

Dimensionamento de vigas sob flexão oblíqua simples

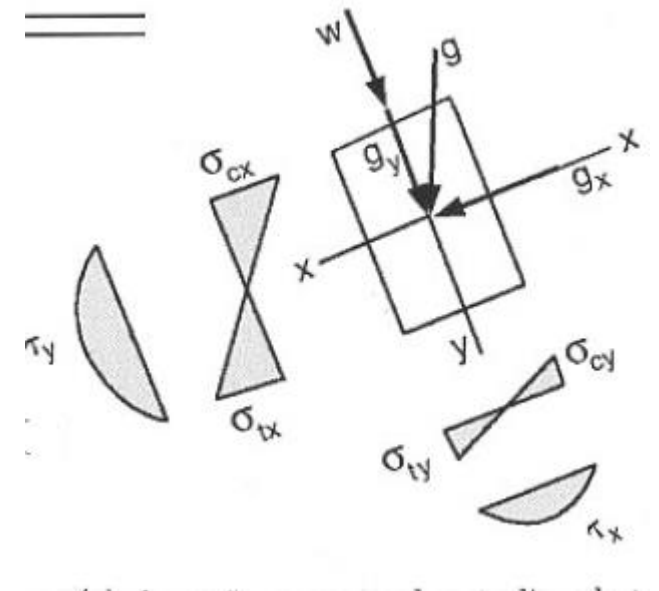
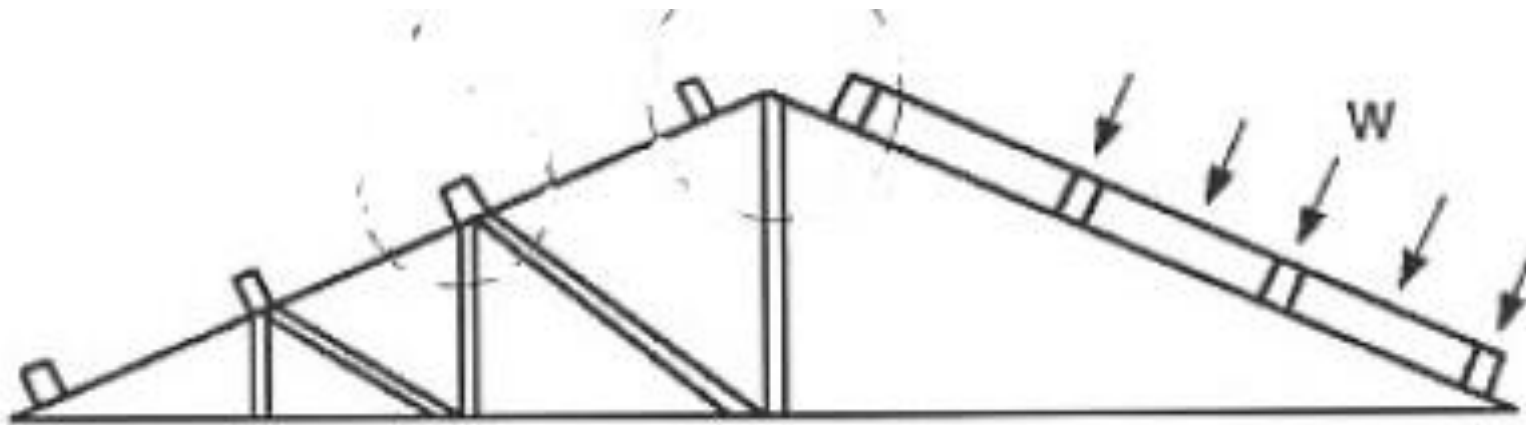
PROF. MSC PATRÍCIA ANDRADE

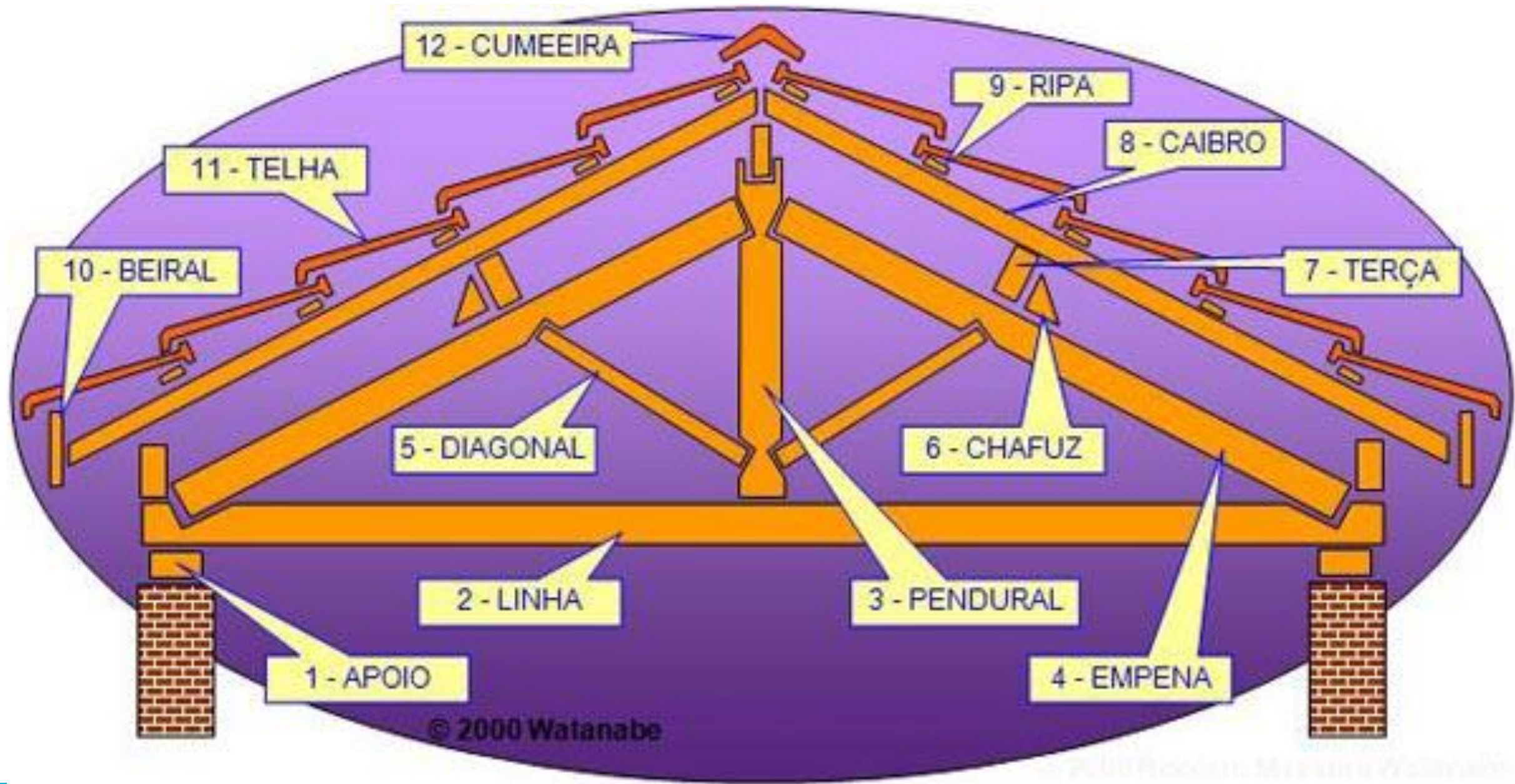
Flexão oblíqua simples

Ocorre quando a solicitação em que as cargas que produzem momentos não ficam situadas num dos planos principais da seção

