normais (tracção ou compressão), sendo estas barra elementos rectos indeformáveis, unidos na sua extremidade por nós (articulações) consideradas perfeitas. Estes elementos são bastante esbeltos podendo suportar pouca carga lateral, assim sendo, as cargas devem ser aplicadas preferencialmente nos vários nós e não nos elementos rectos, ficando os elementos estruturais que as constituem solicitados apenas por esforços normais, Maria, S.G. (2016).

Se houver necessidade de se aplicar uma carga entre dois nós ou quando for necessário aplicar uma carga distribuída numa treliça, é preciso prever um sistema de transmissão de cargas para os nós da treliça. É o caso de uma ponte com o sistema treliçado deve ser previsto um sistema de pavimento, onde um sistema de longarinas e vigas transversais irão transmitir a carga para os nós. Os materiais utilizados nas treliças incluem o aço, madeira, ferro e por vezes o alumínio. As barras podem ser unidas por parafusos ou rebites, podem ser soldadas ou por placas de metal, outros meios. Nas treliças admite-se que o peso das barras são aplicados nos nós, assim metade do peso de cada barra é aplicada em cada um dos seus nós, aos quais a barra está unida. Como atrás referido, as barras são unidas por meio de conexões aparafusadas ou mesmo soldadas, contudo é comum supor-se que estas sejam unidas

por meio de rótulas, assim sendo, as forças que actuam em cada extremidade de cada barra reduzem-se a uma única força sem binário, Beer, F.P. (2016).

### Estaticidade de uma treliça

Considere uma estrutura com três barras, AB, BC e CA, estando estas barras ligadas nas suas extremidades por nós, constituem assim um sistema triangular rígido, formando uma treliça simples (Fig.4a). Esta estrutura é estável, ou seja, não altera a sua forma sob a acção da força F, aplicada no nó B (força que lhe está a ser aplicada) e das reacções de apoio correspondentes no nó A e C. Em comparação, as estruturas representadas na Fig.4b e c, apresentam deslocamentos quando sujeitas a forças exteriores. As estruturas supra referidas não se apresentam estáveis sob a acção da força F. Estes sistemas são submetidos a uma mudança de forma quando sujeitos a uma acção, os seus elementos sofrem deslocamentos, como consequência são treliças instáveis.

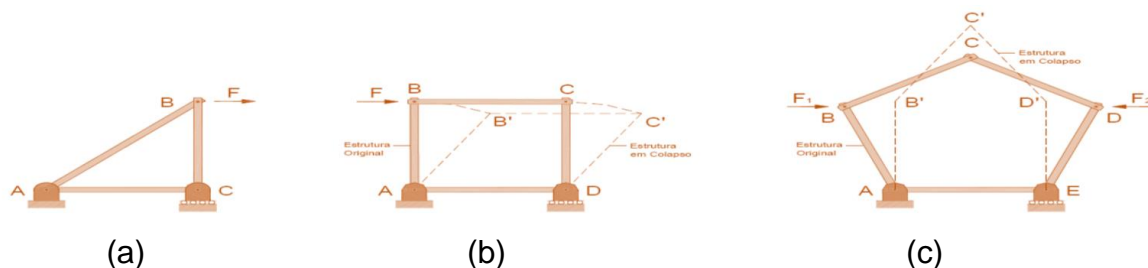


Figura 4 - Sistemas estruturais: (a) elemento triangular; (b) elemento rectangular e (c) elemento poligonal. Fonte: Adaptado de Schmidt e Boresi, 1999

Na Figura 5a pode visualizar-se que a estrutura apresenta uma barra adicional (barra AD) e na Figura 5b a estrutura apresenta quatro reacções de apoio; ambas as treliças são estaticamente indeterminadas, pois apresentam mais incógnitas do que as equações de equilíbrio da estática plana. Embora estas sejam estaticamente indeterminadas, apresentam-se estáveis, Schmidt e Boresi, (2018).



