



Documento licenciado em nome de Luciano Barbosa dos Santos com uma Licença [Creative Commons - Atribuição- NãoComercial-Compartilhaval 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

AÇÕES E SEGURANÇA

ECIV059 – ESTRUTURAS DE AÇO

Prof. Luciano Barbosa dos Santos

Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

(04/2026)

1. O MÉTODO DOS ESTADOS-LIMITE



ESTADOS-LIMITE DE UMA ESTRUTURA

Estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção (NBR 8681: 2003).

ESTADOS-LIMITE ÚLTIMOS

Estados que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção (NBR 8681: 2003).

ESTADOS-LIMITE DE SERVIÇO

Os estados-limite de serviço estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização (NBR 8800: 2024).



CRITÉRIO GERAL

E.L.U.

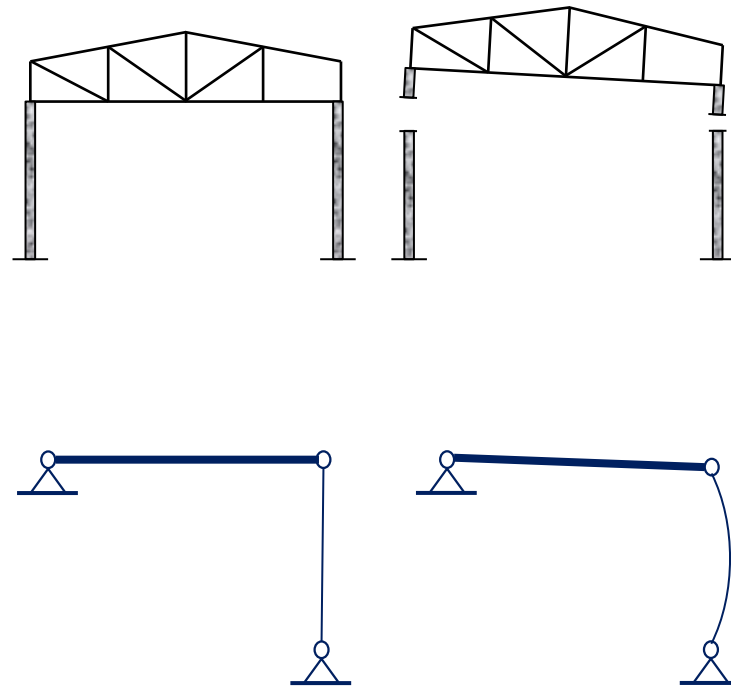
E.L.S.