Ocorre em elementos inclinados

Terças de telhados





Flexão oblíqua simples

Condição mais desfavorável

$$\frac{\sigma_{Mxd}}{f_{wd}} + k_M * \frac{\sigma_{Myd}}{f_{wd}} \leq 1$$

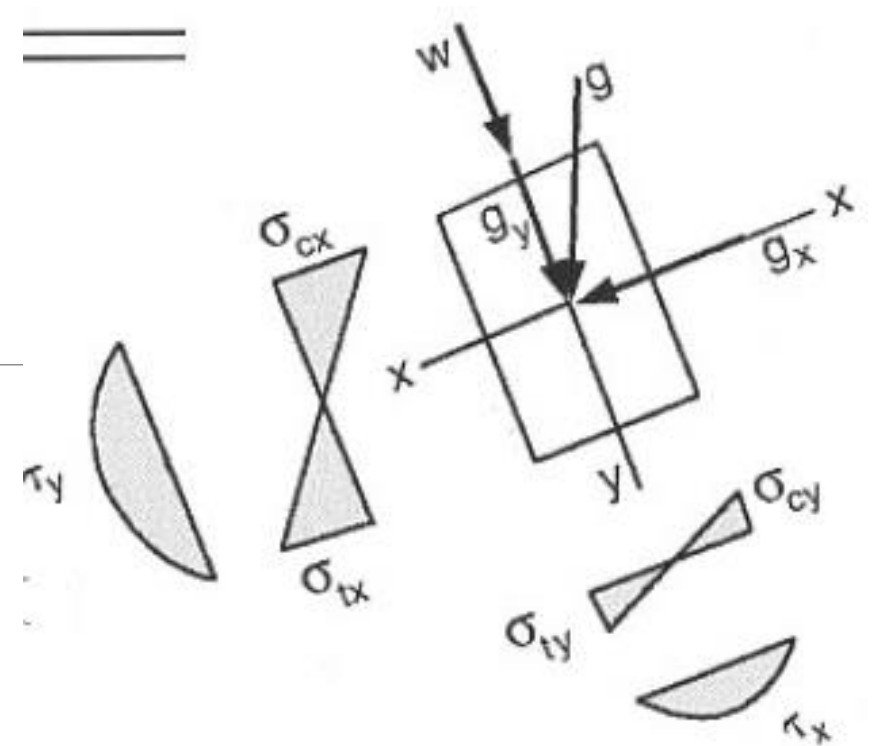
$$k_M * \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{wd}} \leq 1$$

f_{wd} é a resistência de cálculo correspondente à tração ou à compressão

σ_{Mxd} e σ_{Myd} tensões devido o momento de projeto nas direções x e y, respectivamente

k_M coeficiente de correção correspondente a forma geométrica da seção transversal e pode ser:

$$k_M = \begin{cases} 0,5 & \text{para seção retangular} \\ 1 & \text{para demais seções} \end{cases}$$



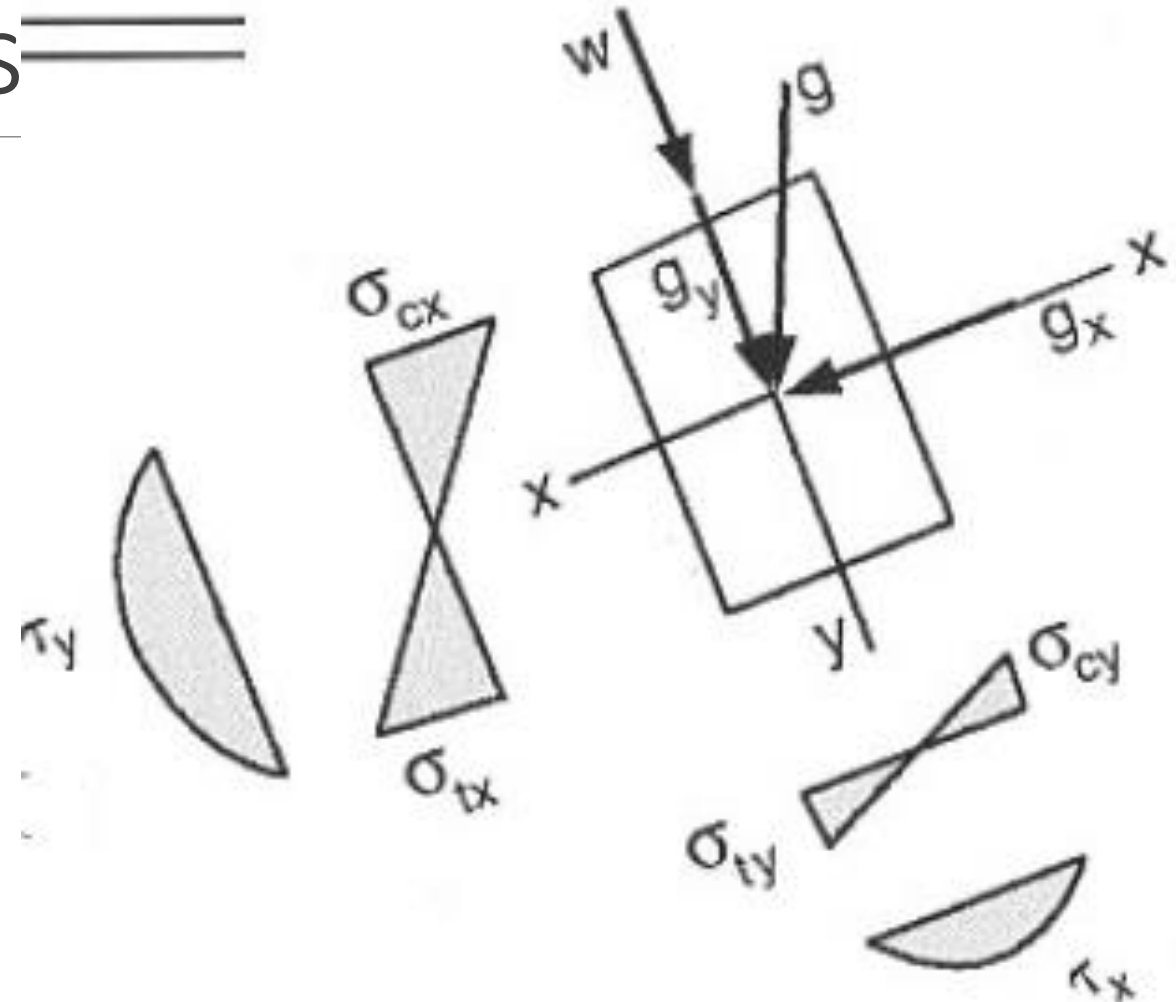
Flexão oblíqua simples

Os componentes das tensões cisalhantes devem ser combinadas

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{xd}^2 + \tau_{yd}^2} \leq f_{vd}$$