Figura 5 - Treliças estaticamente indeterminadas. Fonte: Adaptado de Schmidt e Boresi, 2018

(a) colocação adicional de uma barra e (b) colocação adicional de um apoio móvel

As treliças à semelhança de outros sistemas estruturais podem dividir-se em hipostáticas, isostáticas e hiperstáticas; conforme o número de equações da estática disponíveis e se este valor for superior, igual ou inferior ao número de incógnitas da estrutura. Contudo, para além das incógnitas das reacções de apoio existe ainda a necessidade de calcular os esforços nas barras da treliça. É assim necessário, fazer a análise da estaticidade: interior (número de barras que é necessário calcular); exterior (número de incógnitas de reacções de apoio); e global da estrutura.

António Madaleno S. Luís

Amélia Estévez Betancourt

Recepción: 22-10-2019 Aprobación: 07-01-2020

## **Estaticidade global**

O sistema rígido mais simples é constituído por três barras articuladas entre si. Se cada nó for agregado ao sistema por intermédio de apenas duas barras obtém-se um sistema rígido, por isso invariante (não varia a sua configuração geométrica) e estaticamente determinado. Uma treliça formada deste modo é designada por treliça simples e é isostática. Considerando assim uma treliça constituída por barras articuladas “b” e por nós “n”. O número de incógnitas que irão aparecer na treliça (independentemente da forma como esta está apoiada) será igual a “b”, já que é este o número de esforços internos existentes. Se admitirmos que esta estrutura tem “a” incógnitas de reacções de apoio, então é possível afirmar que o número total de incógnitas do problema será igual a “a + b”. O número de equações da estática plana será de “2n”, pois em cada nó aplicam-se as equações de equilíbrio de um ponto material (Equação 1).  $\sum F_x = 0$  e  $\sum F_y = 0$  (1)

A terceira equação a que se poderá recorrer, será a do equilíbrio de momentos (Eq. 2), esta equação não terá qualquer significado, pois todos os esforços nas barras que concorrem em qualquer nó, não produzem momentos.  $\sum M = 0$   
 $\rightarrow \sum M_z = 0$  (2)

Assim sendo, para uma estrutura com “n” nós, é possível escrever “2n” equações da estática. Uma treliça diz-se globalmente isostática ao verificar-se que o número de incógnitas é igual ao número de equações disponíveis (Equação 3).  $a + b = 2n$  (3)

O grau de estaticidade global ( $h_g$ ) (Eq. 4) de uma treliça é igual a:  $h_g = a + b - 2n$

Se:  $h_g < 0 \rightarrow$  Treliça globalmente hipoestática;

$h_g = 0 \rightarrow$  Treliça globalmente isostática;

$h_g > 0 \rightarrow$  Treliça globalmente hiperestática.

## **Classificação das treliças quanto à lei de formação**

Classificar as treliças quanto à sua lei de formação é bastante importante, pois os métodos de resolução das mesmas dependem desta classificação. Quanto à Lei de formação, as treliças podem ser: simples; composta; e complexas.

- *Treliça simples*

Dá-se o nome de treliças simples às treliças formadas a partir de um triângulo inicial indeformável (três barras e três rótulas) ao qual, para cada novo nó, adicionam-se duas novas barras. As treliças simples verificam a isostaticidade interior,  $h_i = 0$ .

Na Figura 6, está representada a sequência para a formação de uma treliça simples, originando a treliça Howe de pontes. Tem este nome por ter sido inventada pelo engenheiro americano William Howe, que a patenteou em 1840. Como referido uma treliça simples parte de um triângulo formado por barras articuladas e desse triângulo inicial são acrescentadas duas novas barras para cada novo nó.

