



CURSO DE DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM TIPO PORTA PALLETS

**Cargas e combinações de
Cargas**

Ações e Combinações de Ações

Ações Permanentes

- ☒ Peso próprio da estrutura
- ☒ Peso próprio de Grades e fechamentos
- ☒ Peso de tubulações e utilidades que venham a se apoiar na estrutura

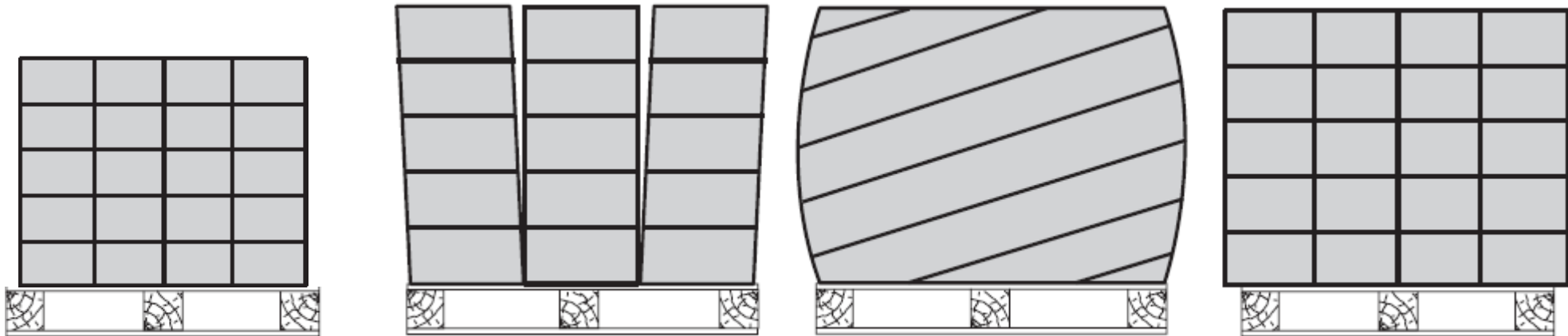
Ações Variáveis

- ☒ Peso das unidades de carga
- ☒ Carga Vertical de posicionamento
- ☒ Carga horizontal de posicionamento
- ☒ Ações de imperfeições (montante, contraventamento, Excentricidades, etc)
- ☒ Cargas de impacto e acidentais
- ☒ Cargas de Vento

Ações e Combinações de Ações

Unidades de Carga

item de armazenagem individual que pode ser colocado ou retirado de uma estrutura em apenas uma operação



Carga Unitizada
sem saliências
laterais

Carga não unitizada
(não
"strechada"/"filmada")

Carga unitizada com
saliências laterais

Carga unitizada com
saliências laterais

O peso nominal de uma unidade de carga é definido pelo especificador.

Para análise de peças individuais é usado 100% da carga nominal

Para análise global esse valor é ajustado, podendo chegar a 80% da carga nominal

Cargas de posicionamento

Vertical

Colocação com empilhadeiras

$$F_{Q_{pv}} = 0,25 \cdot F_{Q_{uc}}$$

Colocação manual

$$F_{Q_{pv}} = F_{Q_{uc}}$$

Aplica-se no dimensionamento das longarinas e ligações de extremidade, na posição mais desfavorável ao Momento fletor e esforço cortante. Não se aplica para ELS

$$F_{Q_{uc}} = \text{Unidade de carga máxima}$$

Horizontal

Colocação com empilhadeiras e equipamentos

Estruturas até 3m de altura: $F_{Q_{ph}} = 0,50 \cdot kN$ Posição mais desfavorável

Estruturas entre 3m e 6m: $F_{Q_{ph}} = \text{interpolare entre 6m e 3m}$
 $F_{Q_{ph}} = 0,50 \cdot kN \text{ a } 3m$ Topo

Pior caso

Estruturas acima de 6m $F_{Q_{ph}} = 0,25 \cdot kN$ Topo da estrutura
 $F_{Q_{ph}} = 0,50 \cdot kN \text{ a } 3m$

Pior caso

Colocação manual

$$F_{Q_{ph}} = 0,25 \cdot kN \text{ no ponto mais desfavorável}$$

Aplica-se na direção do corredor e direção das montantes, de forma independente e não simultânea

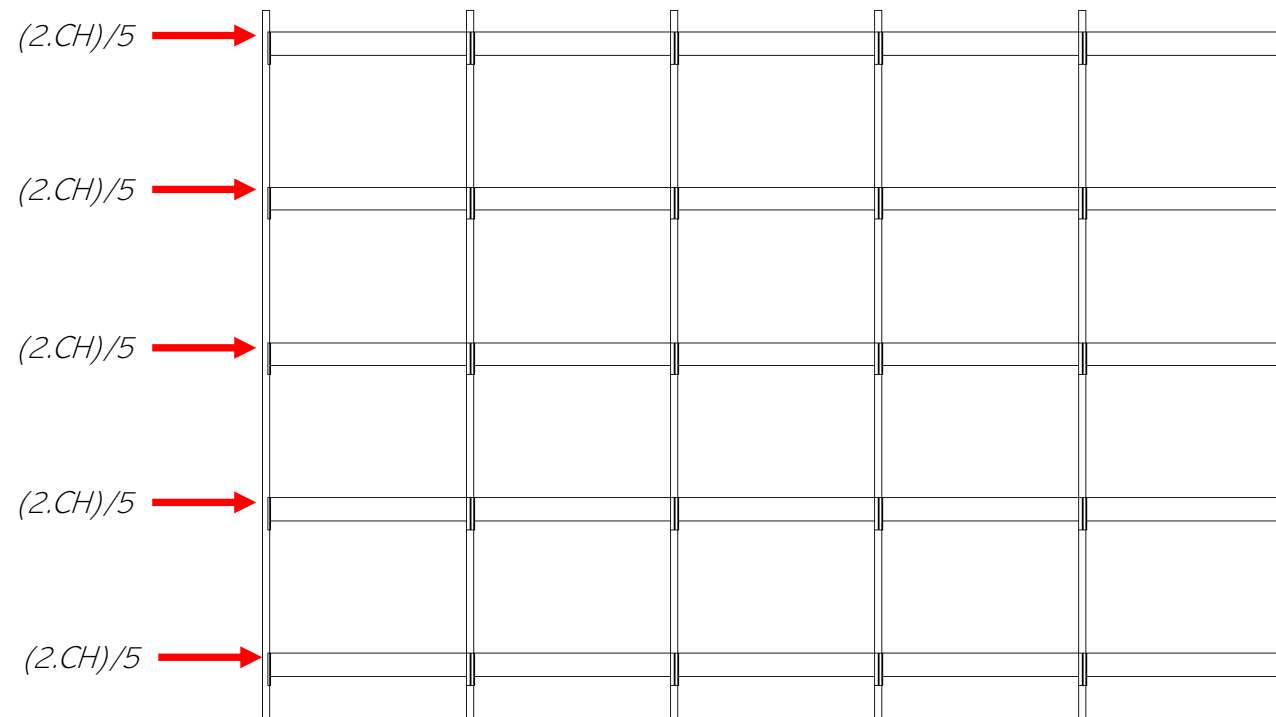
Para longarinas: $F_h = 0,5 \cdot F_{Q_{ph}}$, na posição mais desfavorável

Cargas de posicionamento

6.6.2.3.2 Aplicação da carga de colocação horizontal na direção paralela ao corredor

Na direção do corredor, a carga de colocação horizontal surge só nos níveis da longarina e provoca um aumento do deslocamento na direção do corredor, causado por imperfeições nos montantes.

Para facilitar a análise destes carregamentos, é permitido substituir a carga concentrada C_{hc} por uma carga total de $2 \cdot C_{hc}$ distribuída uniformemente em cima de todos os níveis de longarina.