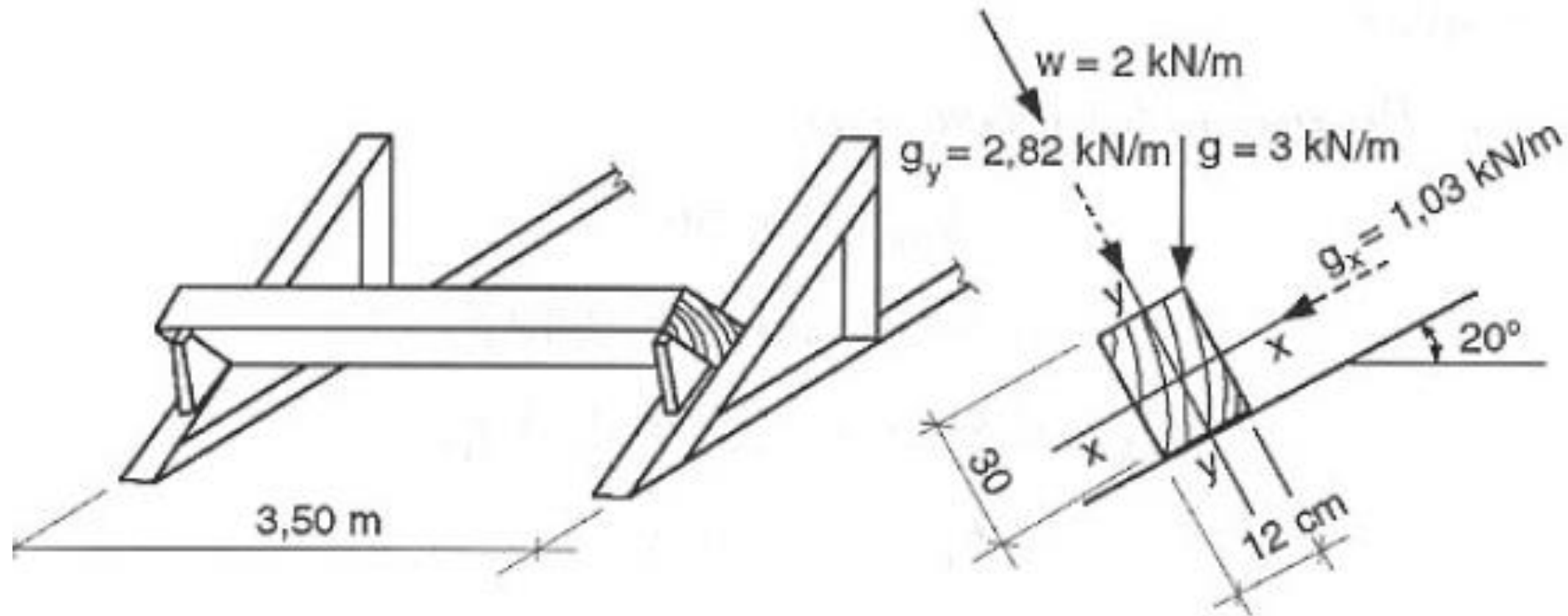
As componentes dos deslocamentos (verificação do estado limite de deformação excessiva) devem ser combinadas:

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \leq \delta_{lim}$$



Exemplo 3

Verificar a resistência da terça de telhado em madeira D30 em ambiente de classe 2 de umidade, sendo a combinação normal



Resolução

Verificar a segurança no Estado limite último:

→ compressão ou tração (quem tiver a menor resistência da madeira f_{cd} ou f_{td})

→ cisalhamento

→ instabilidade lateral

Verificar a segurança no Estado limite de utilização (também chamado de serviço):

→ flechas

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

- madeira serrada e cargas combinação normal

$$\rightarrow K_{mod\ 1} = 0,7$$

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

Classe	Período acumulado de tempo de atuação da carga variável de base de uma combinação de ações
Permanente	Vida útil da construção
Longa duração	Mais de 6 meses
Média duração	1 semana a 6 meses
Curta duração	Menos de 1 semana
Duração instantânea	Muito curta

Classe de carregamento da combinação de ações	Tipo de produto de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

- madeira serrada e cargas combinação normal

$$\rightarrow K_{mod\ 1} = 0,7$$

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

- madeira serrada e cargas combinação normal

$$\rightarrow K_{mod\ 1} = 0,7$$

- madeira serrada e classe de umidade 2

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

TABELA 3.11 Classes de umidade

Classe de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Grau de umidade da madeira (equilíbrio com o ambiente)
1 (padrão)	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$85\% < U_{amb}$, durante longos períodos	$\geq 25\%$

TABELA 3.12 Valores do coeficiente k_{mod2}

Classe de umidade	Tipo de produto de madeira	
	Madeira serrada	
	Madeira laminada e colada Madeira compensada	Madeira recomposta
1 e 2	1,0	1,0
3 e 4	0,8	0,9

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

- madeira serrada e cargas combinação normal

$$\rightarrow K_{mod\ 1} = 0,7$$

- madeira serrada e classe de umidade 2

$$\rightarrow K_{mod\ 2} = 1$$

- madeira serrada e conífera

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

TABELA 3.13 Valores do coeficiente k_{mod3}

Produto de madeira	Tipo de madeira	Categoria	k_{mod3}
Serrada	Dicotiledôneas	1. ^a Categoria	1,0
		2. ^a Categoria	0,8
	Coníferas	1. ^a ou 2. ^a	0,8
Laminada e colada*	Qualquer	1. ^a ou 2. ^a – peça curva	$1,0 - 2000\left(\frac{r}{t}\right)^2$
		peça reta	1,0

*Laminada com espessura t e colada com raio de curvatura r (mínimo).

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

- madeira serrada e cargas combinação normal

$$\rightarrow K_{mod\ 1} = 0,7$$

- madeira serrada e classe de umidade 2

$$\rightarrow K_{mod\ 2} = 1$$

- madeira serrada e conífera

$$\rightarrow K_{mod\ 3} = 0,8$$

$$K_{mod} = K_{mod\ 1} * K_{mod\ 2} * K_{mod\ 3}$$

$$K_{mod} = 0,7 * 1 * 0,8$$

$$K_{mod} = 0,56$$

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

$$f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_{cd} = k_{mod} * \frac{0,7 * f_{cm}}{\gamma_w}$$

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

Nome comum (coníferas)	Nome científico	ρ_{ap} (12%) ¹⁾ kg/m ³	f_{c0} ²⁾ MPa	f_{t0} ³⁾ MPa	f_{t90} ⁴⁾ MPa	f_v ⁵⁾ MPa	E_{c0} ⁶⁾ MPa	n ⁷⁾
Pinho do Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15 225	15
<i>Pinus caribea</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>caribea</i>	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8 431	28
<i>Pinus bahamensis</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>bahamensis</i>	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7 110	32
<i>Pinus hondurensis</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9 868	99
<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11 889	21
<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus oocarpa</i> shiede	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10 904	71
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda</i> L.	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13 304	15