António Madaleno S. Luís

Amélia Estévez Betancourt

Recepción: 22-10-2019 Aprobación: 07-01-2020

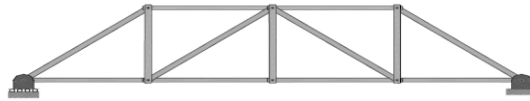


Figura 6 - Formação de uma treliça simples de ponte Howe. Fonte: Adaptado de Schmidt e Boresi, 1999

As treliças simples também são bastante usadas em estruturas de suporte para telhados, é o caso da treliça que recebe o nome de treliça Howe de telhado, (Ver Figura 7).

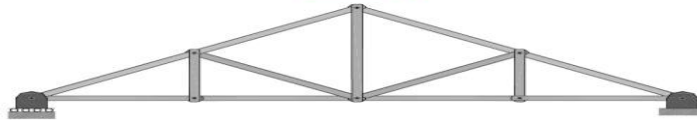


Figura 7 - Formação de uma treliça simples de telhado Howe. Fonte: Adaptado de Schmidt e Boresi, 1999

- *Treliças compostas*

A treliça simples é composta por um triângulo base acrescentando-se duas novas barras não colineares para cada novo nó. Contudo, existem outras configurações de treliças que não seguem esta configuração para a sua lei de formação. Estas configurações são geralmente constituídas de duas ou mais treliças simples unidas entre si por barras também indeformáveis. Exemplo disso são as treliças compostas.

As treliças compostas são formadas pela ligação de duas treliças simples por meio de:

- Três barras não-paralelas entre si nem concorrentes num mesmo ponto.
- Se as barras fossem concorrentes num ponto ou mesmo paralelas entre si o sistema era deformável e portanto instável.

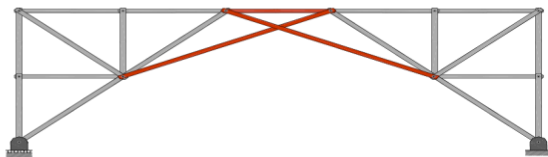


Figura 8 - Treliça composta. Fonte: Adaptado de Schmidt e Boresi, 1999

- *Treliças complexas*

As configurações de treliças que não podem ser classificadas como simples ou compostas são consideradas complexas. Uma treliça complexa pode ser composta de uma qualquer combinação de elementos triangulares, quadriláteros ou mesmo poligonais. Uma treliça complexa pode apresentar barras que se cruzam sem estas estarem vinculadas umas às outras. Exemplo disso são as treliças apresentadas no todos os exemplos apresentam barras que se cruzam sem qualquer nó. Estas treliças são estaticamente determinadas e estáveis na sua configuração.

Uma treliça complexa é classificada por exclusão, ou seja, quando não é simples e nem composta. Não é possível afirmar se a treliça é isostática pela simples análise da Equação 3, que é uma condição necessária mas não suficiente para garantir a isostaticidade. O reconhecimento de sua real classificação é feito pelo método de HENNEBERG, Leggerini e Kalil, (20019).



Figura 9 - Treliças complexas. Fonte: Adaptado de Schmidt e Boresi, 1999

### **Determinação dos esforços normais nas barras de treliças pelo método dos nós**

Este método consiste em isolar sucessivamente cada um dos nós, marcar as forças exteriores, activas e reactivas, e os esforços normais das barras que nele concorrem. Os esforços normais das barras serão assim determinados como forças que garantem o equilíbrio do nó. Se a treliça está em equilíbrio, todos os seus nós também o estão. Assim, aplica-se a equação  $\sum F = 0$ , que garante o equilíbrio de forças concorrentes num ponto material, à qual correspondem as equações de projecção  $\sum F_x = 0$  e  $\sum F_y = 0$ , tendo o referencial de eixos ortogonais  $O_x$  e  $O_y$  uma qualquer orientação.

