

ESTUDO DE CARGAS

833-K5 ESTRUTURA ESTE OESTE PARA 2 MÓDULOS

SUNCONNECTION WORLDWIDE SLU

- **Tel.:** +34 868 076 098
- **e-mail:** ingenieria@833solar.com
- **Web:** www.833solar.com



1. ESTUDO DE CARGAS

SELEÇÃO DE MÓDULOS

- Comprimento: 2,278 metros
- Largura: 1,134 metros
- Espessura: 30 - 35 mm
- Peso: 32,5kg

COLOCAÇÃO DE MÓDULOS

- Tipo de superfície: cobertura PLANA

CONFIGURAÇÃO BÁSICA

- Seleção do sistema: 833-K5
- Zonas de ventos: 1, 2, 3 e 4: 35 m/s
- Altura de instalação: 15 metros
- Grau de aspereza do ambiente: III

2.LISTA DE PEÇAS DO SISTEMA

PEÇAS		
833 EO/SS-R1630-41	Rail 1630X41MM para Este-Oeste e Sul-Sul	
833 U	União de rails	
833 EO/SS-GD-10°/15°	Grampo dianteiro para Este-Oeste e Sul-Sul a 10° ou 15°	
833 EO-GTD-10°/15°	Grampo traseiro para Este-Oeste e Sul-Sul a 10° ou 15°	



3. BASES DE LA CONCEPTION

RÉGLEMENTATION

SUPPOSITION DE CHARGE	NOM	DATE
BS EN 1990	Eurocode – Principes fondamentaux de la conception structurelle	01.01.2005
BS EN 1990/NA	Annexe. Eurocode national – Bases de la conception structurelle	04.06.2009
BS EN 1990/NA	Eurocode – Principes fondamentaux de la conception structurelle	30.06.2009
BS EN 1991-1-3	Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales, charges de neige	01.08.2005
BS EN 1991-1-3/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige	29.06.2007
BS EN 1991-1-4	Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-4 : Actions générales, actions du vent	15.05.2011
BS EN 1991-1-4/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-4: actions générales, actions du vent	Novembre de 2008
Sollicitud	Résumé des résultats des essais et des simulations de vent	Junio de 2009
BS EN 1993-1-1	Eurocode 3 : Conception des structures en acier – Partie 1-1	01.10.2006
BS EN 1993-1-1/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 3 : Conception des structures en acier – Partie 1-1	01.12.2008
BS EN 1999-1-1	Eurocode 9 – Conception des structures en aluminium, partie 1-1	01.08.2010
BS EN 1999-1-1/NA	Annexe nationale à l'Eurocode 9 – Conception des structures en aluminium, partie 1-1	01.05.2010

PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS

Material de alumínio

- **Estrutura em alumínio:** AL6005-T5
- **Densidade:** 27,1 kN/m³
- **Módulo elástico:** E = 6,9×10⁴N/mm²
- **Coeficiente de expansão linear:** α = 2,32×10⁻⁵
- **Coeficiente de Poisson:** ν = 0,33
- **Resistência à tração, compressão e flexão:** f_s = 220 N/mm²

Ações permanentes devido ao peso próprio

- **Carga permanente:**
 - Especificações do módulo fotovoltaico:
 - **2,278 m × 1,134 m × 30 mm, peso do módulo: 32,5 kg**
 - Carga permanente do módulo fotovoltaico:
 - **G=32,5·9,8/(2,278·1,134)/1000=0,1233 kN/m²**

PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS

Ações variáveis devido ao vento

- Cálculo da velocidade básica do vento (V_b):

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_o = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 35 = 35 \text{ m/s}$$

Onde:

- **C_{dir}** : fator direcional, valor recomendado: 1,0.
- **C_{season}** : fator sazonal, valor recomendado: 1,0.
- **V_o** : velocidade do vento de referência, $V_o = 35 \text{ m/s}$.