$$S_d \leq R_d$$

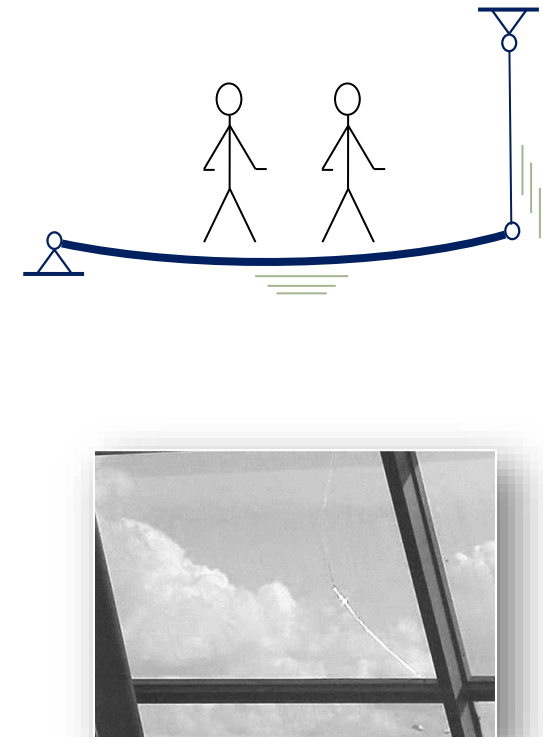
$$\delta_{serv} \leq \Delta_{lim}$$

1. O MÉTODO DOS ESTADOS-LIMITE

Exemplos de Estados-Limite Últimos



Exemplos de Estados-Limite de Serviço



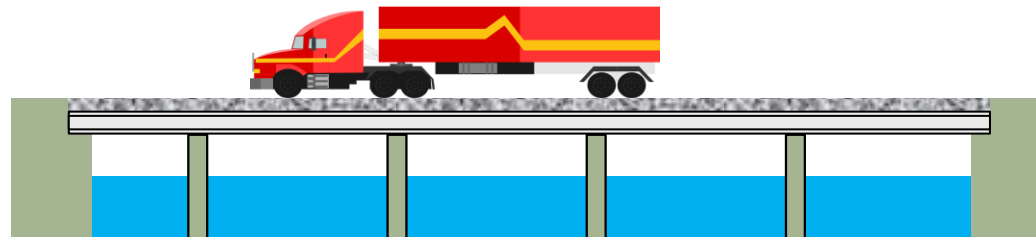
2. VARIÁVEL ALEATÓRIA E DENSIDADE DE PROBABILIDADE



De acordo com TRIOLA (2017):

Uma **variável aleatória** é uma variável que assume um único valor numérico, determinado pelo acaso, para cada resultado de um experimento.

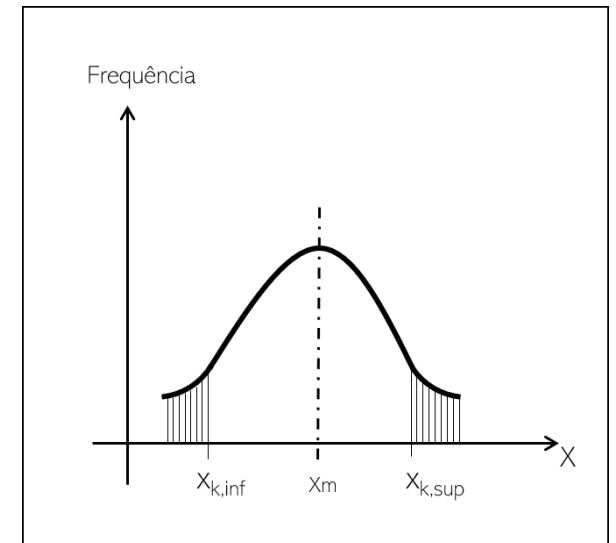
uma **distribuição de probabilidade** é uma descrição que dá a probabilidade para cada valor de uma variável aleatória”.