Cargas de posicionamento horizontal devido a múltiplos transelevadores

F_{Qh} definida pelo fabricante, porém com valor mínimo de 0,25 kN

Tabela 3 – Total de ações horizontais ao nível do trilho-guia	
Número de transelevadores	$F_{Qh,t}$
1 ou 2	ΣF_{Qh}
3	$0,85 \Sigma F_{Qh}$
4	$0,70 \Sigma F_{Qh}$
≥ 5	$3 F_{Qh}$
Legenda	
F_{Qh} valor da ação lateral máxima especificada pelo transelevador	
$F_{Qh,t}$ soma reduzida (Σ) das forças F_{Qh} que atuam no trilho-guia superior do transelevador, que está ligada a um membro que une todas as colunas dos montantes, conforme a Figura 12	

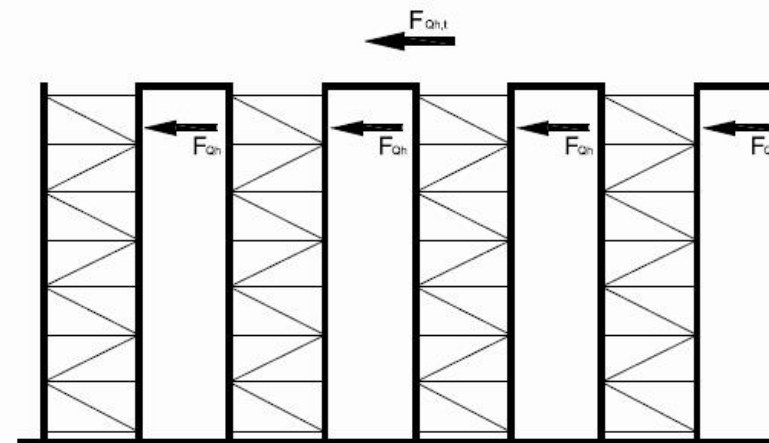


Figura 12 – Cargas horizontais de transelevadores com guias

2 – Normas Utilizadas

~~✗~~ ABNT NBR 15.524/07 – PARTE 1 – CANCELADA

~~✗~~ ABNT NBR 15.524/07 – PARTE 2 – CANCELADA

☒ ABNT NBR 17.150/2024 - **Parte 1: Requisitos para projeto estrutural**

☒ ABNT NBR 17.150/2024 - **Parte 2: Tolerâncias, deformações e folgas para projetos**

☒ ABNT NBR14.762/10 – Dimensionamento de Perfis Formados a Frio

☒ EN 15629- Steel static storage systems - Specification of storage equipment.

Ações acidentais devido a impactos

Vertical

Colocação com empilhadeiras operadas manualmente

$$F_{Qav} = 5 \text{ kN} \quad \textit{Ascendente}$$

Com transelevadores (equipamentos automáticos)

$$F_{Qav} = 0,5 \cdot F_{Quc} \quad 0,25\text{kN} \leq F_{Qav} \leq 5\text{kN}$$

$$F_{Quc} = \textit{Unidade de carga máxima}$$

Horizontal

Colocação com empilhadeiras ou equipamentos não guiados

Na altura de 0,4m, na direção da montante: $F_{Qah} = 2,5 \cdot \text{kN}$

Na altura de 0,4m, na direção do corredor: $F_{Qah} = 1,25 \cdot \text{kN}$

} Não simultâneas

Colocação com transelevadores ou equipamentos guiados

Na altura de 0,4m, na direção do corredor: $F_{Qah} = 0,50 \cdot \text{kN}$

Combinações de Ações (Estados Limites Últimos)

a) Apenas para as cargas variáveis mais desfavoráveis:

$$\sum \gamma_g \cdot C_p + \gamma_q \cdot C_V$$

b) Para ações variáveis desfavoráveis que possam ocorrer simultaneamente:

$$\sum \gamma_g \cdot C_p + \sum 0,9 \cdot \gamma_q \cdot C_V$$

c) Para cargas acidentais

$$\sum \gamma_{ga} \cdot C_p + \sum \gamma_{qa} \cdot C_V + \gamma_a \cdot C_A$$

$C_p = \text{Carga permanente}$

$C_V = \text{Carga Variável}$

$C_A = \text{Carga Acidental}$

Tabela 4 – Coeficientes de ponderação de carga γ_f

Ações	Estado-limite último	Estado-limite de serviço
Cargas permanentes γ_g		
— com efeito desfavorável	1,25	1,0
— com efeito favorável	1,0	1,0
Cargas variáveis γ_q		
Unidades de carga	1,4	1,0
Unidades de carga em sistemas operados por transelevadores	1,4 ou 1,3 ^a	1,0
Cargas de posicionamento	1,4	1,0
Outras cargas variáveis	1,5	1,0
Cargas acidentais		
γ_a	1,0	
γ_{ga}	1,0	
γ_{qa}	1,0	
^a Aplicável a um sistema de armazenagem operado por transelevador que inclua a pesagem de todas as unidades de carga e a rejeição de todas aquelas que estejam pesando mais do que a carga de cálculo. Neste caso, o fator de carga pode ser reduzido de 1,4 para 1,3.		
NOTA A incerteza estatística quanto à magnitude do peso das unidades de carga é consideravelmente menor do que a das ações variáveis convencionais na construção civil (vento, neve, carga de piso etc.). Além disso, o usuário exerce um alto nível de controle no funcionamento do sistema. Consequentemente, as unidades de carga têm um coeficiente de ponderação de carga entre o determinado para as cargas variáveis e o estabelecido para as ações permanentes. A principal incerteza no desempenho relacionado à carga de um porta-paletes está na interação com o equipamento de carregamento. Considera-se que estes efeitos são incorporados nas cargas acidentais e nas cargas de posicionamento que refletem o resultado provável de boas práticas (ver 6.3).		

Combinações de Ações (Estados Limites de Serviço)

a) Apenas para as cargas variáveis mais desfavoráveis:

$$\sum \gamma_g \cdot C_p + \gamma_q \cdot C_V$$

b) Para ações variáveis desfavoráveis que possam ocorrer simultaneamente:

$$\sum \gamma_g \cdot C_p + \sum 0,9 \cdot \gamma_q \cdot C_V$$

C_p = Carga permanente

C_V = Carga Variável

C_A = Carga Acidental

Tabela 4 – Coeficientes de ponderação de carga γ_f

Ações	Estado-limite último	Estado-limite de serviço
Cargas permanentes γ_g — com efeito desfavorável — com efeito favorável	1,25 1,0	1,0 1,0
Cargas variáveis γ_q Unidades de carga Unidades de carga em sistemas operados por transelevadores Cargas de posicionamento Outras cargas variáveis	1,4 1,4 ou 1,3 ^a 1,4 1,5	1,0 1,0 1,0 1,0
Cargas acidentais γ_a γ_{ga} γ_{qa}	1,0 1,0 1,0	
^a Aplicável a um sistema de armazenagem operado por transelevador que inclua a pesagem de todas as unidades de carga e a rejeição de todas aquelas que estejam pesando mais do que a carga de cálculo. Neste caso, o fator de carga pode ser reduzido de 1,4 para 1,3.		
NOTA A incerteza estatística quanto à magnitude do peso das unidades de carga é consideravelmente menor do que a das ações variáveis convencionais na construção civil (vento, neve, carga de piso etc.). Além disso, o usuário exerce um alto nível de controle no funcionamento do sistema. Consequentemente, as unidades de carga têm um coeficiente de ponderação de carga entre o determinado para as cargas variáveis e o estabelecido para as ações permanentes. A principal incerteza no desempenho relacionado à carga de um porta-paletes está na interação com o equipamento de carregamento. Considera-se que estes efeitos são incorporados nas cargas acidentais e nas cargas de posicionamento que refletem o resultado provável de boas práticas (ver 6.3).		

Coeficientes de ponderação do material

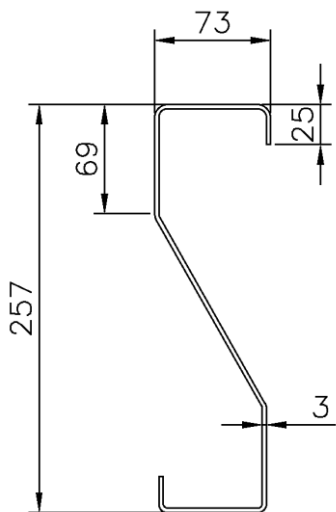
Tabela 5 – Coeficientes de ponderação de material γ_M

Resistência	Estado-Limite Último	Estado-Limite de Serviço
	RC2 ^a	
Resistência das seções transversais seja qual for a classe γ_{M0}	1,1 ^b	1,0
Resistência do membro à instabilidade avaliada pela verificação do membro γ_{M1}	1,1	1,0
Resistência das ligações γ_{M2}	1,25	1,0
Resistência das ligações sujeitas a testes e controle de qualidade (por exemplo, conectores da extremidade da longarina, ver o Anexo H) γ_{M2}	1,1	1,0
^a Esses fatores são baseados na classe de confiabilidade 2 (RC2). Outras classes de confiabilidade podem ser usadas se apropriado, ver EN 1990.		
^b O coeficiente de ponderação de material γ_{M0} pode ser diferente do indicado na Tabela 5, sendo tomado como 1,0 para o estado limite último (ELU) mediante certificado de qualidade da matéria-prima utilizada (aço), conforme ABNT NBR 14762:2010, 4.1.1, e submissão aos ensaios para validação das propriedades mecânicas no recebimento, conforme ABNT NBR 11888:2015 Versão Corrigida:2018, 7.2.3 e ABNT NBR ISO 6892-1.		