- Cálculo da velocidade média do vento:

$$V_m(z): V_m(z) = C_r(z) \cdot C_o(z) \cdot V_b$$

Onde,

- **$C_o(z)$** : coeficiente topográfico, com um valor recomendado de 1,0.
- **$C_r(z)$** : fator de rugosidade, calculado através da fórmula.
- **Fator de rugosidade: $C_r(z)$** .
 - $C_r(z) = K_r \cdot \ln(Z/Z_o)$ com $Z_{min.} \leq Z \leq Z_{máximo}$
 - $C_r(z) = C_r(Z_{min.})$ com $Z \leq Z_{min.}$

Onde,

- **K_r** : Fator do terreno, calculado através de uma fórmula;
- **Z** : A altura do sistema fotovoltaico é considerada como $Z = 15 \text{ m}$ para este projeto.
- **Z_o y $Z_{min.}$** : Parâmetros do terreno;

TERRENO	DESCRIÇÃO	z_o (m)	z_{min} (m)
0	Mar ou área costeira exposta ao mar aberto	0,003	1
I	Lagos ou áreas planas e horizontais com vegetação insignificante e sem obstáculos	0,01	1
II	Área com vegetação baixa, como relva, e obstáculos isolados, como árvores ou edifícios, com separações de, pelo menos, 20 vezes a altura dos obstáculos	0,05	2
III	Área com cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo, vilas, terrenos suburbanos ou florestas permanentes)	0,3	5
IV	Área em que pelo menos 15% da superfície está coberta por edifícios e a sua altura média excede os 15 m	1,0	10

NOTA: as categorias de terreno estão ilustradas em A.1.

Zmax: Valor recomendado 200 m;

Fator do terreno Kr:

$$Kr = 0,19 \cdot (Z_o / Z_o, II)^{0,07} = 0,19 \cdot (0,3 / 0,05)^{0,07} = 0,215$$

Onde,

- **Z_o**: Comprimento da rugosidade, para a categoria de terreno III, Z_o=0,3 metros;
- **Z_{o,II}** Valor da tabela 0,05 m;
- **Z_{min}**=5 m

Portanto,

- **Cr(z)**=Kr·ln(Z/Z_o)=0,215·ln(15/0,3)=0,843
- **Vm(z)**=Cr(z)·Co(z)·Vb=0,843·1,35=29,491 m/s

- **Cálculo da pressão dinâmica do vento (qp);**

$$qp = \rho \cdot [Vm(z)]^2 \approx 1,25 \cdot (29,491)^2 \approx 1,087 \text{ kN/m}^2$$

Onde,

- **ρ**: Densidade do ar, valor recomendado 1,25 kg/m³.

- **Cálculo da pressão máxima do vento qp (z):**

$$qp(z) = [1 + 7 \cdot Iv(z)] \cdot 1/2 \cdot qp$$

Onde,

- **Iv(z)**: A intensidade da turbulência é calculada através da fórmula:
- **Iv(z)**=K_t/[Co(z)·ln(Z/Z_o)] si Z_{min}. ≤ Z ≤ Z_{max}
- **Iv(z)**=Iv(Z_{min}) si Z ≤ Z_{min}.

Onde,

- **K_t**: fator de turbulência, valor recomendado 1,0;
- **Co(z)**: coeficiente topográfico, valor recomendado 1,0;
- **Z**: altura do sistema fotovoltaico, Z = 15 m;
- **Z_o y Z_{min}**: Parâmetros do terreno para a respectiva categoria III, Z_o=0,3 m,
- **Z_{min}**. = 5 m;
- **Z_{max}**: Valor recomendado 200 m;

Portanto,

- **Iv(z)**=K_t/[Co(z)·ln(Z/Z_o)] = 1/[1·ln(15/0,3)] = 0,256
- **qp(z)**=[1+7·Iv(z)]·1/2·qp = (1+7·0,256)·1/2·1,087 = 1,516 kN/m²

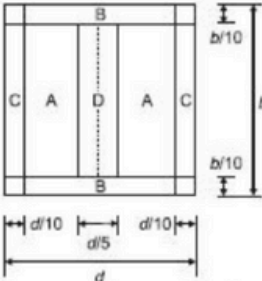
- **Cálculo da pressão do vento Wp:**

$$\text{Pressão } Wp = qp(z) \cdot Cpe = 1,516 \cdot 0,4 = 0,6065 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sucção } Wp' = qp(z) \cdot Cpe = 1,516 \cdot (-0,7) = -1,0614 \text{ kN/m}^2$$

Onde,

- **Cpe**: Coeficiente de força do vento: 0,4 para vento de sucção e -0,7 para vento de sucção com uma inclinação de 10°.
 - **Cpe vento a pressão** = 0,4
 - **Cpe Vento de sucção** = (-0,7)