É de notar que, se o nó tiver mais de duas barras para determinação dos esforços (ou seja duas incógnitas), as duas equações da estática não chegam para determinar a solução do sistema. O cálculo deve-se sempre iniciar pelos nós que possuam apenas duas incógnitas a determinar. Assim, a sucessão de nós é feita de modo a que surjam apenas dois esforços como incógnitas em cada novo nó. É aconselhável, no caso da nossa sensibilidade estática não nos permitir antever a natureza do esforço, que sejam todos considerados à tracção, e assim, os sinais obtidos já serão os sinais dos esforços actuantes: se for positivo (confirma o sentido arbitrado) indica tracção; se for negativo indica compressão. A barra estará sujeita à compressão se a força que a comprime converge para os nós e, estará à tracção se a força que a tracciona sai dos nós.

### **Passos a seguir para a determinação dos esforços nas barras da treliça a partir do método dos nós**

- 1º. Passo: determinação do grau de estaticidade da treliça dada;
- 2º. Passo: construir o diagrama de corpo livre (DCL) da treliça;
- 3º. Passo: encontrar as reacções nos apoios da treliça;
- 4º. Passo: separar os nós e colocar as forças, reacções e barras desse nó (considerar as decomposições de forças que forem necessárias);
- 5º. Passo: aplicar o somatório de  $F_x$  e  $F_y$  ( $\sum F_x$  e  $F_y$ ) no nó escolhido;
- 6º. Passo: resolvido o primeiro nó, passamos ao segundo sempre com o cuidado de verificar se ela tem apenas duas incógnitas (2 barras à serem determinadas);



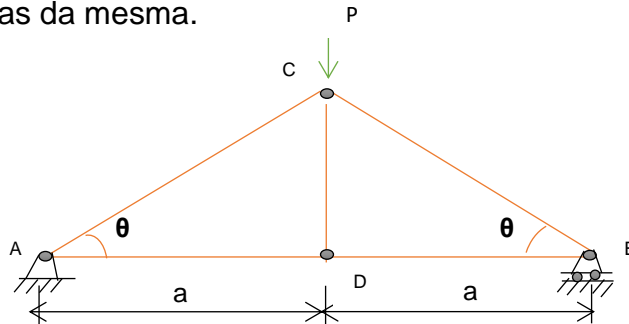
António Madaleno S. Luís

Amélia Estévez Betancourt

Recepción: 22-10-2019 Aprobación: 07-01-2020

7º. Passo: Verificação do equilíbrio do nó.

EXEMPLO: Considere a treliça representada na figura 14 e determinar as forças normais nas barras da mesma.



RESOLUÇÃO:

Treliça simples

O grau de estaticidade global ( $h_g$ ) de uma treliça é igual a:

$$h_g = a + b - 2n$$

$$h_g = 3 + 5 - 2.4 = 0 \rightarrow \text{(treliça globalmente isostática)}$$

O grau de estaticidade interior ( $h_i$ ) de uma treliça é igual a:

$$h_i = 3 + b - 2n = b - (2n - 3)$$

$$h_i = 3 + 5 - 2.4 = 5 - (2.4 - 3) = 0 \rightarrow \text{(treliça interiormente isostática)}$$

O grau de estaticidade exterior ( $h_e$ ) de uma treliça é dado por:

$$h_e = a - 3$$

$$h_e = 3 - 3 = 0 \rightarrow$$

(treliça exteriormente isostática)

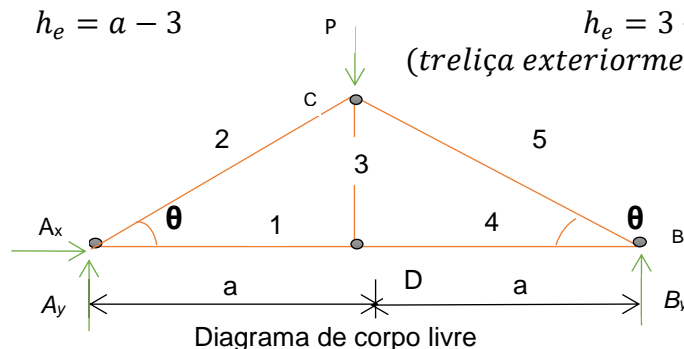
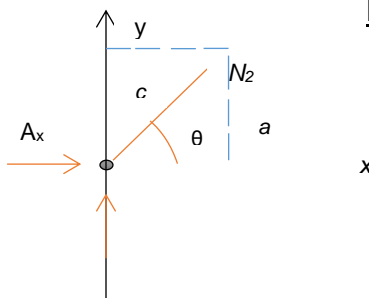