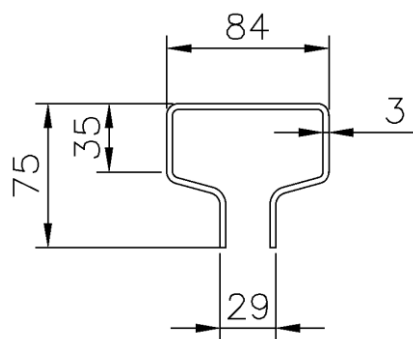
Exemplo 1: Determinar as ações e combinações de ações para ELU e ELS da estrutura porta paletes, considerando os dados abaixo

Peso máximo de uma unidade de carga: 1000 kg (10kN)

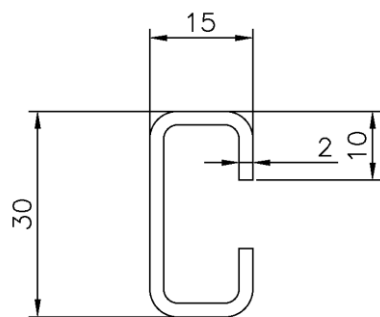
Operação com empilhadeira à combustão
Unidades de carga em paletes PBR 1000X1200



Longarina Seção Z enrijecido
 $A = 11,95 \text{ cm}^2$

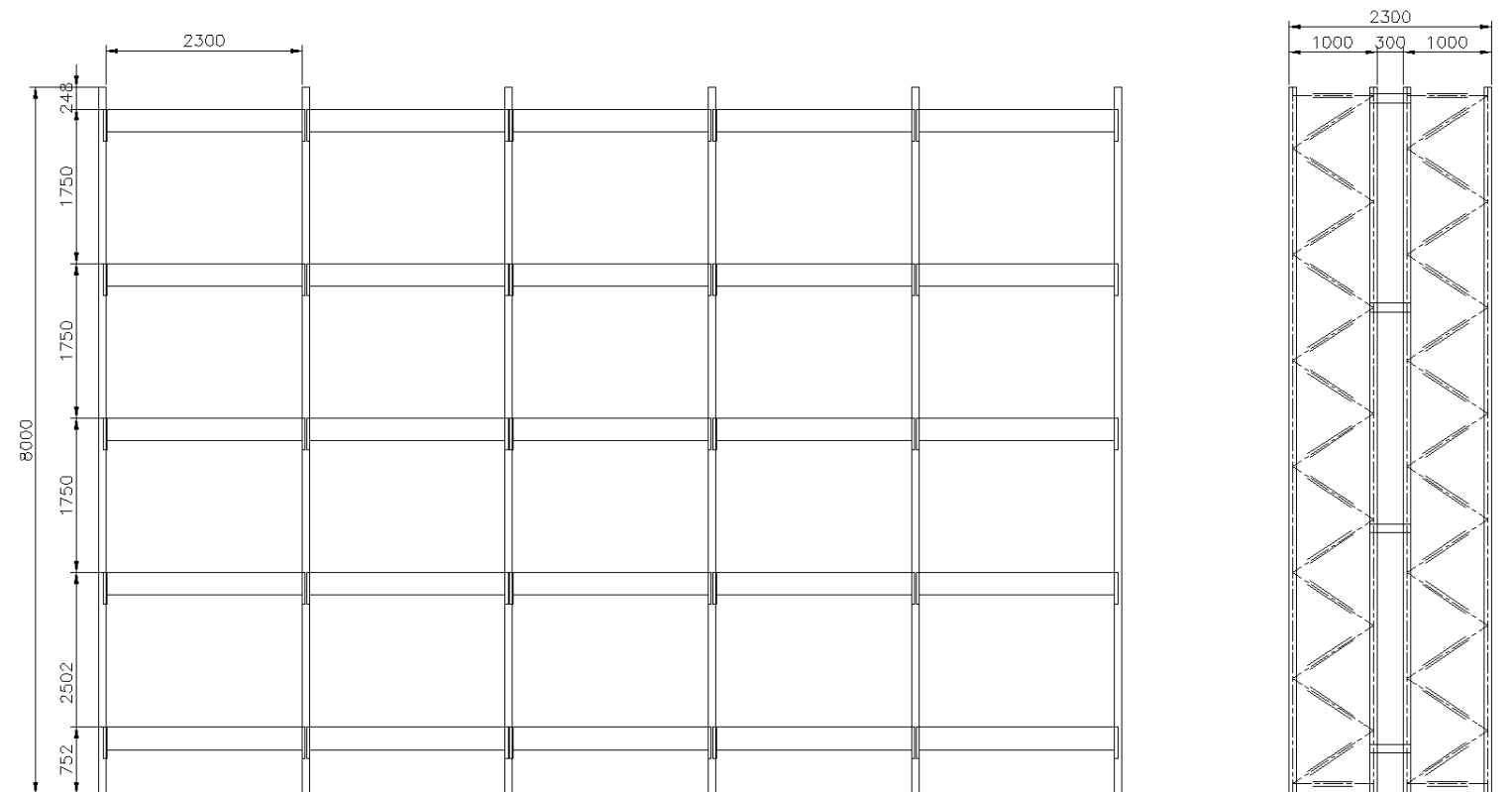


Coluna da montante seção Rack
 $A = 7,79 \text{ cm}^2$

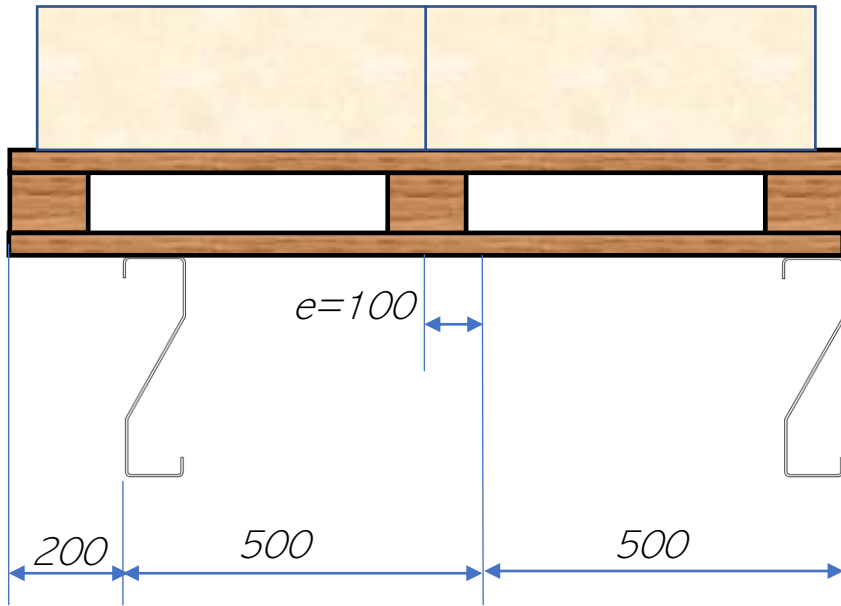


Diagonais da montante
 $A = 1,34 \text{ cm}^2$

L-TOTAL = 16,10m por montante



Efeitos da Excentricidade no posicionamento



Número de unidades de carga por par de longarinas: $2300/1000 = 2,3$ – Arredonda-se para baixo: 2 unidades de carga

$$P = 2 \cdot 10 \cdot \left(\frac{600}{1200} \right) = 10 \text{ kN} \rightarrow \text{Carga total na longarina caso a carga fosse colocada simetricamente}$$

$$P_e = 2 \cdot 10 \cdot \left(\frac{700}{1200} \right) = 11,67 \text{ kN} \rightarrow \text{Carga total na longarina considerando a imprecisão de posicionamento}$$