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

$$f_{cd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_{cd} = k_{mod} * \frac{0,7 * f_{cm}}{\gamma_w}$$

$$f_{cd} = 0,56 * \frac{0,7 * 40,9}{1,4}$$

$$f_{cd} = 11,45 \text{ MPa ou } 1,145 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

$$f_{td} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_{td} = k_{mod} * \frac{0,7 * f_{tm}}{\gamma_w}$$

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

Nome comum (coníferas)	Nome científico	ρ_{ap} (12%) ¹⁾ kg/m ³	f_{c0} ²⁾ MPa	f_{t0} ³⁾ MPa	f_{t90} ⁴⁾ MPa	f_v ⁵⁾ MPa	E_{c0} ⁶⁾ MPa	n ⁷⁾
Pinho do Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15 225	15
<i>Pinus caribea</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>caribea</i>	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8 431	28
<i>Pinus bahamensis</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>bahamensis</i>	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7 110	32
<i>Pinus hondurensis</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9 868	99
<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11 889	21
<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus oocarpa</i> shiede	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10 904	71
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda</i> L.	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13 304	15

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

$$f_{td} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_{td} = k_{mod} * \frac{0,7 * f_{tm}}{\gamma_w}$$

$$f_{td} = 0,56 * \frac{0,7 * 93,1}{1,8}$$

$$f_{td} = 20,27 \text{ MPa ou } 2,027 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Resolução

2. combinações normais do ELU

Em x:

$$q_{xd} = \gamma_g * g_x$$

$$q_{xd} = 1,4 * 1,03$$

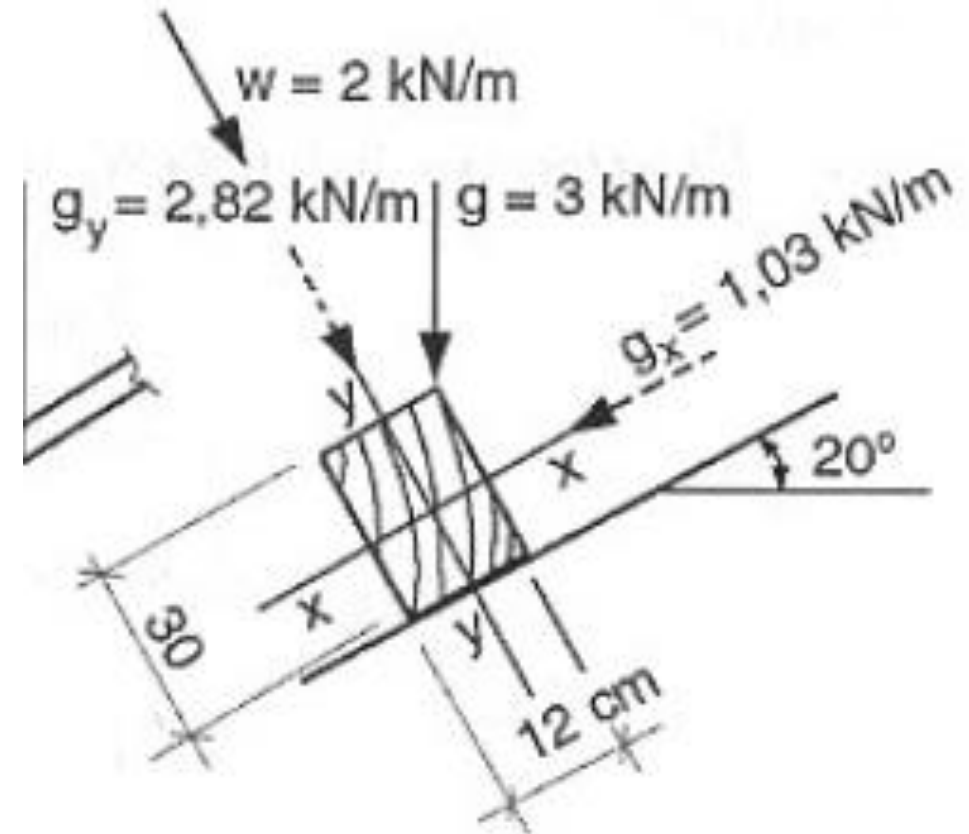
$$q_{xd} = 1,44 \text{ kN/m}$$

Em y:

$$q_{yd} = \gamma_g * g_y + 0,75 * \gamma_v * w$$

$$q_{yd} = 1,4 * 2,82 + 0,75 * 1,4 * 2$$

$$q_{yd} = 6,05 \text{ kN/m}$$



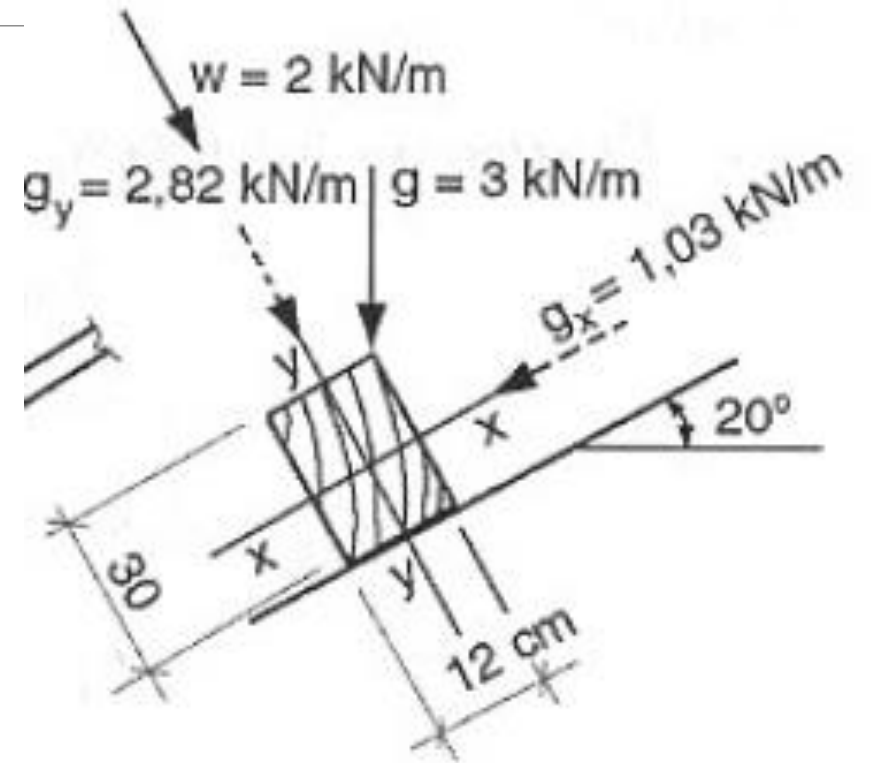
Resolução

4. propriedades geométricas da peça

$$A = b * h$$

$$A = 30 * 12$$

$$A = 360 \text{ cm}^2$$



Resolução

4. propriedades geométricas da peça

Em x:

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

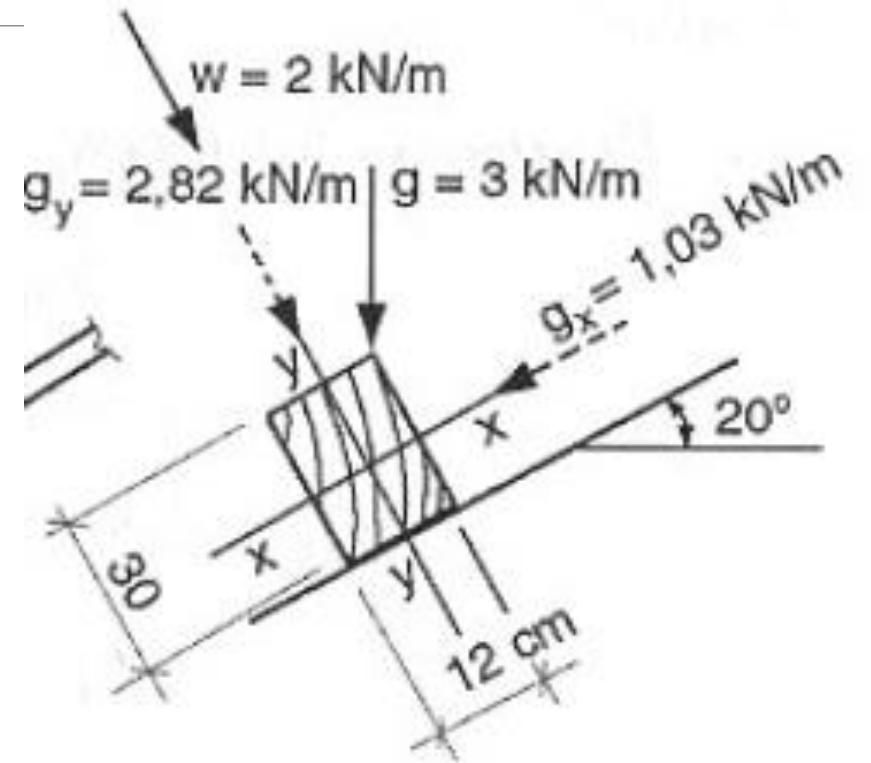
$$I_x = \frac{12 \cdot 30^3}{12}$$

$$I_x = 27000 \text{ cm}^4$$

$$W_x = \frac{I_x}{y}$$

$$W_x = \frac{27000}{\left(\frac{30}{2}\right)}$$

$$W_x = 1800 \text{ cm}^3$$



Resolução

4. propriedades geométricas da peça

Em y :

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

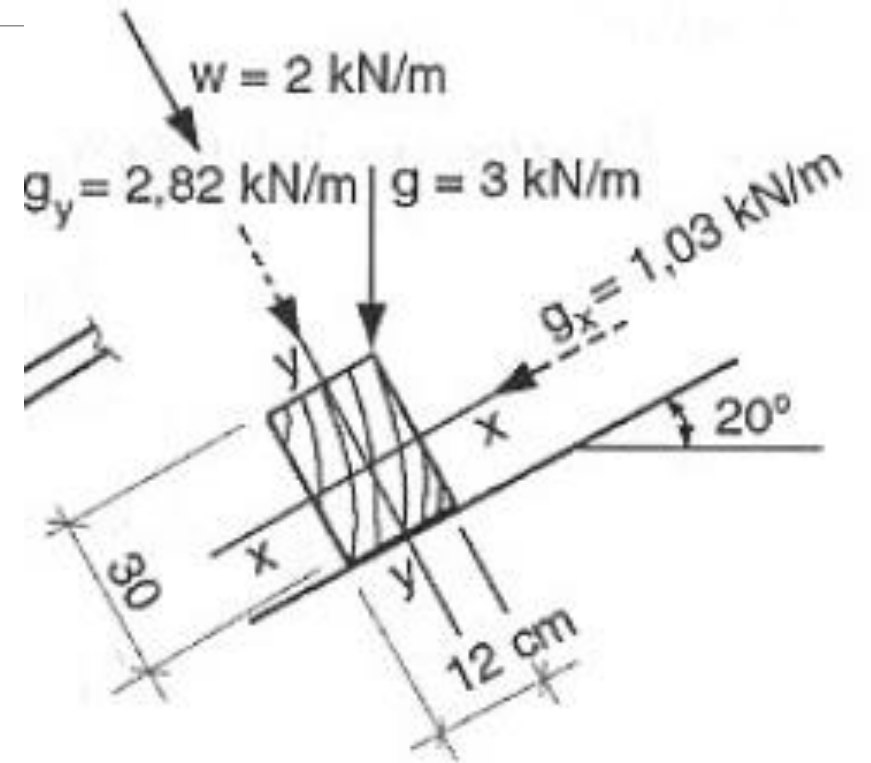
$$I_y = \frac{30 \cdot 12^3}{12}$$

$$I_y = 4320 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{x}$$

$$W_y = \frac{4320}{\left(\frac{12}{2}\right)}$$

$$W_y = 720 \text{ cm}^3$$



Resolução

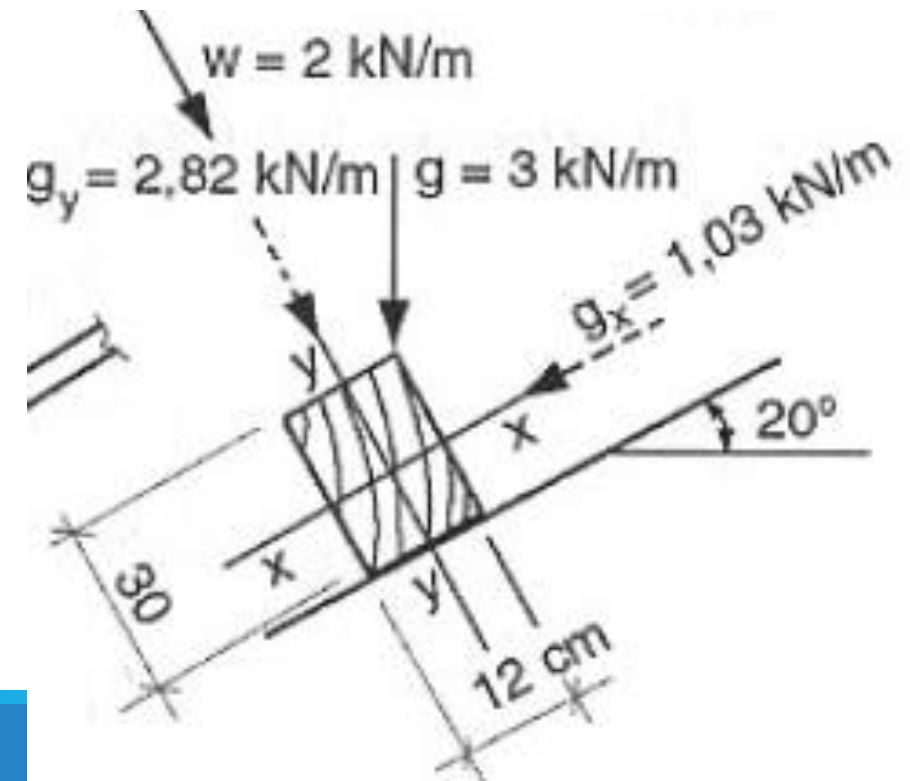
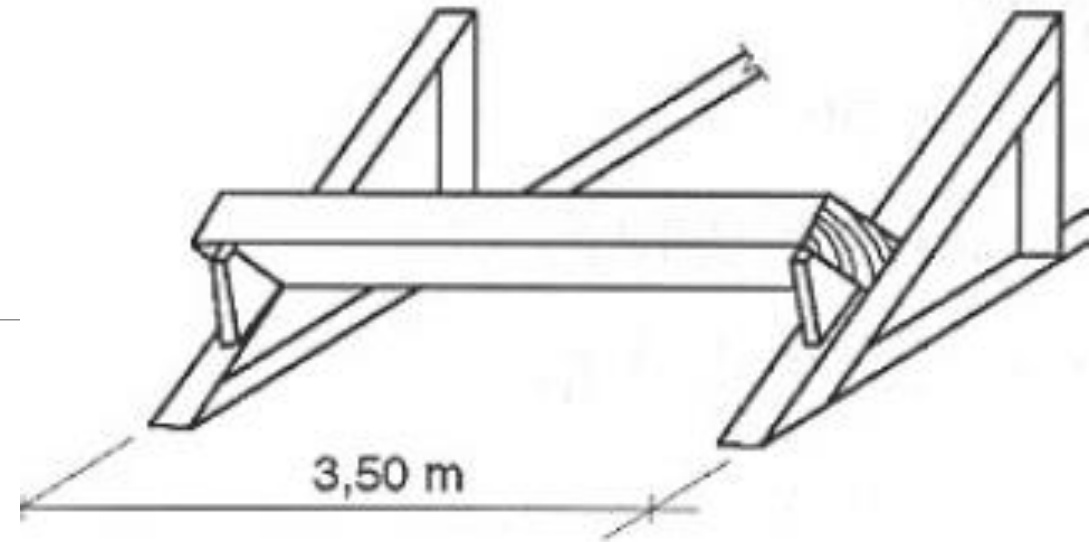
5. solicitações máximas atuantes na terça