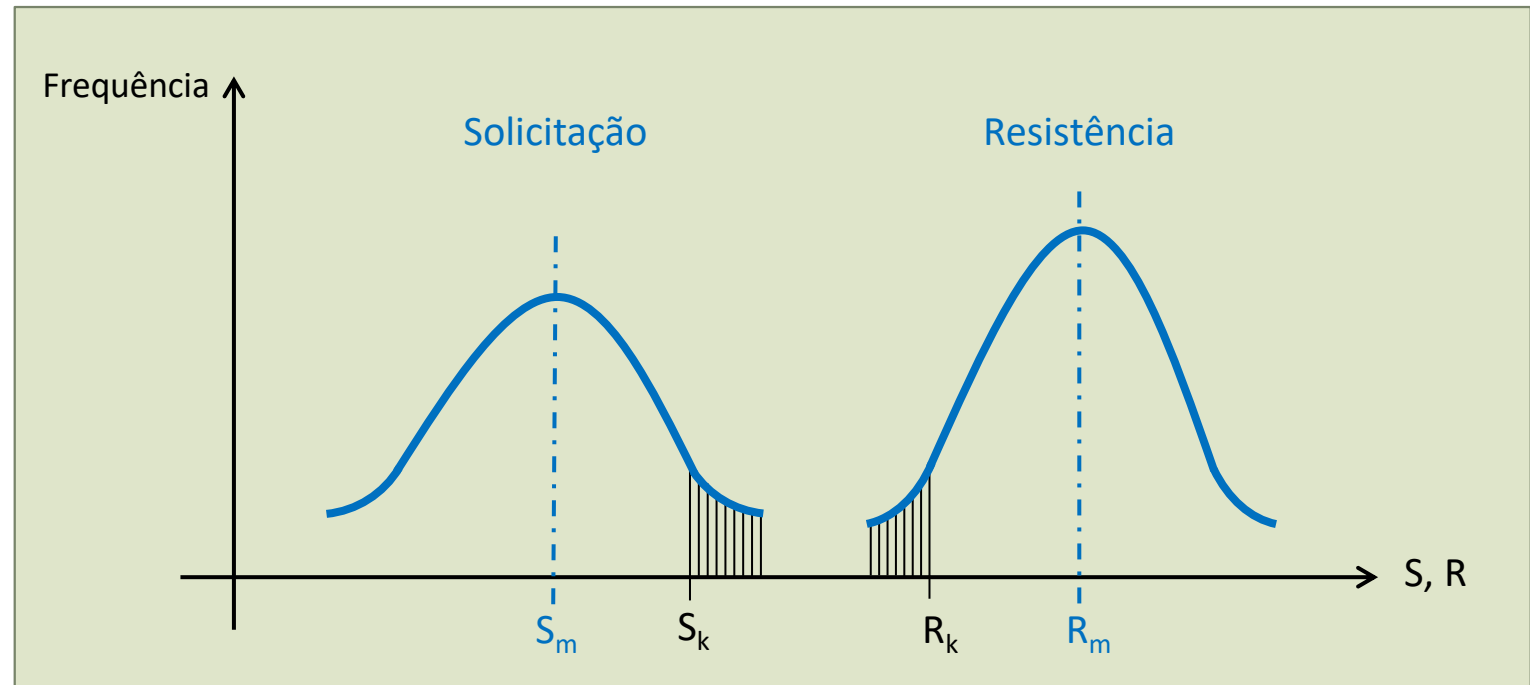
Método dos Estados Limites



Método Semiprobabilístico



3. VALORES CARACTERÍSTICOS INFERIOR E SUPERIOR



$$S_d \leq R_d \quad \therefore \quad \gamma_f \times S_k \leq \frac{R_k}{\gamma_m}$$

4. EFEITO DA APLICAÇÃO DOS FATORES DE PONDERAÇÃO



Mas, com é que
isso funciona na
prática?

Seja a barra em aço mostrada na figura ao lado. Qual deve ser o valor mínimo da área da seção transversal para que ela não colapse por escoamento?



$$P = 50kN$$

$$f_y = 25kN/cm^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A} < f_y$$

Sem fatores de ponderação

$$A > \frac{P}{f_y}$$

$$A > \frac{50}{25}$$

$$A > 2,00cm^2$$

Com fatores de ponderação

$$\gamma_f = 1,40$$

$$\gamma_m = 1,10$$

$$A \geq \frac{1,4 \times P}{f_y/1,1}$$

$$A \geq \frac{1,4 \times 50}{25/1,1}$$

$$A \geq 3,08cm^2$$

5. SITUAÇÕES DE PROJETO



Situação Normal de Projeto

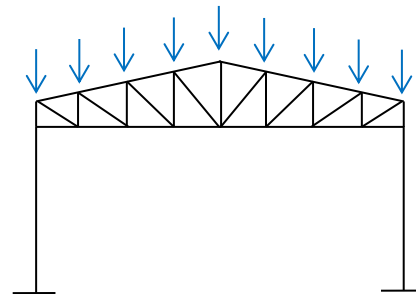
Situação de Construção

Situação Especial

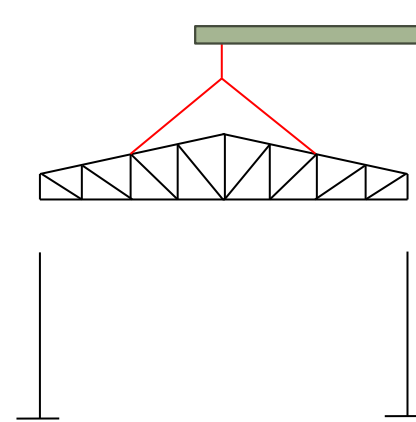
Situação Excepcional



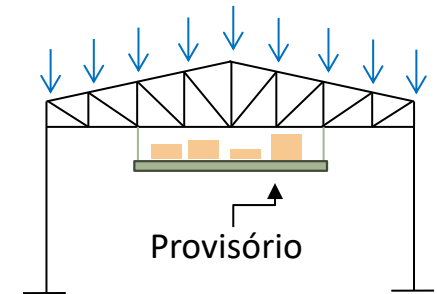
A “filosofia” de cálculo é a mesma, porém os fatores de ponderação considerados em cada caso são diferentes.