Se $\rho < 1,12$ então $\eta = 1,0$

Se $1,12 \leq \rho \leq 1,24$ então $\eta = 2 \cdot \rho - 1,24$

Se $\rho > 1,24$ então $\eta = \rho$

$$\rho = \frac{P_e}{P} = \frac{11,67}{10} = 1,167 > \text{Maior que } 1,12, \text{ menor que } 1,24$$

$$\eta = 2 \cdot 1,167 - 1,24 = 1,094$$

$$P' = \eta \cdot P \quad P' = 1,094 \cdot 10 = 10,94 \text{ kN}$$

$$q = \frac{P}{L} = \frac{10}{2,30} = 4,34 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Carga Uniformemente distribuída sem excentricidade}$$

$$q = \frac{P}{L} = \frac{10,94}{2,30} = 4,75 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Carga Uniformemente distribuída com excentricidade}$$

Exemplo 1

Carregamento nas longarinas:

Peso próprio da Longarina:

$$PP = 0,7850 \times A$$

$$PP = 0,7850 \times 11,95 = 9,38 \text{ kg/m (0,094 kN/m)}$$

Combinações para E.L.S

$$\sum \gamma_g \cdot C_p + \gamma_q \cdot C_V$$

$$0,0938 + 4,34 = 4,44 \text{ kN/m} \quad \text{Sem excentricidade}$$

Combinações para E.L.U

Para cargas de uso (ELU 1)

$$\sum \gamma_g \cdot C_p + \gamma_q \cdot C_V$$

$$1,25 \cdot 0,0938 + 1,4 \cdot 4,34 = 6,11 \text{ kN/m} \quad \text{Sem Excentricidade}$$

$$1,25 \cdot 0,0938 + 1,4 \cdot 4,75 = 6,77 \text{ kN/m} \quad \text{Com excentricidade}$$

Para cargas de uso + Carga Vertical de Posicionamento (ELU 2)

$$\sum \gamma_g \cdot C_p + \sum 0,9 \cdot \gamma_q \cdot C_V$$

$$1,25 \cdot 0,0938 + 0,9 \cdot (1,4 \cdot 4,34) = 5,59 \text{ kN/m}$$

Pontual

$$+ 0,9 \cdot 1,4 \cdot 0,25 \cdot \frac{10}{2} = 1,56 \text{ kN}$$

Para cargas acidentais (ELU 3)

$$\sum \gamma_{ga} \cdot C_p + \sum \gamma_{qa} \cdot C_V + \gamma_a \cdot C_A$$

$$1,00 \cdot 0,0938 = 0,0938 \text{ kN/m}$$

Pontual Ascendente

$$- 1,00 \cdot 5,00 = -5,00 \text{ kN}$$

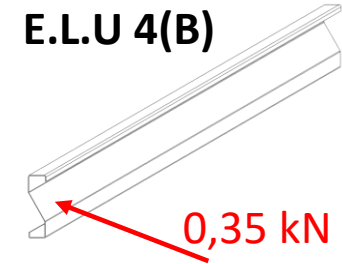
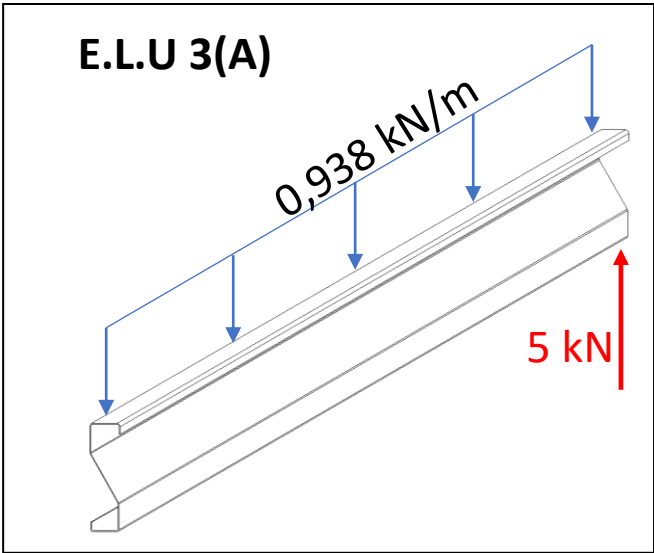
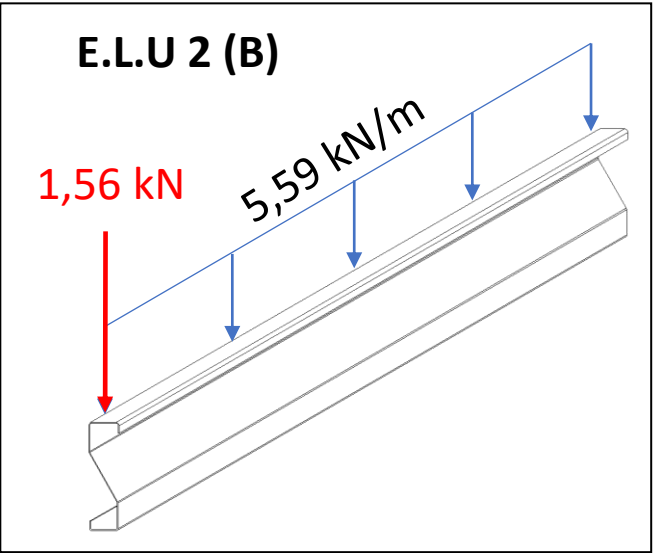
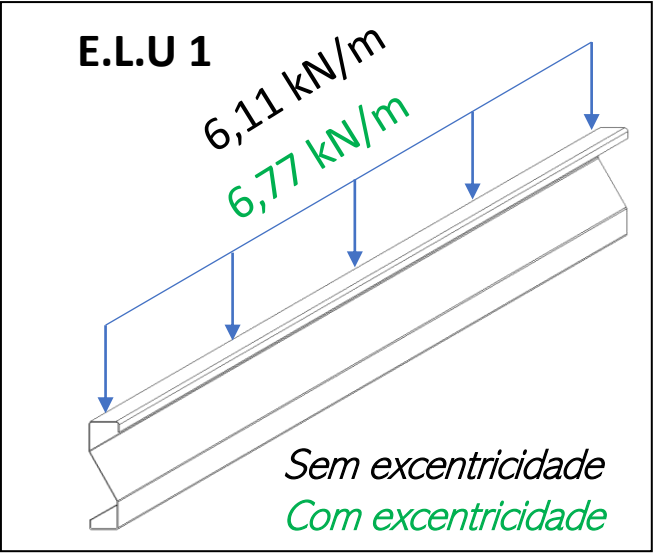
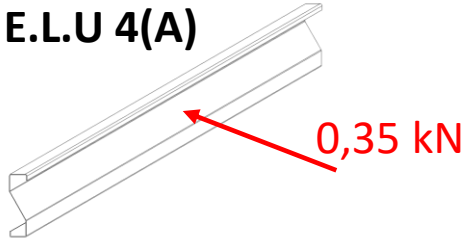
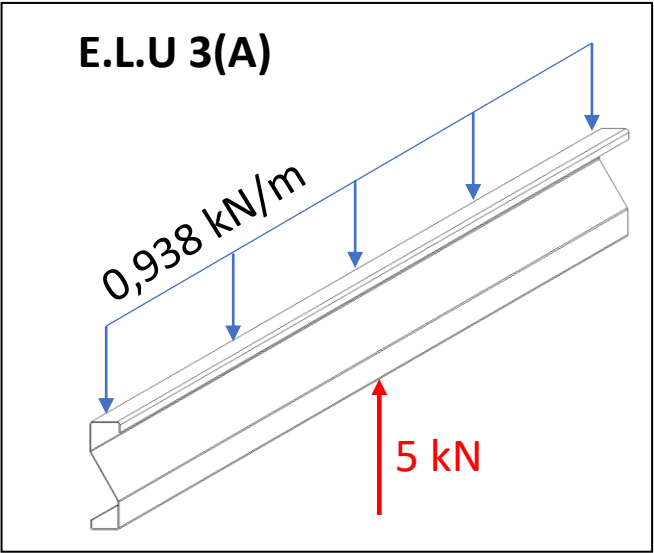
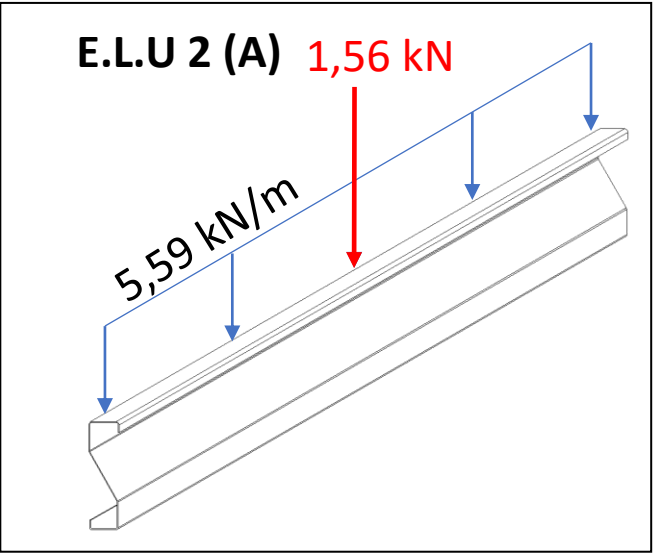
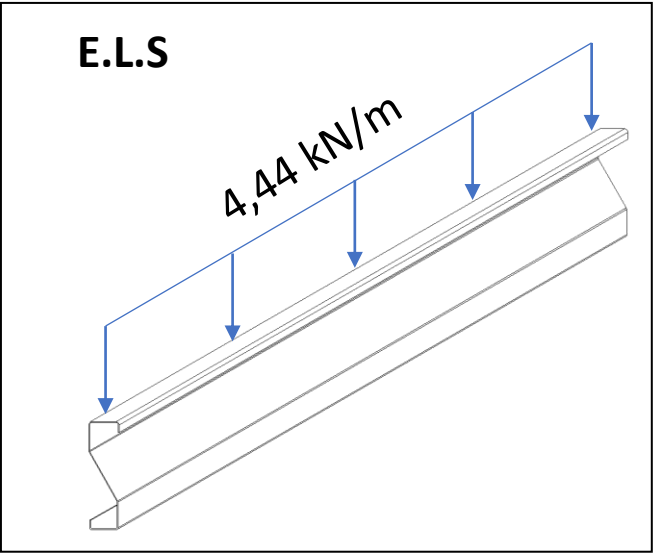
Carga Horizontal de Posicionamento (ELU 4)