Diagrama de corpo livre

A reacção  $A_x$  é completamente nula, ao passo que as reacções de apoio em  $A_y$  e em  $B_y$  são iguais, pois a carga  $P$  está aplicada simetricamente aos apoios. Portanto,  $A_y = B_y = \frac{P}{2}$ . As barras 2 e 5 estão submetidas a um esforço de compressão, pois equilibram as reacções de apoio. O esforço na barra 3 é completamente nulo. As barras 1 e 4 estão traccionadas, pois equilibram as componentes horizontais das barras 2 e 5.



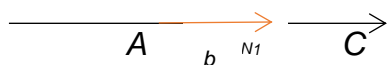
Equilíbrio dos esforços no Nó A

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + N_2 \cdot \text{Sen}\theta = 0$$

António Madaleno S. Luís  
Amélia Estévez Betancourt

Recepción: 22-10-2019 Aprobación: 07-01-2020



$$\frac{P}{2} + N_2 \cdot \text{Sen}\theta = 0$$

$$A_y = \frac{P}{2}$$

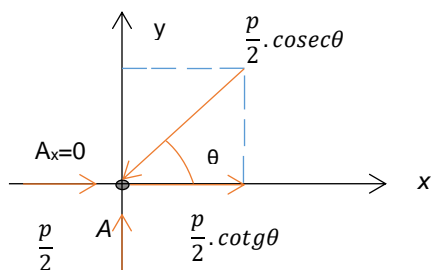
$$N_2 = -\frac{P}{2 \cdot \text{Sen}\theta} \quad (\text{Compressão})$$

Sabendo que em um triângulo rectângulo (ABC), define-se a função inversa das funções trigonométricas, temos  $\text{cosec}\theta = \frac{c}{a} = \frac{1}{\text{sen}\theta}$ , Então,  $N_2 = -\frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\text{Sen}\theta} \rightarrow N_2 = -\frac{P}{2} \cdot \text{cosec}\theta$  (Compressão)

$$\sum F_x = 0$$

$$N_1 + N_2 \cdot \text{cos}\theta = 0$$

$$N_1 = \frac{P}{2} \cdot \frac{\text{cos}\theta}{\text{sen}\theta} \rightarrow N_1 = \frac{P}{2} \cdot \text{cotg}\theta \quad (\text{Tracção})$$



Verificação:

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y - N_2 \cdot \text{Sen}\theta = 0$$

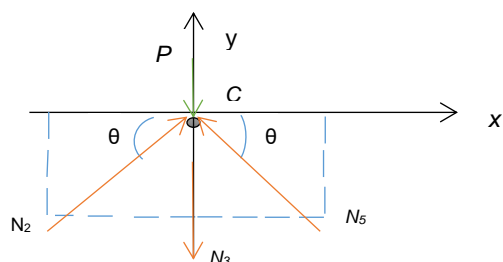
$$\frac{P}{2} - \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\text{sen}\theta} \cdot \text{sen}\theta = 0$$

As forças normais nas barras 4 e 5, podem ser determinadas através da simetria da estrutura e do carregamento aplicado conforme foi determinado nas barras 1 e 2. Isto implica que analisado o nó B,  $N_4 = N_1 = \frac{P}{2} \cdot \text{cotg}\theta$  (Tracção)

$$N_5 = N_2 = -\frac{P}{2} \cdot \text{cosec}\theta \quad (\text{Compressão})$$

Conhecida a força nas barras 1, 2, 4 e 5, o nó que se torna mais simples para os cálculos é o nó C para a determinação do esforço na barra 3.