Situação Normal



Situação de Construção



Situação Especial

6. COMBINAÇÕES NORMAIS DE PROJETO (VERIFICAÇÃO DE E.L.U.)

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \gamma_{qj} \psi_{oj} F_{Qj,k}$$

Fator de ponderação de ações

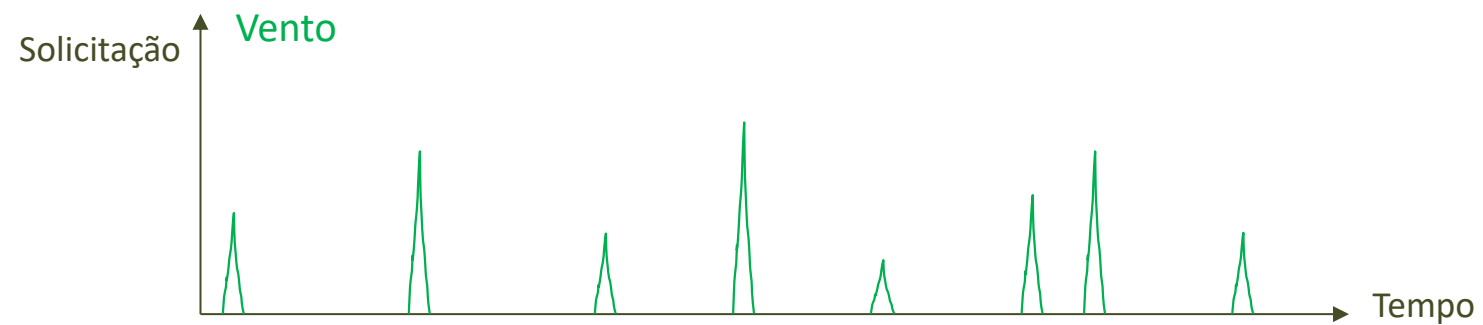
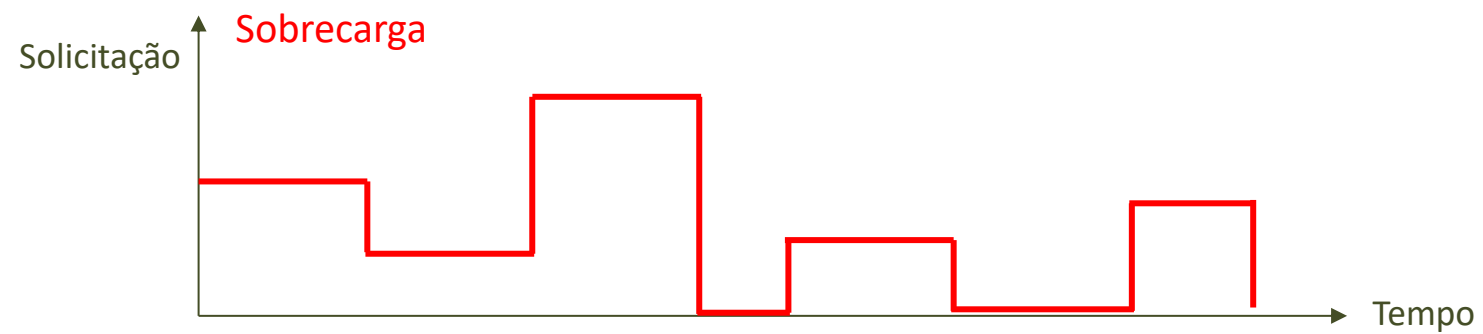
Ação Variável Principal