$$F_{Q_{ph}} = 0,50 \text{ kN}$$

$$F_h = 1,40 \cdot 0,50 \cdot 0,50 \text{ kN} = 0,35 \text{ kN}$$

Exemplo 1

Carregamento nas longarinas:



*A carga com excentricidade será usada para dimensionamento das longarinas e conectores

Exemplo 1

Carregamentos nas montantes:

Cargas Verticais

Peso próprio da Coluna:

$$PPC = 0,7850 \times A$$

$$PPC = 0,7850 \times 7,79 = 6,11 \text{ kg/m}$$

$$\text{Carga total por coluna: } 6,11 \times 8 \sim 49\text{kg} \text{ (0,49 kN)}$$

Peso próprio das diagonais:

$$PPD = 0,7850 \times 1,34 = 1,05 \times 16,10 \sim 17\text{kg} \text{ (0,17 kN)}$$

Peso próprio total por coluna

$$PP = 0,49 + 0,17/2 = 0,58 \times 1,25 = \underline{0,72 \text{ kN}}$$

Por simplificação essa carga será aplicada toda no topo da coluna, mas poderia ser dividida entre os níveis de longarinas

Combinações para E.L.U

Vertical (Sentido positivo para baixo)

Para cargas de uso (ELU 1)

$$P_1 = 6,11 \cdot 2,30 = 14,05 \text{ kN}$$

Para cargas de uso + ~~Carga Vertical de Posicionamento~~ (ELU 2)

$$P_2 = 5,59 \cdot 2,30 = 12,86 \text{ kN}$$

Cargas verticais de posicionamento não se aplicam às montantes

Para cargas acidentais (ELU 3)

$$P_3 = (0,0938 + 4,34) \cdot 2,3 = 12,14 \text{ kN}$$

Horizontal

Cargas horizontais de Posicionamento (ELU 2)

$$P_{2H} = 0,9 \cdot 1,40 \cdot 0,1 \cdot 10 = 1,40 \text{ kN} \text{ Aplicada no topo da montante}$$

Cargas horizontais de Posicionamento (ELU 5)

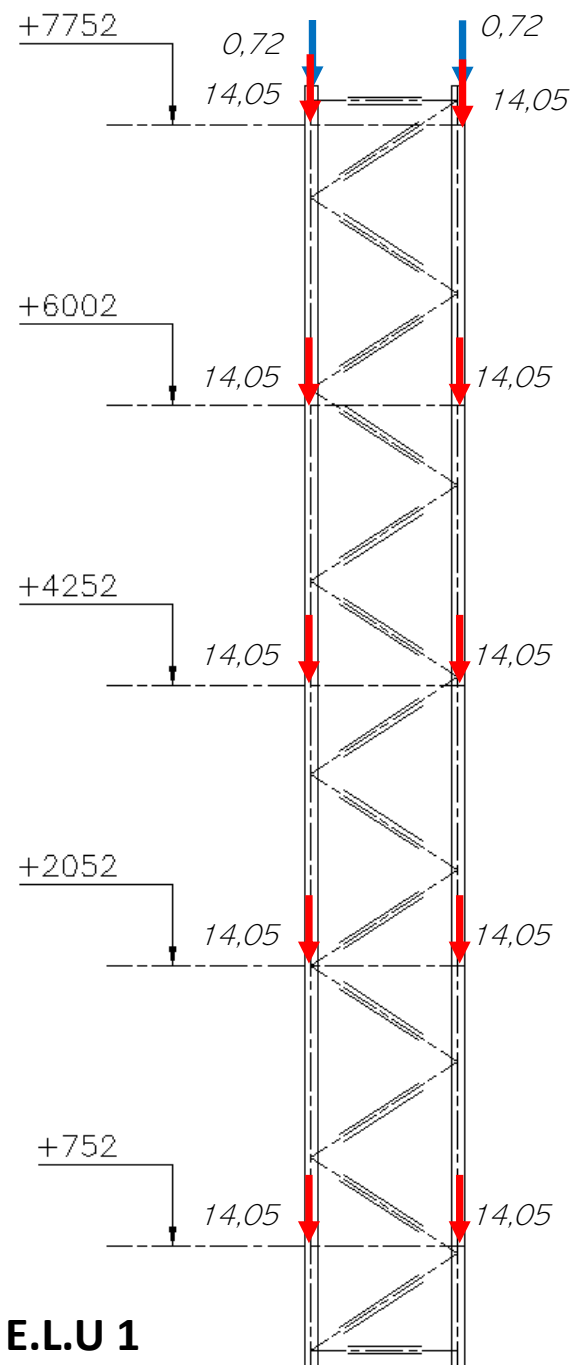
$$P_{5H} = 0,5\text{kN} \text{ Aplicada entre dois nós da diagonal e no nó da diagonal}$$

Cargas horizontais acidentais (ELU 3)

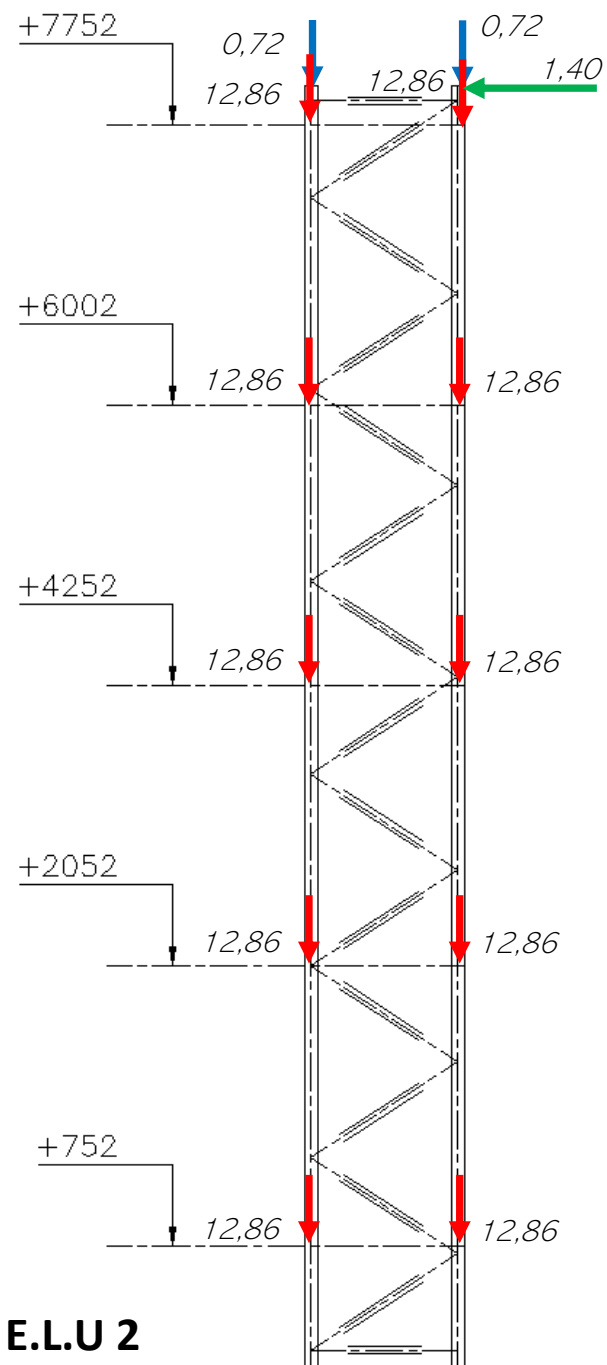
$$P_{3hc} = 1,25 \text{ kN} \text{ Aplicada na direção do corredor, a 0,4m de altura}$$

$$P_{3hm} = 2,50 \text{ kN} \text{ Aplicada na direção do montante, a 0,4m de altura}$$