Equilíbrio dos esforços no Nó C

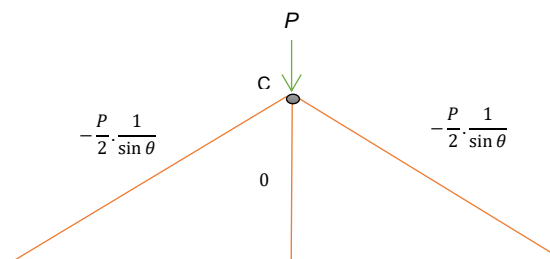


$$\sum F_y = 0$$

$$-N_3 + N_2 \cdot \text{Sen}\theta + N_5 \cdot \text{sen}\theta - P = 0$$

$$N_3 = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\text{sen}\theta} \cdot \text{sen}\theta + \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\text{sen}\theta} \cdot \text{sen}\theta - P$$

$$N_3 = 0$$

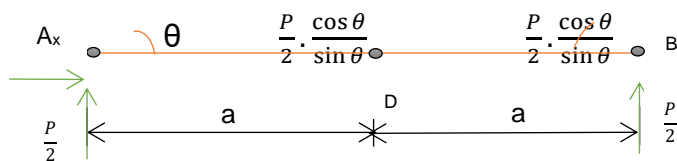


## Proposta de sistema de exercícios para a determinação dos esforços em treliças a partir do método dos nós

António Madaleno S. Luís

Amélia Estévez Betancourt

Recepción: 22-10-2019 Aprobación: 07-01-2020



Resultado dos esforços nas barras da treliça

### Conclusões

Conclui-se assim, que se deve ter em atenção o uso das equações para a determinação da estaticidade global, interior e exterior, uma vez que estas podem permitir tirar conclusões incorrectas sobre a estaticidade de uma treliça. Tal facto deve-se a que um sistema de barras com número de incógnitas, devem estar correctamente distribuídas, obtendo uma configuração estável para a treliça. Assim, ao analisar uma treliça deve ter-se em consideração a sua estaticidade global, interna e externa, não deixando de analisar os apoios externos e a sua distribuição, assim como a lei de formação interna da treliça em questão. Os exercícios propostos permitem sistematizar o conteúdo do tema abordado tendo em conta o método dos nós que permitem determinar os esforços nas barras das treliças e deve verificar-se o seu equilíbrio.

### Referências bibliográficas

- Beer, Ferdinand P.; Johnston, Russell Jr.; Eisenberg, Elliot R.; Clausen, William E. (2016). *Mecânica vectorial para engenheiros - Estática. 5ª Edição Revisada por Francisco Moral*, São Paulo: Pearson Makron Books.
- Beer, Ferdinand P.; Johnston, Russell Jr.; Eisenberg, Elliot R.; Clausen, William E. (2018). *Mecânica vectorial para engenheiros - Estática. 7ª Edição*. McGraw Hill, Rio de Janeiro ISBN 85-86804-45-2.
- Schmidt e Boresi, (2018). *Estática - Parte I*. Sebenta de Resistência de Materiais. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra - Faculdade de Ciências e tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Ghisi, E. (2004). Resistência dos sólidos para estudantes de arquitectura. Folhas de apoio da unidade curricular de Resistência dos sólidos. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Agosto.
- M.; Gomes; Maria I. (2004/2005). Treliças. Sebenta de Mecânica Aplicada. Departamento de engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Gomes; Maria I. (2016). Estudo E Análise De Treliças - Instituto Politécnico De Lisboa, Instituto Superior Engenharia De Lisboa, Departamental De Engenharia Civil. <https://www.researchgate.net/publication/301298120>. Consulta em Maio 2019.