			Net pressure coefficients $c_{p,net}$ Key plan			
Roof angle α [°]	Blockage φ	Overall Force Coefficient c_r				
			Zone A	Zone B	Zone C	Zone D
- 20	Maximum all φ	+ 0,7	+ 0,8	+ 1,6	+ 0,6	+ 1,7
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,9	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
- 15	Maximum all φ	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,5	+ 0,7	+ 1,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 10	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,4	+ 0,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,5	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 5	Maximum all φ	+ 0,3	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,8	+ 0,8
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,7	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
+ 5	Maximum all φ	+ 0,3	+ 0,6	+ 1,8	+ 1,3	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,6	- 1,4	- 1,4	- 1,1
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,5
+ 10	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,7	+ 1,8	+ 1,4	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,7	- 1,5	- 1,4	- 1,4
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,0	- 1,8	- 1,8
+ 15	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,9	+ 1,4	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,8	- 0,9	- 1,7	- 1,4	- 1,8
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,3	- 2,2	- 1,6	- 2,1
+ 20	Maximum all φ	+ 0,6	+ 1,1	+ 1,9	+ 1,5	+ 0,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,2	- 1,8	- 1,4	- 2,0
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,4	- 2,2	- 1,6	- 2,1

■ PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS

Ações variáveis devido à neve

- Cálculo da pressão efetiva da neve $S_{k,v}$
 $S_{k,v} = u \cdot C_e \cdot C_i \cdot S_k \cdot \cos \theta$

Onde,

- **u:** Coeficiente de inclinação da neve, $u = 0,8$ com ângulo $\theta < 30^\circ$;
- $u = 0,8 \cdot (60 - \theta) / 30$ com ângulo $30^\circ < \theta < 60^\circ$.
- **C_e:** Coeficiente de exposição: valor recomendado 1;
- **C_t:** Coeficiente térmico, valor recomendado 1;

S_k: Pressão básica da neve, **$S_k = 0,40 \text{ kN/m}^2$**

Portanto,

$$S_{k,v} = u \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \cdot \cos \theta = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,40 \cdot \cos(10^\circ) = 0,315 \text{ kN/m}^2$$

Efeitos das ações a considerar

1. Carga permanente do módulo fotovoltaico **G: $0,1233 \text{ kN/m}^2$**
2. Carga de neve **S_{k, v}: $0,315 \text{ kN/m}^2$**
3. Ações do vento:
 - **W_p: $0,6065 \text{ kN/m}^2$ Pressão**
 - **W_{p'}: $-1,0614 \text{ kN/m}^2$ Sucção**

Combinações de carga

Para o cálculo de resistência no estado limite último:

- **Com carga de neve: $1,35 G + 0,9 W_p + 1,5 S_{k,v}$**
- **Com carga de vento por pressão: $1,35 G + 1,5 W_p + 0,75 S_{k,v}$**
- **Com carga de vento por sucção: $0,9 G + 1,5 W_{p'}$**

Nota:

- **G:** peso próprio,
- **S_{k,v}:** carga de neve,
- **W_p:** representa a ação do vento por pressão,
- **W_{p'}:** representa a ação do vento por sucção.

Para o cálculo da deflexão no estado limite de serviço, considere-se:

- **Com carga de neve: $1,0 G + 0,6 W_p + 1,0 S_{k,v}$**
- **Com carga de vento por pressão: $1,0 G + 1,0 W_p + 0,5 S_{k,v}$**
- **Com carga de vento por sucção: $1,0 G + 1,0 W_{p'}$**

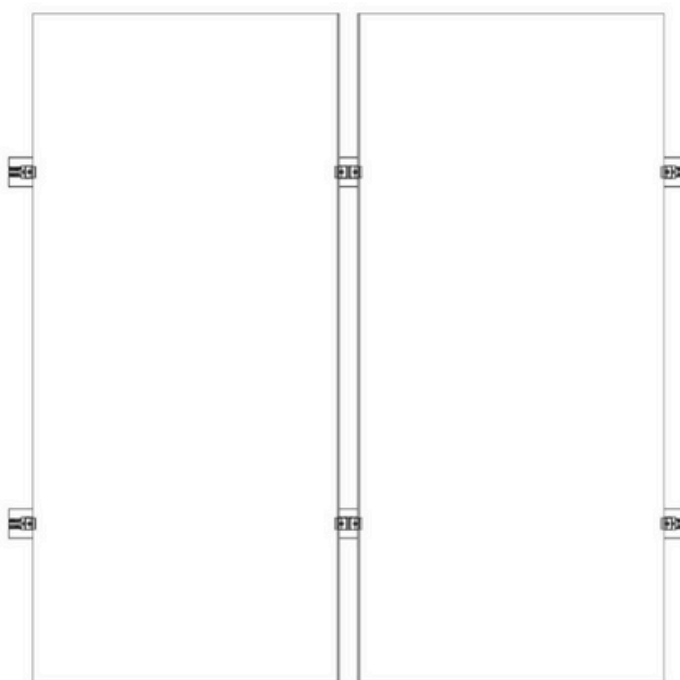
Nota:

- **G:** peso próprio,
- **S_{k,v}:** carga de neve,
- **W_p:** representa a ação do vento por pressão,
- **W_{p'}:** representa a ação do vento por sucção.