Em x:

$$M_{xd} = q_{yd} * \frac{l^2}{8}$$

$$M_{xd} = 6,05 * \frac{3,5^2}{8}$$

$$M_{xd} = 9,26 \text{ kN.m}$$



Resolução

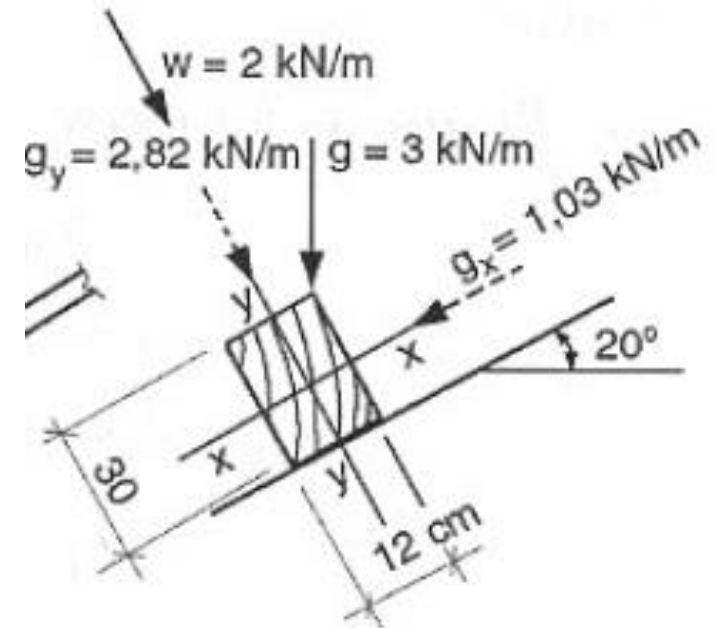
5. solicitações máximas atuantes na terça

Em y :

$$M_{yd} = q_{xd} * \frac{l^2}{8}$$

$$M_{yd} = 1,44 * \frac{3,5^2}{8}$$

$$M_{yd} = 2,2 \text{ kN.m}$$



Resolução

6. verificação das tensões

Em x

$$\sigma_{Mxd} = \frac{M_{xd}}{W_x}$$

$$\sigma_{Mxd} = \frac{926}{1800}$$

$$\sigma_{Mxd} = 0,51 \text{ kN/cm}^2$$

Resolução

6. verificação das tensões

Em y

$$\sigma_{Myd} = \frac{M_{yd}}{W_y}$$

$$\sigma_{Myd} = \frac{220}{720}$$

$$\sigma_{Myd} = 0,31 \text{ kN/cm}^2$$

Resolução

-Flexão oblíqua

$$\frac{\sigma_{Mxd}}{f_{wd}} + k_M * \frac{\sigma_{Myd}}{f_{wd}} \leq 1$$

$$k_M = \begin{cases} 0,5 & \text{para seção retangular} \\ 1 & \text{para demais seções} \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{Mxd}}{f_{wd}} + k_M * \frac{\sigma_{Myd}}{f_{wd}} = \frac{0,51}{1,145} + 0,5 * \frac{0,31}{1,145}$$

$$\frac{0,51}{1,145} + 0,5 * \frac{0,31}{1,145} = 0,58$$

$$0,58 < 1$$

→ok!!!

Resolução

-Flexão oblíqua

$$k_M * \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{wd}} \leq 1$$

$$k_M = \begin{cases} 0,5 & \text{para seção retangular} \\ 1 & \text{para demais seções} \end{cases}$$

$$k_M * \frac{\sigma_{Mxd}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{Myd}}{f_{wd}} = 0,5 * \frac{0,51}{1,145} + \frac{0,31}{1,145}$$

$$0,5 * \frac{0,51}{1,145} + \frac{0,31}{1,145} = 0,49$$

$$0,49 < 1$$

→ok!!!

Resolução

Verificar a segurança no Estado limite último:

→ compressão ou tração (quem tiver o menor resistência da madeira f_{cd} ou f_{td}) ✓

→ cisalhamento

→ instabilidade lateral

Verificar a segurança no Estado limite de utilização (também chamado de serviço):

→ flechas

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

$$f_{vd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_{vd} = k_{mod} * \frac{0,54 * f_{vm}}{\gamma_w}$$

TABELA 3.8 Relação f_k/f_m entre as resistências característica e média e o valor do coeficiente γ_w

Esforço	f_k/f_m	γ_w
Compressão paralela às fibras	0,70	1,4
Tração paralela às fibras	0,70	1,8
Cisalhamento paralelo às fibras	0,54	1,8

Nome comum (coníferas)	Nome científico	ρ_{ap} (12%) ¹⁾ kg/m ³	f_{c0} ²⁾ MPa	f_{t0} ³⁾ MPa	f_{t90} ⁴⁾ MPa	f_v ⁵⁾ MPa	E_{c0} ⁶⁾ MPa	n ⁷⁾
Pinho do Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15 225	15
<i>Pinus caribea</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>caribea</i>	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8 431	28
<i>Pinus bahamensis</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>bahamensis</i>	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7 110	32
<i>Pinus hondurensis</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9 868	99
<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11 889	21
<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus oocarpa</i> shiede	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10 904	71
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda</i> L.	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13 304	15