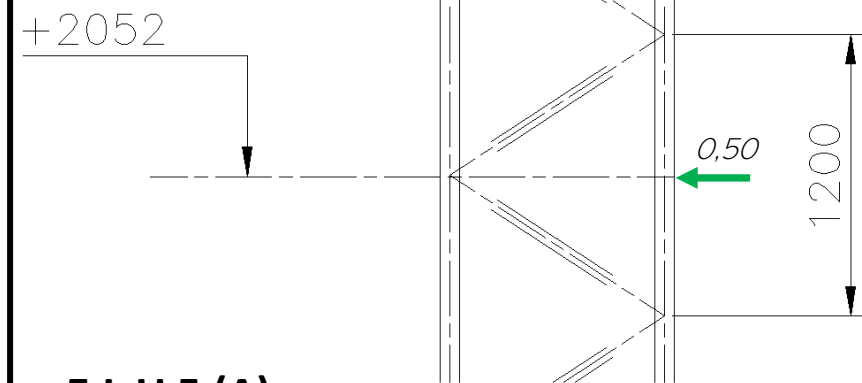
As cargas acidentais horizontais podem ser transferidas para os Mike Tyson



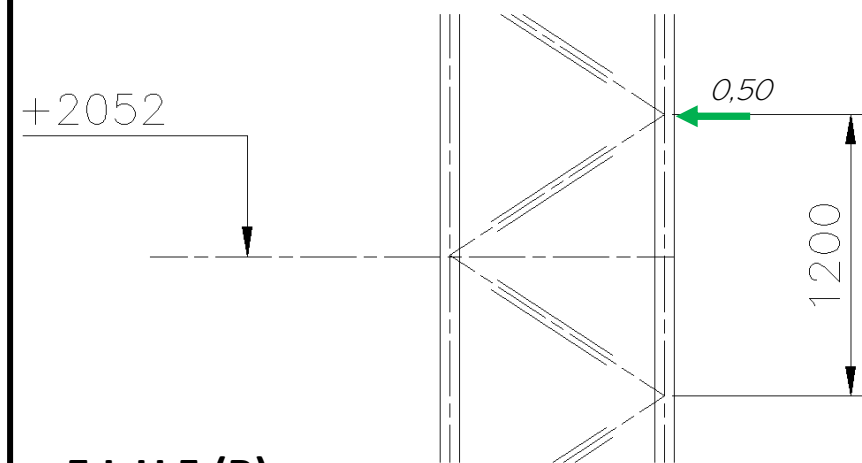
E.L.U 1



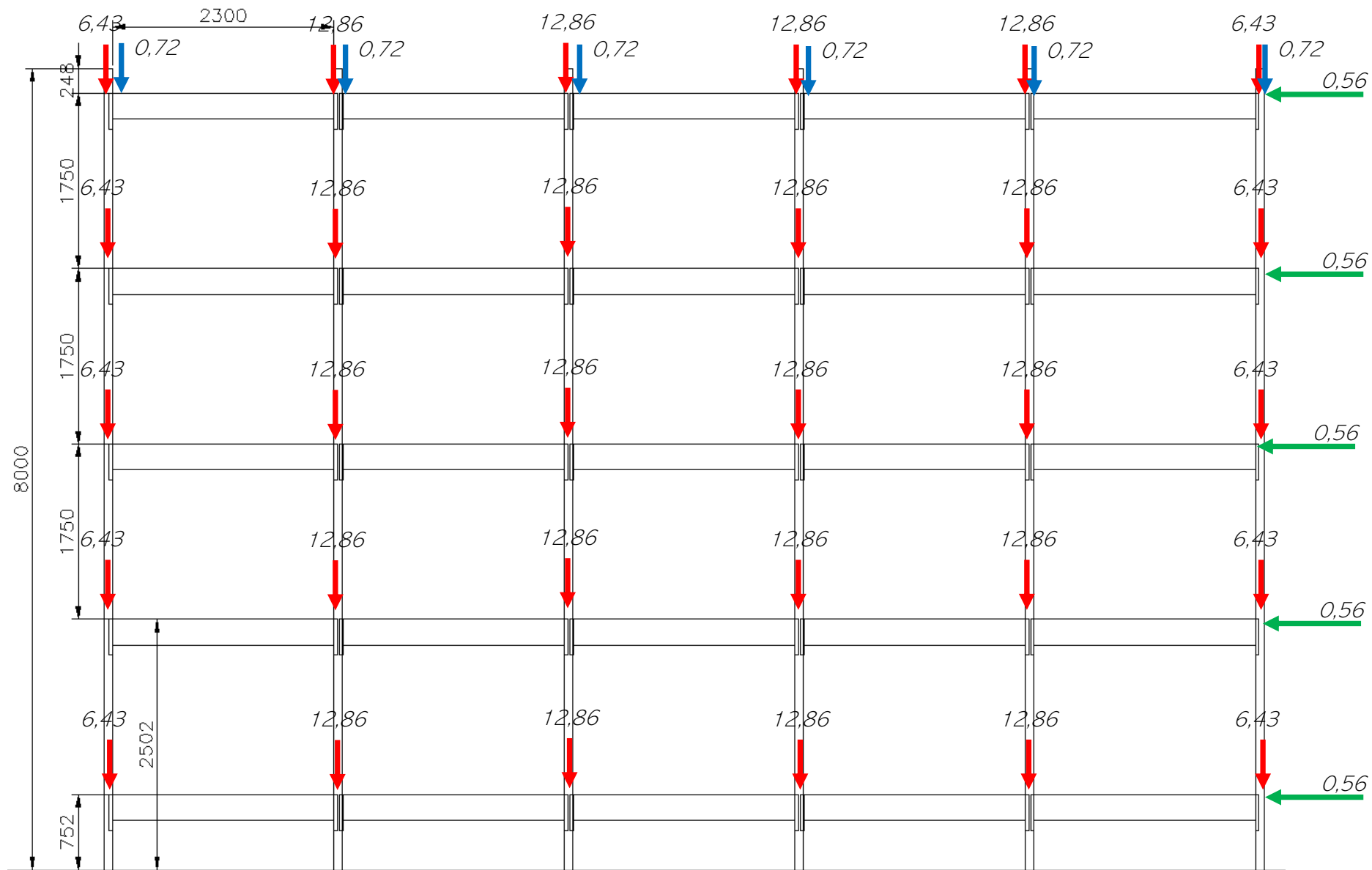
E.L.U 2



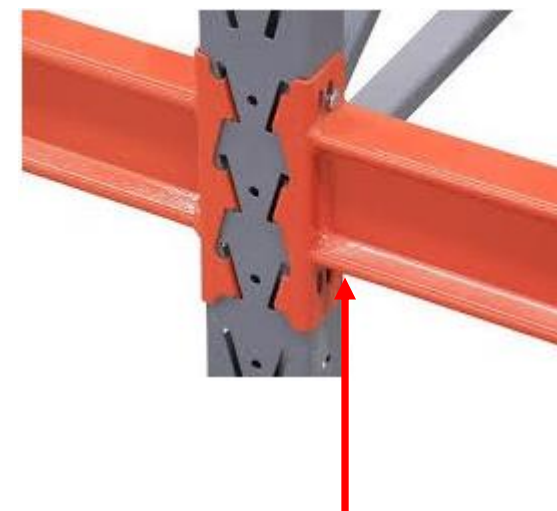