4. CÁLCULOS DE LA ESTRUTURA

DESCRIPÇÃO ESTRUTURAL

O projeto em questão utiliza um módulo fotovoltaico como exemplo.
A forma do lastro é de lastro biaxial de 10°.



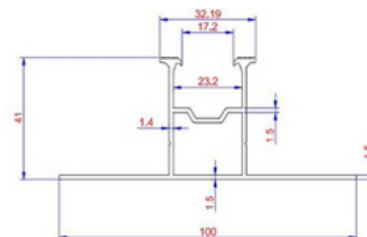
VERIFICAÇÃO DO RAIL

Vérifiez la résistance des pièces soumises à des contraintes.

- **Verifique a resistência das peças sujeitas a tensões.**

O rail de guia está representado na figura.

- **Material: AL6005-T5.**
- **Secção transversal A = 325,0 mm².**
- **Momento de inércia I = 146 698,6 mm⁴.**
- **Módulo de secção W = 11 029,96 mm³.**



- **Cálculo das ações:**

Para o cálculo da resistência no estado limite último, é necessário considerar:

- **Cargas de neve:** $(1,35 G + 0,9 W_p + 1,5 S_{k,v}) \times \text{superfície PV}$. $(1,35 \times 0,1233 + 0,9 \times 0,6065 + 1,5 \times 0,3151) \times 2,278 \times 1,134 = \mathbf{3,0612 \text{ kN}}$.
- **Com vento descendente (pressão):** $(1,35 G + 1,5 W_p + 0,75 S_{k,v}) \times \text{superfície PV}$ $(1,35 \times 0,1233 + 1,5 \times 0,6065 + 0,75 \times 0,3151) \times 2,278 \times 1,134 = \mathbf{3,3907 \text{ kN}}$.
- **Com vento ascendente (sucção):** $(0,9 G + 1,5 W_p') \times \text{superfície PV}$ $(0,9 \times 0,1233 + 1,5 \times -1,0614) \times 2,278 \times 1,134 = \mathbf{-3,8261 \text{ kN}}$.

VERIFICAÇÃO DO RAIL

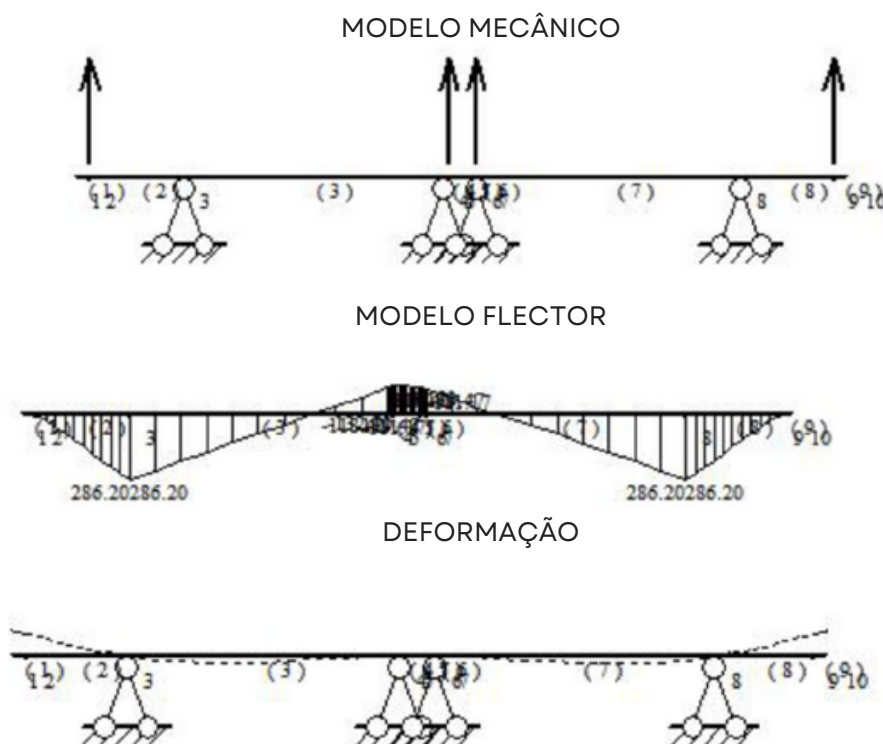
- Com ação do vento em pressão, a pressão na extremidade é de $3,391/4 = 0,848 \text{ kN}$.
- Com vento em sucção, a pressão no meio é de $-3,826/4 = 0,957 \text{ kN}$.