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

$$f_{vd} = k_{mod} * \frac{f_k}{\gamma_w}$$

$$f_{vd} = k_{mod} * \frac{0,54 * f_{vm}}{\gamma_w}$$

$$f_{vd} = 0,56 * \frac{0,54 * 8,8}{1,8}$$

$$f_{vd} = 1,47 \text{ MPa ou } 0,147 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

TABELA 3.8 Relação f_k/f_m entre as resistências característica e média e o valor do coeficiente γ_w

Esforço	f_k/f_m	γ_w
Compressão paralela às fibras	0,70	1,4
Tração paralela às fibras	0,70	1,8
Cisalhamento paralelo às fibras	0,54	1,8

Resolução

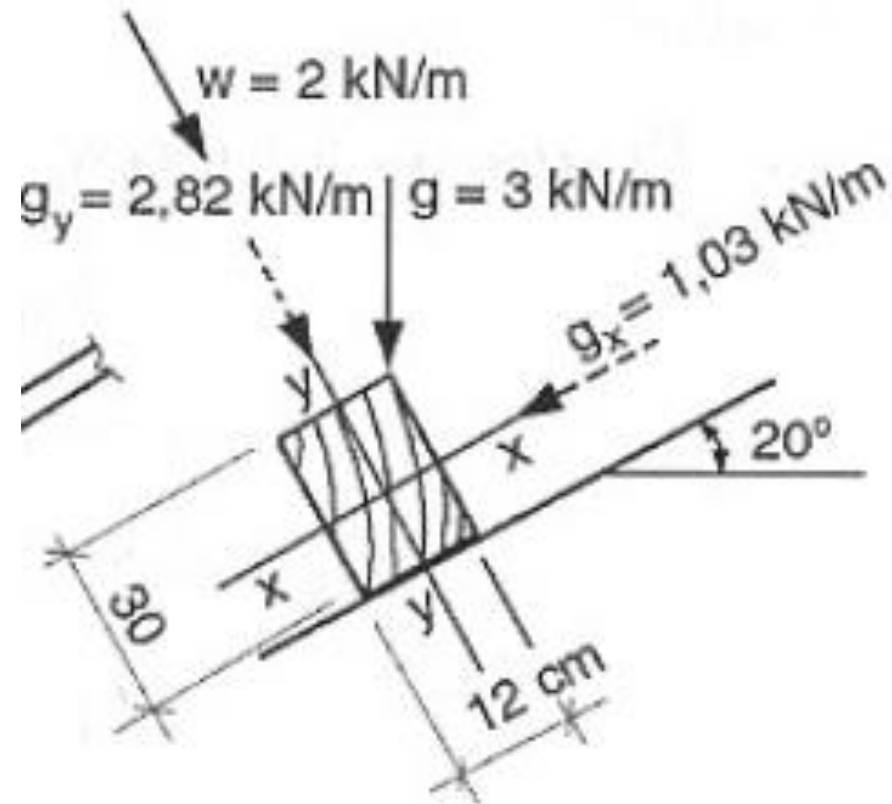
2. solicitações máximas atuantes na terça

Em x:

$$V_{xd} = q_{xd} * \frac{l}{2}$$

$$V_{xd} = 1,44 * \frac{3,5}{2}$$

$$V_{xd} = 2,52 \text{ kN}$$



Resolução

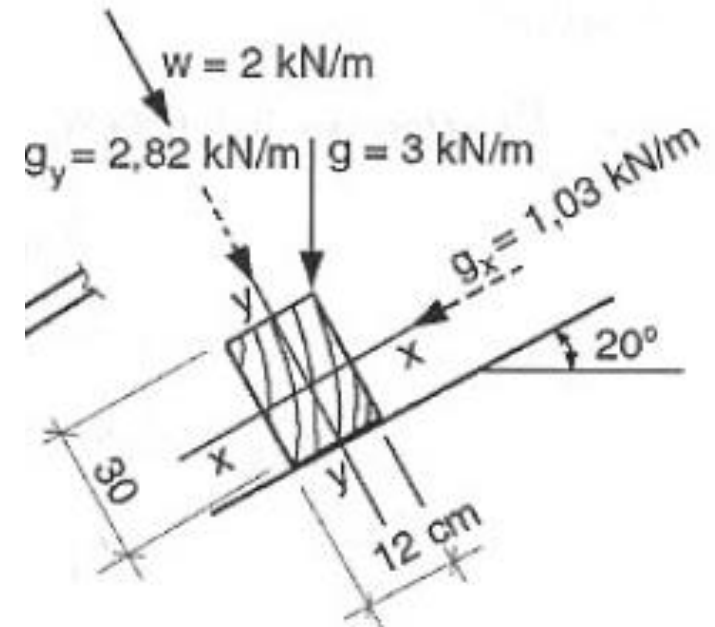
2. solicitações máximas atuantes na terça

Em y:

$$V_{yd} = q_{yd} * \frac{l}{2}$$

$$V_{yd} = 6,05 * \frac{3,5}{2}$$

$$V_{yd} = 10,58 \text{ kN}$$



Resolução

2-cisalhamento

$$V_d = \sqrt{V_{xd}^2 + V_{yd}^2}$$

$$V_d = \sqrt{2,52^2 + 10,58^2}$$

$$V_d = 10,82 \text{ kN}$$

Resolução

2-cisalhamento

$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot b \cdot h} \leq f_{vd}$$

$$\tau_d = \frac{3 \cdot 10,82}{2 \cdot 12 \cdot 30}$$

$$\tau_d = 0,045 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{vd} = 0,147 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_d = 0,045 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < f_{vd} = 0,147 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

→OK

Resolução

Verificar a segurança no Estado limite último:

→ compressão ou tração (quem tiver o menor resistência da madeira f_{cd} ou f_{td}) ✓

→ cisalhamento ✓

→ instabilidade lateral

Verificar a segurança no Estado limite de utilização (também chamado de serviço):

→ flechas

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

$$E_{cm} = 15225 \text{ MPa}$$

$$E_{c\text{ ef}} = k_{mod} * E_{cm}$$

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap}^{(12\%)} \text{ } ^1)$ kg/m ³	$f_{c0} \text{ } ^2)$ MPa	$f_{t0} \text{ } ^3)$ MPa	$f_{t90} \text{ } ^4)$ MPa	$f_v \text{ } ^5)$ MPa	$E_{c0} \text{ } ^6)$ MPa	$n \text{ } ^7)$
Pinho do Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15 225	15
<i>Pinus caribea</i>	<i>Pinus caribea var. caribea</i>	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8 431	28
<i>Pinus bahamensis</i>	<i>Pinus caribea var. bahamensis</i>	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7 110	32
<i>Pinus hondurensis</i>	<i>Pinus caribea var. hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9 868	99
<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus elliottii var. elliottii</i>	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11 889	21
<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus oocarpa shiede</i>	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10 904	71
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda L.</i>	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13 304	15

Resolução (MUDOU – DESCONSIDERAR OS VALORES OBTIDOS NESSE SLIDE)