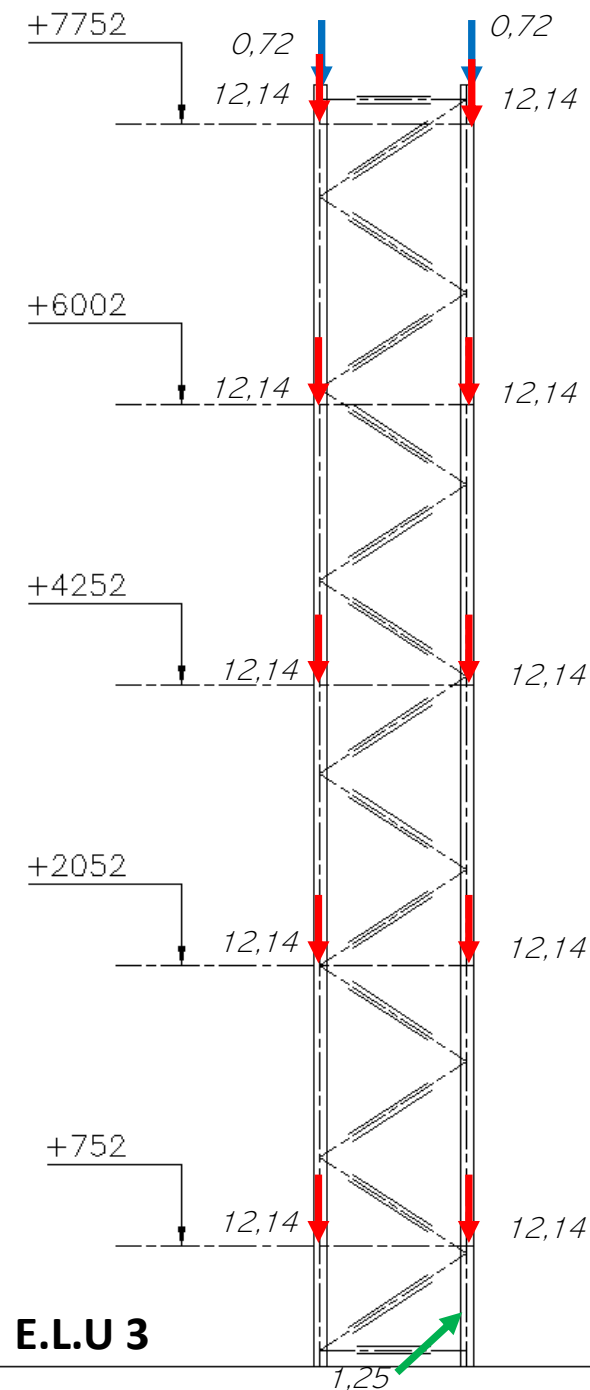
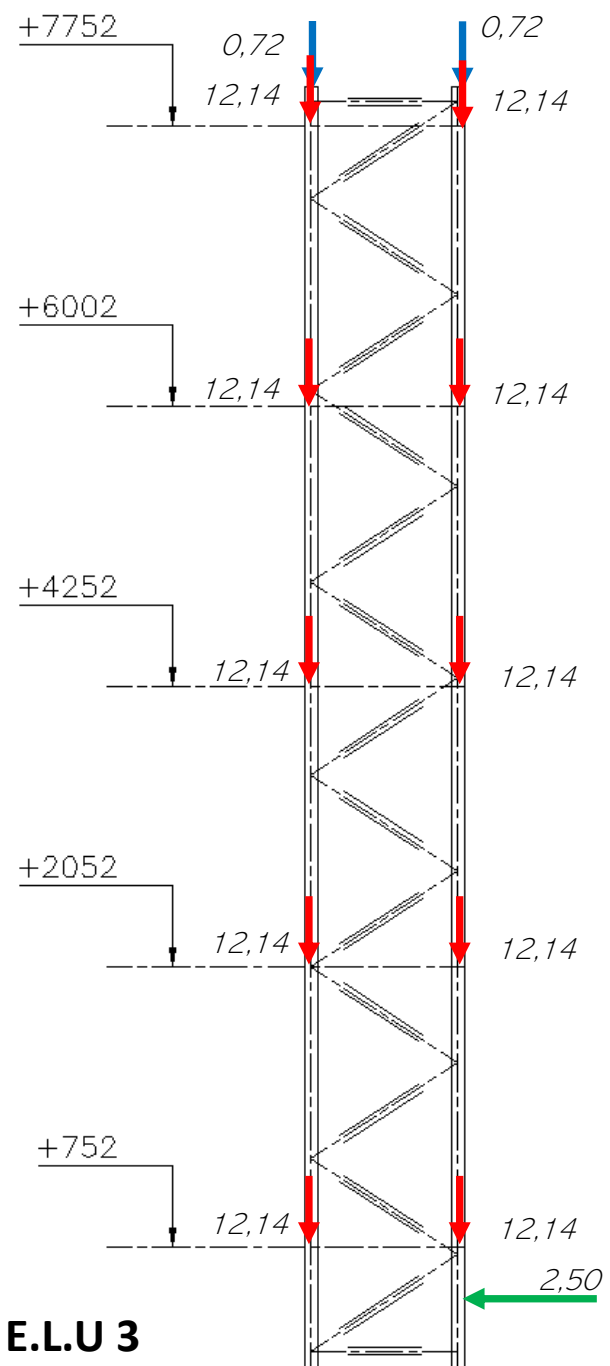
E.L.U 5 (A)



E.L.U 5 (B)



E.L.U 2



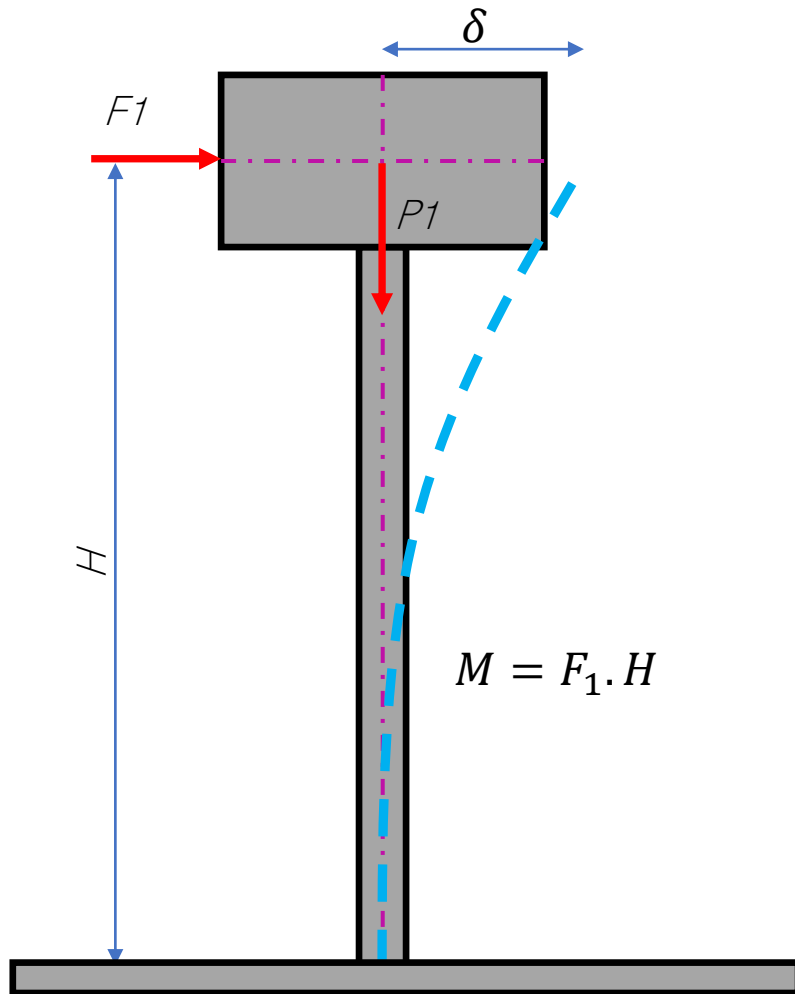
5kN

*Carga acidental ascendente para
verificação do pino de segurança
das longarinas*