Fator de combinação de ações

Somatório das Ações Permanentes

Somatório das Ações Variáveis Secundárias

7. COMPORTAMENTO DAS AÇÕES



8. FATORES DE PONDERAÇÃO PARA AÇÕES

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

| Combinações | Ações permanentes (γ_g) ^{a, f} | | | | | | |
|--|---|--|--|--|---|--------------------------------|-------------|
| | Diretas, consideradas separadamente | | | | | Diretas agrupadas ^b | Indiretas |
| | Peso próprio de estruturas de aço e de equipamentos | Peso próprio de estruturas pré-moldadas, de madeira e de elementos construtivos industrializados | Peso próprio de estruturas moldadas <i>in loco</i> e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral | | |
| Normais | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,50 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,20 (0) |
| Especiais ou de construção | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,20 (0) |
| Excepcionais | 1,10 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,15 (1,00) | 0 (0) |
| Combinações | Ações variáveis (γ_q) ^{a, f} | | | | | | |
| | Consideradas separadamente | | | | | Agrupadas ^c | |
| | Efeito da temperatura | | Ação do vento | Ações truncadas ^d | Demais ações variáveis | | |
| Devido à variação térmica da atmosfera | Gerada por equipamentos ^e | | | | | | |
| Normais | 1,20 | 1,50 | 1,40 | 1,20 | 1,50 | 1,50 | |
| Especiais ou de construção | 1,00 | 1,30 | 1,20 | 1,10 | 1,30 | 1,30 | |
| Excepcionais | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |

^a Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não podem ser incluídas nas combinações.

^b As ações permanentes diretas podem ser todas agrupadas com os coeficientes apresentados nesta coluna, em função do tipo de combinação.

^c As ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem ser todas agrupadas com os coeficientes apresentados nesta coluna, em função do tipo de combinação (o efeito da temperatura devido à variação térmica da atmosfera pode ser considerado isoladamente, com seu próprio coeficiente de ponderação).

^d Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a este valor-limite.

^e O efeito da temperatura gerada por equipamentos deve ser considerado ação causada pelo uso e ocupação.

^f No caso de equipamentos (móveis ou fixos) que suportam ou içam cargas, o peso próprio do equipamento deve ser considerado como ação permanente e a carga suportada ou içada, como ação variável.

9. FATORES DE COMBINAÇÃO E DE REDUÇÃO PARA AÇÕES

Tabela 2 – Valores dos fatores de combinação ψ_0 e de redução ψ_1 e ψ_2 para as ações variáveis

| Ações | | $\gamma_{f2}^{a,f}$ | | |
|---|---|---------------------|------------|------------|
| | | ψ_0 | ψ_1^d | ψ_2^e |
| Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação ^g | 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 ^b | 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 ^c | 0,7 | 0,6 | 0,4 |
| | Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas, garagens e coberturas | 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 |
| <p>^a Ver 4.8.5.3-c).</p> <p>^b Edificações residenciais de acesso restrito.</p> <p>^c Edificações industriais, comerciais, de escritórios e de acesso ao público.</p> <p>^d Para estado-limite de fadiga (ver o Anexo H), usar ψ_1 igual a 1,0.</p> <p>^e Para combinações excepcionais em que a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero.</p> <p>^f Para ações truncadas, adotar $\psi_0 = \psi_1 = \psi_2 = 1,0$</p> <p>^g Inclui o efeito da temperatura gerado por equipamentos</p> | | | | |

10. CUIDADOS IMPORTANTES AO SE COMBINAR AS AÇÕES



AÇÕES PERMANENTES

Sempre são consideradas nas combinações. Se tiverem o mesmo sinal da AVP são desfavoráveis à segurança, se tiverem sinal contrário é favorável à segurança.