1. determinação das propriedades mecânicas da madeira

$$E_{cm} = 15225 \text{ MPa}$$

$$E_{c\ ef} = k_{mod} * E_{cm}$$

$$E_{c\ ef} = 0,56 * 15225$$

$$E_{c\ ef} = 8526 \text{ MPa ou } 852,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Resolução

2. Verificação da instabilidade lateral

$$\lambda_b = \frac{L_b}{b} \leq \lambda_0 = \frac{E_{c,ef}}{\beta_M * f_{cd}}$$

$$\lambda_b = \frac{350 \text{ cm}}{12 \text{ cm}}$$

$$\lambda_b = 29,17$$

$$\frac{h}{b} = \frac{30}{12}$$

$$\frac{h}{b} = 2,5$$

Coeficiente de correlação β_M

h/b	β_M
1	6,0
2	8,8
3	12,3
4	15,9
5	19,5
6	23,1
7	26,7
8	30,3
9	34,0
10	37,6
11	41,2
12	44,8
13	48,5
14	52,1
15	55,8
16	59,4
17	63,0
18	66,7
19	70,3
20	74,0

Resolução

2. Verificação da instabilidade lateral

$$\beta_M = \frac{\beta_E * \left(\frac{h}{b}\right)^{3/2}}{0,26 * \pi * \gamma_{CW} * \left(\frac{h}{b} - 0,63\right)^{1/2}}$$

$$\beta_M = \frac{4 * (2,5)^{3/2}}{0,26 * \pi * 1,4 * (2,5 - 0,63)^{1/2}}$$

$$\beta_M = 10,12$$

Coefficiente de correlação β_M

h/b	β_M
1	6,0
2	8,8
3	12,3
4	15,9
5	19,5
6	23,1
7	26,7
8	30,3
9	34,0
10	37,6
11	41,2
12	44,8
13	48,5
14	52,1
15	55,8
16	59,4
17	63,0
18	66,7
19	70,3
20	74,0

Resolução

2. Verificação da instabilidade lateral

$$\lambda_0 = \frac{E_{c,ef}}{\beta_M * f_{cd}}$$

$$E_{c,ef} = 8526 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 11,45 \text{ MPa}$$

$$\lambda_0 = \frac{8526 \text{ MPa}}{10,12 * 11,45 \text{ MPa}}$$

$$\lambda_0 = 73,58$$

$$\lambda_b = 29,7 \leq \lambda_0 = 73,58$$

→ ok

Coefficiente de correlação β_M

h/b	β_M
1	6,0
2	8,8
3	12,3
4	15,9
5	19,5
6	23,1
7	26,7
8	30,3
9	34,0
10	37,6
11	41,2
12	44,8
13	48,5
14	52,1
15	55,8
16	59,4
17	63,0
18	66,7
19	70,3
20	74,0

Resolução

Verificar a segurança no Estado limite último:

- compressão ou tração (quem tiver o menor resistência da madeira f_{cd} ou f_{td}) ✓
- cisalhamento ✓
- instabilidade lateral ✓

Verificar a segurança no Estado limite de utilização (também chamado de serviço):

- flechas

Resolução

3. combinações de ações no ELS-deformação excessiva

Em x:

Em x:

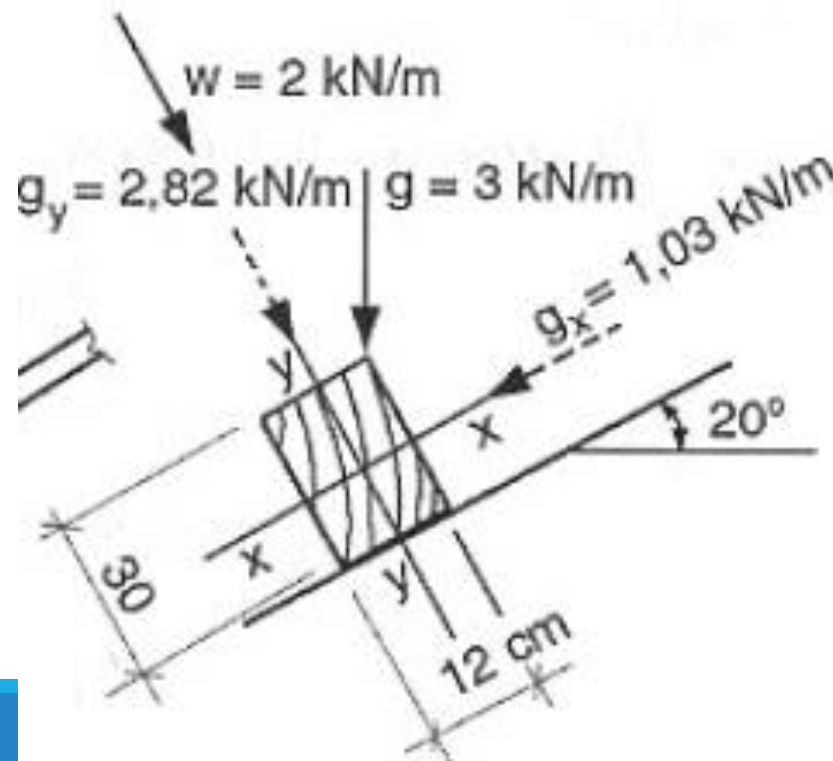
$$q_{x\text{ serv}} = g_x$$

$$q_{x\text{ serv}} = 1,03 \text{ kN/m}$$

Em y:

$$q_{y\text{ serv}} = g_y$$

$$q_{y\text{ serv}} = 2,82 \text{ kN/m}$$



Resolução

5. solicitações máximas atuantes na terça

Em x :

$$\delta_x = \frac{5 \cdot l^4 \cdot q_x}{384 \cdot E_{c,ef} \cdot I_y}$$

$$\delta_x = \frac{5 \cdot 350^4 \cdot \left(\frac{1,03}{100}\right)}{384 \cdot 852,6 \cdot 4320}$$

$$\delta_x = 0,546 \text{ cm}$$

Resolução

2. solicitações máximas atuantes na terça

Em y:

$$\delta_y = \frac{5 \cdot l^4 \cdot q_y}{384 \cdot E_{c,ef} \cdot I_x}$$

$$\delta_y = \frac{5 \cdot 350^4 \cdot \left(\frac{2,82}{100}\right)}{384 \cdot 852,6 \cdot 27000}$$

$$\delta_y = 0,239 \text{ cm}$$

Resolução

3. Verificação do Deslocamento máximo

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \leq \delta_{lim}$$

$$\delta = \sqrt{0,546^2 + 0,239^2}$$

$$\delta = 0,59 \text{ cm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{l}{200}$$

$$\delta_{lim} = \frac{350}{200}$$

$$\delta_{lim} = 1,75 \text{ cm}$$

$$\delta_{lim} = 1,75 \text{ cm} > \delta = 0,59 \text{ cm}$$

→ok!!

Resolução

Verificar a segurança no Estado limite último:

- compressão ou tração (quem tiver o menor resistência da madeira f_{cd} ou f_{td}) ✓
- cisalhamento ✓
- instabilidade lateral ✓

Verificar a segurança no Estado limite de utilização (também chamado de serviço):

- flechas ✓