Para o cálculo da deformação no estado limite de serviço:

- Cargas de neve: $(1,0 G + 0,6 W_p + 1,0 S_{k,v}) \times \text{área da superfície PV}$ $(1,0 \times 0,1233 + 0,6 \times 0,6065 + 1,0 \times 0,3151) \times 2,278 \times 1,134 = 2,073 \text{ kN}$.
- Com vento descendente (pressão): $(1,0 G + 1,0 W_p + 0,5 S_{k,v}) \times \text{superfície PV}$ $(1,0 \times 0,1233 + 1,0 \times 0,6065 + 0,5 \times 0,3151) \times 2,278 \times 1,134 = 2,292 \text{ kN}$.
- Com vento ascendente (sucção): $(1,0 G + 1,0 W_p) \times \text{superfície PV}$ $(1,0 \times 0,1233 + 1,0 \times -1,0614) \times 2,278 \times 1,134 = -2,423 \text{ kN}$.
- Com a ação do vento em pressão, a pressão na extremidade é de $2,292/4 = 0,573 \text{ kN}$.
- Com o vento em sucção, a pressão no meio é de: $-2,423/4 = 0,606 \text{ kN}$.

• Análise de verificação

1. **Análise de modelação** (viga com apoios sob carga, força máxima na direção do vento, calculada em função da direção do vento).



Unidade: 1		Unidade: 3	
*dirección:	0.0000000	*dirección:	0.0000000
dirección y:	0.0020577	dirección y:	-0.0005179
Esquina:	-0.0066464	Esquina:	-0.0001436

VERIFICAÇÃO DO RAIL

2. Resultados da análise:

- Momento de flexão máximo $M_{max}=0,2862 \text{ kN}\cdot\text{m}$
- Desvio máximo do balanço $v_1= 2,0577 \text{ mm}$
- Desvio máximo no centro do vão $v_2= 0,5179 \text{ milímetros}$

3. Análise de verificação:

Verificação da resistência à flexão:

$$\sigma_1 = M_{max}/W = 0,2862 \cdot 10^6 / 11029,96 = 26 \text{ N/mm}^2 < f = 220 \text{ N/mm}^2$$

CONCLUSÃO: EM CONFORMIDADE COM OS REQUISITOS

- Desvio do balanço:

$$v_1 = 2,0577 \text{ mm} < [v] = 2L_1/120 = 2 \cdot 350/120 = 5,8 \text{ mm}$$

- Desvio a meio do percurso:

$$v_2 = 0,5179 \text{ mm} < [v] = L_2/120 = 837,5/120 = 7 \text{ mm}$$

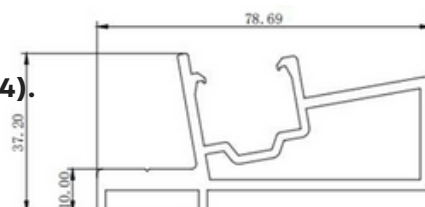
CONCLUSÃO: EM CONFORMIDADE COM OS REQUISITOS

CONCLUSÃO FINAL: o percurso cumpre os requisitos.

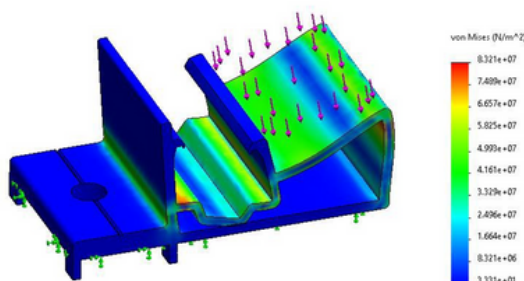
VERIFICAÇÃO DO GRAMPO DIANTEIRO

• Propriedades do material:

- Material: AL6005-T5
- As características geométricas da secção transversal são as seguintes: $A = 584,8 \text{ mm}^2$;
- Momento de inércia de rigidez $I = 326\,996,1 \text{ mm}^4$ (4).
- Módulo de secção de flexão $W = 32\,376 \text{ mm}^3$.