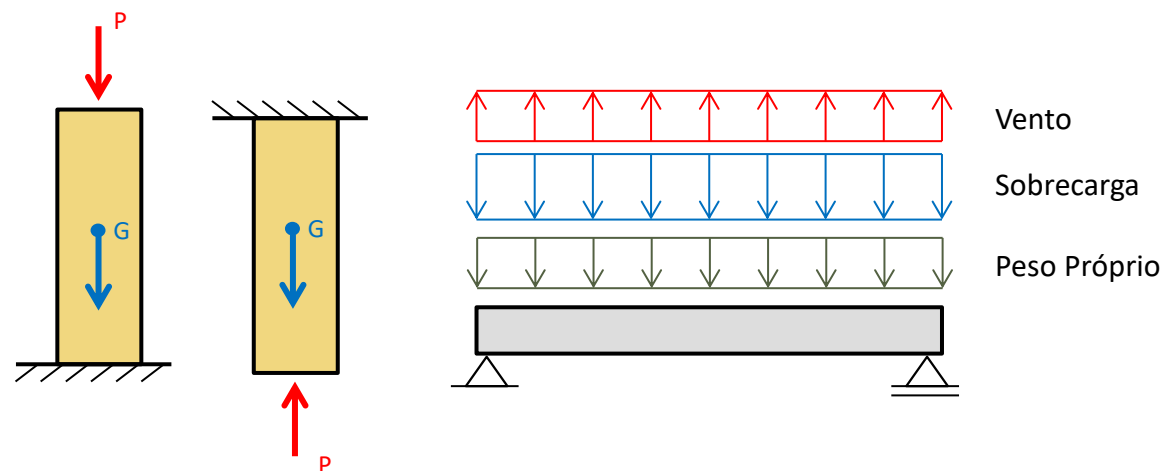
AÇÕES VARIÁVEIS

Só devem ser consideradas se forem desfavoráveis à segurança. Em uma mesma combinação, devem ter sempre o mesmo sinal.

FATORES DE COMBINAÇÃO (ψ)

Atenção às ações decorrentes do uso e ocupação da estrutura.

Exemplo de ações permanentes favoráveis e desfavoráveis à segurança



11. COMBINAÇÕES DE SERVIÇO (VERIFICAÇÃO DE E.L.S.)

**Combinações Quase
Permanentes**

Verificação de situações de
longa duração

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$$

**Combinações
Frequentes**

São utilizadas para os
estados-limites reversíveis

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$$

**Combinações
Raras**

São utilizadas para os
estados-limites irreversíveis

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$$

12. VERIFICAÇÃO DE DESLOCAMENTO MÁXIMOS

| DESLOCAMENTOS MÁXIMOS DE ACORDO COM A NBR 8800 | δ^a |
|---|---|
| Travessas de fechamento | L/180 ^b L/120 ^{cd} |
| Terças de cobertura | L/180 ^e L/120 ^f |
| Vigas de cobertura | L/250 |
| Vigas de piso | L/350 |
| Vigas que suportam pilares | L/500 |
| Galpões em geral e edifícios de um pavimento | |
| – Deslocamento horizontal no topo dos pilares em relação à base | H/300 |
| – Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base | H/400 |
| Edifícios de dois ou mais pavimentos | |
| – Deslocamento horizontal no topo dos pilares em relação à base | H/400 |
| – Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos | h/500 |

- (a) L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar);
- (b) Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso eles existam);
- (c) Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento;
- (d) Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico;
- (e) Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente.
- (f) Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico.

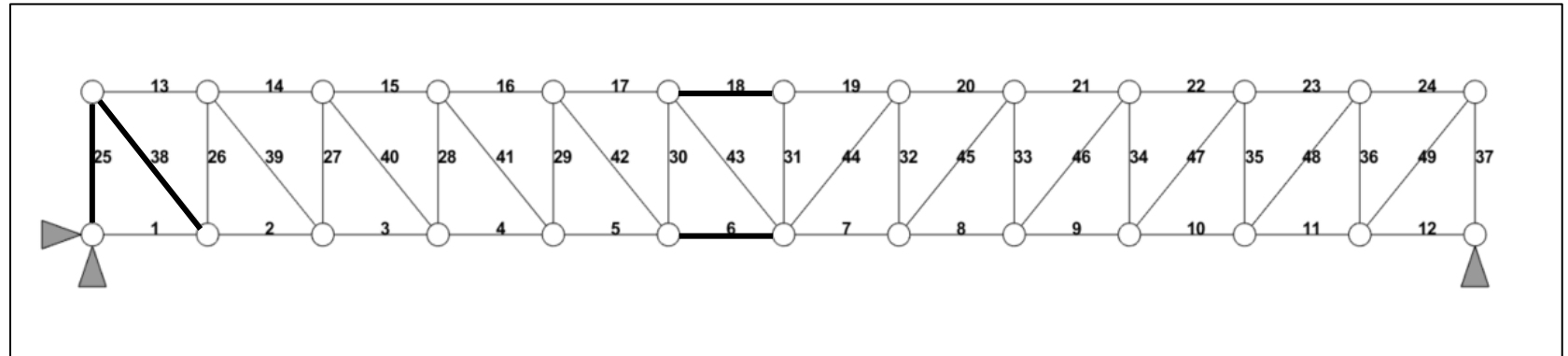
13. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