Análise Estrutural

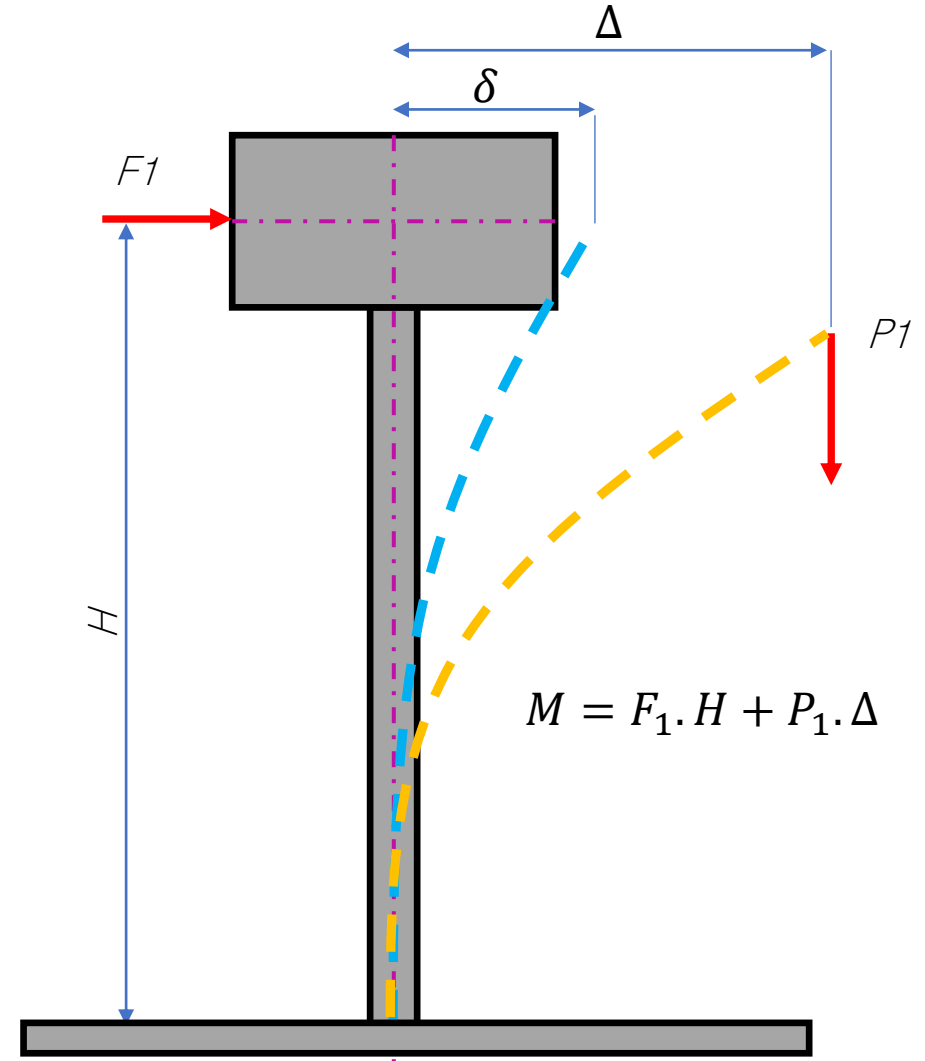
Análise linear (Primeira Ordem)

Realizada com base na geometria indeformada da estrutura



Análise não-linear (Segunda Ordem)

Realizada com base na geometria deformada da estrutura



Análise Estrutural

Classificação da sensibilidade lateral da estrutura

<p>Pequena deslocabilidade</p> $Se \frac{\Delta}{\delta} \leq 1,1$	<p><i>Cargas oriundas das imperfeições iniciais são obtidas por:</i></p> <p><i>Desaprumo inicial = $H/333$ ou</i></p> <p><i>Carga nocional de 0,3% das cargas gravitacionais</i></p> <p><i>Análise de primeira ordem desde que $N_{sd}/N_{Rd} < 0,50$ (A.fy)</i></p>
<p>Média deslocabilidade</p> $Se 1,1 < \frac{\Delta}{\delta} \leq 1,4$	<p><i>Cargas oriundas das imperfeições iniciais são obtidas por:</i></p> <p><i>Desaprumo inicial = $H/333$ ou</i></p> <p><i>Carga nocional de 0,3% das cargas gravitacionais</i></p> <p style="text-align: center;">+</p> <p><i>Análise de segunda ordem com Redução da rigidez à flexão e axial para 80% ($0,8 \times E$)</i></p>
<p>Alta deslocabilidade</p> $Se \frac{\Delta}{\delta} > 1,4$	

Análise Estrutural

Método aproximado simplificado para obtenção da relação $\frac{\Delta}{\delta}$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1}{R_s} \cdot \frac{\delta}{H} \cdot \sum \frac{N_{sd}}{H_{sd}}}$$

R_s é um coeficiente de ajuste, igual a 0,85 nas estruturas onde o sistema resistente a ações horizontais é constituído apenas por subestruturas de contraventamento formadas por pórticos nos quais a estabilidade lateral é assegurada pela rigidez à flexão das barras e pela capacidade de transmissão de momentos das ligações e igual a 1,0 para todas as outras estruturas;

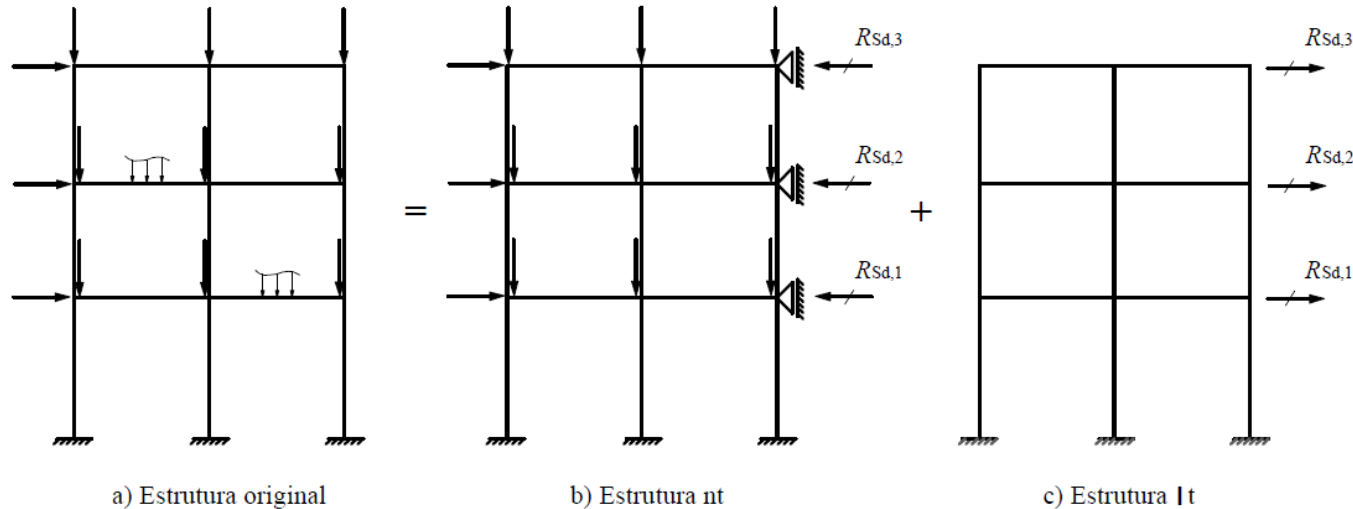
Δ_h é o deslocamento horizontal relativo entre os níveis superior e inferior (deslocamento interpavimento) do andar considerado, obtido da análise de primeira ordem, na estrutura original (Figura D.1-a) ou na estrutura ℓt (Figura D.1-c). Se Δ_h possuir valores diferentes em um mesmo andar, deve ser tomado um valor ponderado para esse deslocamento, em função da proporção das cargas gravitacionais atuantes ou, de modo conservador, o maior valor;

$\sum H_{sd}$ é a força cortante no andar, produzida pelas forças horizontais de cálculo atuantes, usadas para determinar Δ_h e obtida na estrutura original (Figura D.1-a) ou na estrutura ℓt (Figura D.1-c);

H é a altura do andar (distância entre eixos de vigas de dois andares consecutivos ou entre eixos de vigas e a base, no caso do primeiro andar).

Análise Estrutural

Método aproximado para obtenção dos esforços amplificados



Simplificação conservadora

$$B_1 < B_2$$

$$B_2 < 1,4$$

$$R_m = 0,85$$

$$M_{sd} = B_2 \cdot M_{sd1}$$

$$N_{sd} = B_2 \cdot N_{sd1}$$

Sendo M_{sd1} e N_{sd1} , os esforços obtidos na análise de 1ª ordem

$$C_m = 0,60 - 0,40 \frac{M_1}{M_2}$$

$$M_{sd} = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$N_{sd} = N_{nt} + B_2 N_{lt}$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{N_{sd1}}{N_e}} \geq 1,0$$