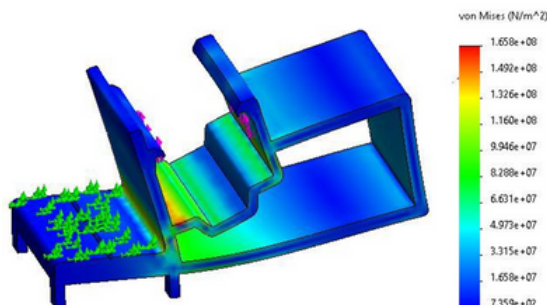
• Análise de modelação (com ação do vento sob pressão)



- Análise de verificação da tensão máxima $\sigma_1 = 83,21 \text{ N/mm}^2 < f = 220 \text{ N/mm}^2$

VERIFICAÇÃO DO GRAMPO DIANTEIRO

- **Análise de modelação** (com ação de sucção do vento)

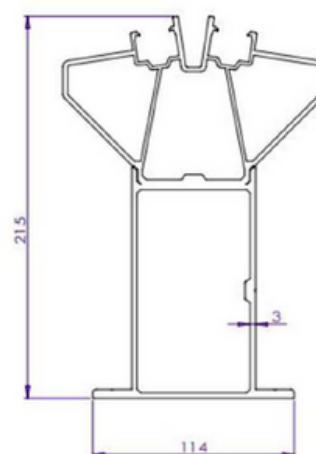
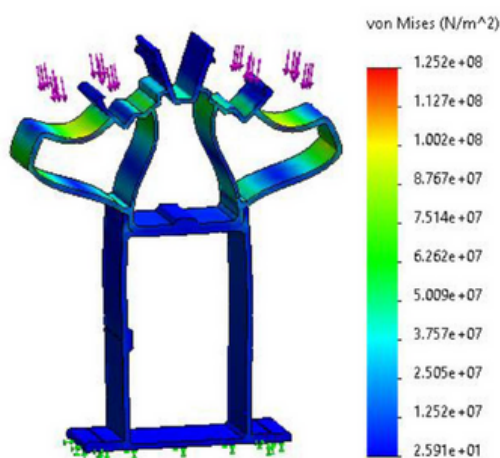


- **Análise de verificação da tensão máxima.**
 $\sigma_1 = 165,8 \text{ N/mm}^2 < f = 220 \text{ N/mm}^2$

CONCLUSÃO: O GRAMPO DIANTEIRO CUMPRE OS REQUISITOS.

VERIFICAÇÃO DO GRAMPO TRASEIRO DUPLO

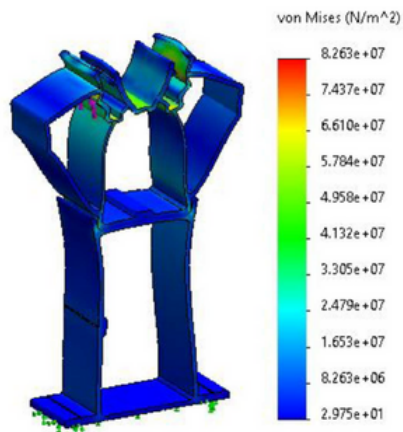
- **Propriedades do material:**
 - O material é AL6005-T5.
 - As características geométricas da secção transversal são as seguintes: $A = 2347,69 \text{ mm}^2$;
 - Momento de inércia de rigidez $I = 10\,230\,538,38 \text{ mm}^4$.
 - Módulo de secção de flexão $W = 107\,036,39 \text{ mm}^3$.
- **Análise de verificação**
 - **Análise de modelação** (com ação do vento sob pressão)



- **Análise de verificação da tensão máxima**
 $\sigma_1 = 125,2 \text{ N/mm}^2 < f = 220 \text{ N/mm}^2$

VERIFICAÇÃO DO GRAMPO TRASEIRO DUPLO

- **Análise de verificação**
 - **Análise de modelagem** (levando em consideração a ação do vento em sucção)



- **Análise de verificação da tensão máxima**
 $\sigma_1 = 82,63 \text{ N/mm}^2 < f = 220 \text{ N/mm}^2$

CONCLUSÃO: O GRAMPO TRASEIRO CUMPRE OS REQUISITOS.

CONCLUSÃO FINAL:

A estrutura portante satisfaz todos os requisitos em matéria de resistência.