EXERCÍCIO 1

Para a treliça de cobertura indicada na figura abaixo, determine a envoltória de esforços de projeto para as barras 6, 18, 25 e 38. As ações atuantes são: peso próprio da estrutura (G_0), peso próprio de telha termoacústica (G_1), ação variável vertical (Q), vento 1 (W_1), vento 2 (W_2), vento 3 (W_3) e equipamento (P). Os esforços nominais provocados por estas ações em cada uma dessas barras estão indicados na tabela ao lado.

| AÇÃO | BARRA 6 | BARRA 18 | BARRA 25 | BARRA 38 |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| G_0 | +6,40 kN | -6,70 kN | -2,70 kN | +2,90 kN |
| G_1 | +5,10 kN | -5,40 kN | -2,20 kN | +2,30 kN |
| Q | +10,60 kN | -11,20 kN | -4,50 kN | +4,90 kN |
| W_1 | -25,50 kN | +27,00 kN | +10,80 kN | -11,70 kN |
| W_2 | -17,00 kN | +18,00 kN | +7,20 kN | -7,80 kN |
| W_3 | +4,20 kN | -4,50 kN | -1,80 kN | +2,00 kN |
| P | +62,50 kN | -75,00 kN | -15,00 kN | +19,50 kN |

Legenda: (+) Tração / (-) Compressão.



13. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

EXERCÍCIO 2

Determine o esforço máximo de projeto no banzo superior da treliça mostrada na figura ao lado. As ações atuantes são:

$G_0 = 0,15\text{kN/m}^2$ (Peso próprio da estrutura de aço)

$G_1 = 0,12\text{kN/m}^2$ (Peso próprio de telha termoacústica)

$Q = 0,25\text{kN/m}^2$ (Ação variável vertical no telhado)

$W_1 = -0,60\text{kN/m}^2$ (Vento de sucção)

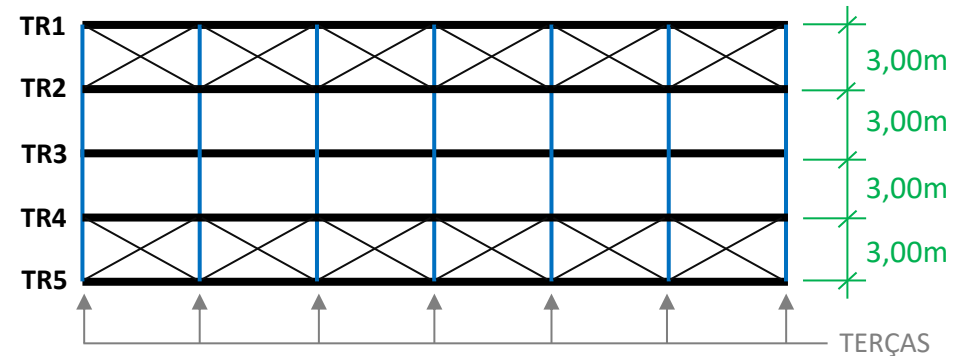
$W_2 = -0,40\text{kN/m}^2$ (Vento de sucção)

$W_3 = 0,10\text{kN/m}^2$ (Vento de pressão)

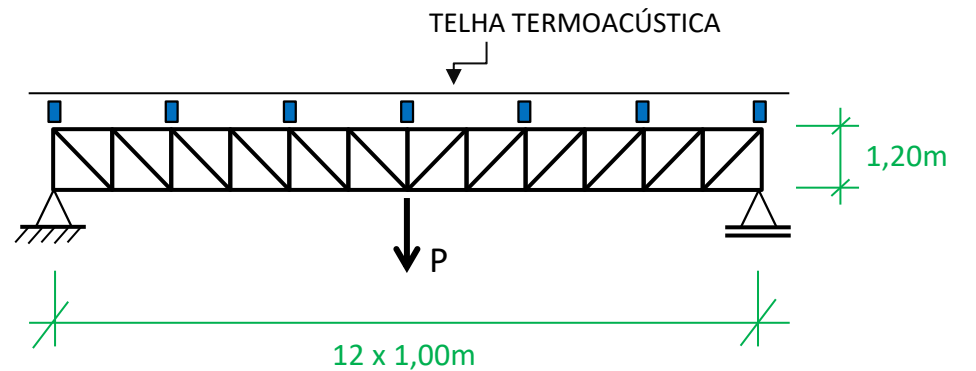
$P = 30\text{kN}$ (Equipamento)

Admita que a inclinação do telhado é bastante pequena e pode ser desprezada.

VISTA SUPERIOR



VISTA PRINCIPAL

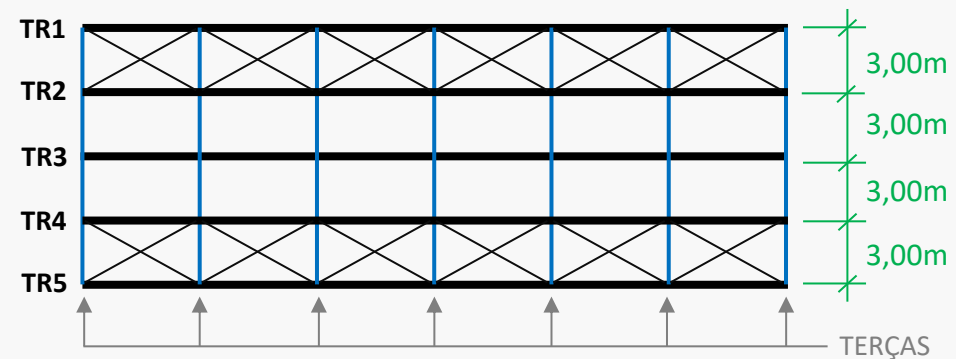


13. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

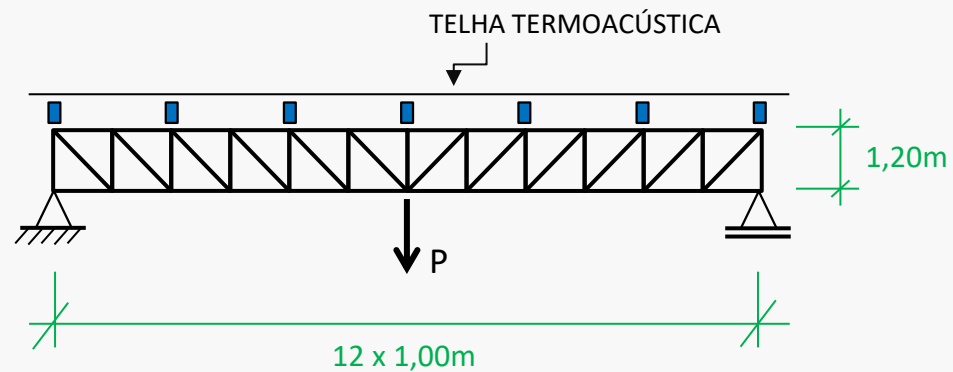
EXERCÍCIO 3

Para as terças da estrutura do exercício anterior, determine os momentos fletores de projeto e os deslocamentos máximos. A inclinação do telhado pode ser desprezada. Adote perfil U 3" x 6,1 kg/m fletido em relação ao eixo de maior inércia. As ações atuantes são as mesmas.

VISTA SUPERIOR



VISTA PRINCIPAL



14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8681:2023 – Ações e segurança nas estruturas – procedimento**. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto**. Rio de Janeiro, RJ.

TRIOLA, M. (2024). **Introdução à estatística**. LTC Editora, 14ed.