

MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURAL

ESTRUTURA METÁLICA PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICO SL001

1 . OBJETIVOS:

Este memorial possui como objetivo apresentar projeto de uma estrutura metálica que deverá receber cargas referente a instalação de painéis fotovoltaicos (ESTRUTURA DE SOLO).

2 . INTRODUÇÃO:

2.1 RESUMO

Este dimensionamento foi realizado com os critérios e padrões adotados das normas vigentes ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios (Aços laminados e soldados).

A estrutura é em aço galvanizado, com a maioria das ligações aparafusadas, com terças em perfil de alumínio para apoio dos painéis fotovoltaicos, com uma coluna de aço e uma mão francesa.

2.2 NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS

ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço;

ABNT NBR 14762:2010 – Dimensionamento de perfis formados a frio

ABNT NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações;

ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações

3. REFERENTE AO CÁLCULO ESTRUTURAL

A análise estrutural da estrutura de solo será apresentada de forma detalhada neste tópico. A análise será realizada considerando as cargas de vento previstas em norma, para verificar a integridade da estrutura, de forma que o pior cenário de vento possível, segundo a norma, a estrutura não sofra colapso.

Tanto ações verticais como ações horizontais devem ser resistidas pelo sistema estrutural de um edifício. Tais ações são geradas por cargas, que podemos classificar como permanentes e variáveis dependendo das circunstâncias que se encontram as mesmas. Podemos também combiná-las mediante a sua ocorrência durante a vida da construção em combinação normal, especial, excepcional e de construção.

Cargas Permanentes: É formada pelo peso próprio de todos os elementos constituintes da estrutura, incluindo os pesos de equipamentos e instalações permanentes suportados na estrutura.

Sobrecarga: De acordo com a NBR8800/2008, admite-se que a ação variável accidental englobe as cargas resultantes de instalações elétricas e hidráulicas, de isolamento térmico e acústico, e de pequenas peças eventualmente fixadas na cobertura, até um limite superior de $0,05 \text{ kN/m}^2$. O valor de sobrecarga na cobertura deve ser especificado de acordo com sua finalidade, entretanto com um valor mínimo de **$0,25 \text{ kN/m}^2$** . Esta ação é considerada como uma carga uniformemente distribuída atuando sobre a projeção horizontal do telhado.

Vento: Como o vento tem grande importância no dimensionamento de estruturas metálicas, foram usados como critérios de cálculo as recomendações da NBR 6123/1988 – Forças devidas ao vento em edificações, para o correto levantamento das solicitações provocadas pelo vento.

A seguir serão apresentados os cálculos para as cargas de vento.

3.1 CONSIDERANDO VENTO COMO ESTRUTURA DE AGUÁ ISOLADA

3.1.1 Velocidade básica do vento (V_0)

É a Velocidade de uma rajada de três segundos de duração, a dez metros de altura, em campo aberto e plano, ultrapassada, em média, uma vez em 50 anos. Conforme o mapa de isopletas, publicada na NBR 6123/1988, a velocidade básica do vento na região para a estrutura analisada é de **35, 40, 45 & 50 m/s**, podendo ser utilizada em todas regiões do Brasil, de acordo com a NBR 6123/1988.

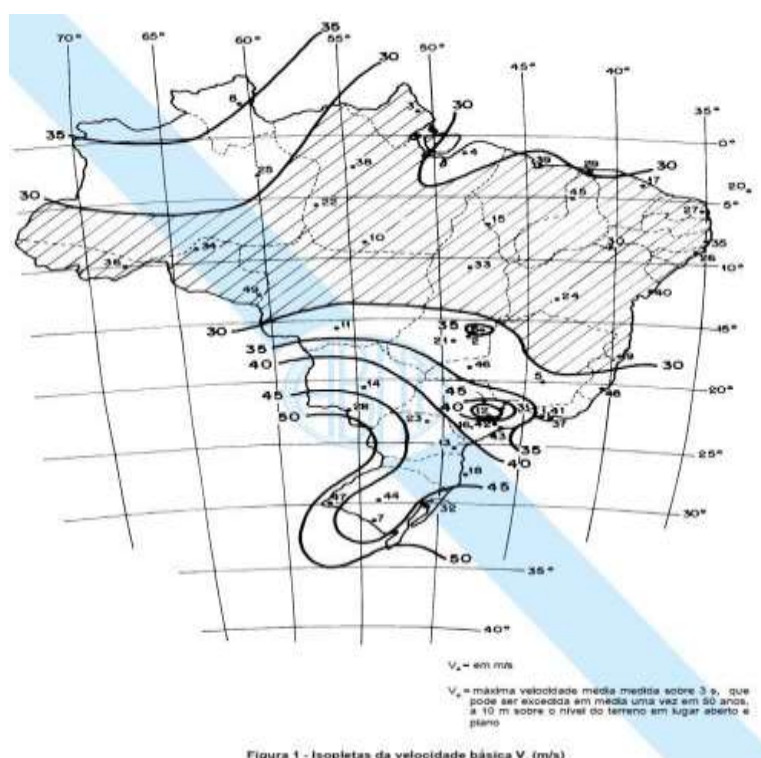


Figura 2: Mapa de isopletas da velocidade da velocidade básica do vento NBR 6123/1998

3.1.2 Fator Topográfico (S_1)

O fator topográfico S_1 leva em consideração as variações do relevo do terreno, apresentando-se com características próprias para algumas diversidades considerando o aumento ou diminuição da velocidade de vento em função da topografia do terreno.

Considerando a topografia e característica do entorno do local do projeto, adotou-se então o fator $S_1 = 1,0$.

3.1.3 Fator de Rugosidade (S_2)

O fator S_2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura do terreno e das dimensões da edificação ou parte dela. A NBR6123 considera cinco diferentes tipos de condições, partindo das opções que a norma disponibiliza foi analisado o terreno e seus arredores, onde pode se o classificar, quanto a rugosidade:

Categoria III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0 m.

Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

Utilizando a tabela de Fator de rugosidade da NBR6123/1988, encontra-se o fator de rugosidade $S_2 = 0,82$.

3.1.4 Fator estatístico (S_3):

O fator (S_3) é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido a vida útil da edificação. A NBR6123/1988 prevê como vida útil da edificação um período de cinquenta anos, com uma probabilidade em torno de 60% dessa velocidade de vento ser excedida ao menos uma vez durante esse período. Segundo a tabela 3 – VALORES MÍNIMOS DO FATOR

ESTATÍSTICO, para o edifício avaliado temos um valor $S_3 = 0,88$ por se tratar de uma estrutura de solo com baixo fator de ocupação.

Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Figura 3 – Tabela 3 da NBR6123/1988.

3.1.5 Velocidade característica do vento (V_k):

A velocidade básica do vento é multiplicada pelos fatores $S_1 * S_2 * S_3$, para obter a velocidade característica do vento, a qual será utilizada no dimensionamento da estrutura.

$$V_{k\ 35} = S_1 * S_2 * S_3 = 35 * 1,00 * 0,82 * 0,88 = 25,25 \text{ m/s}$$

$$V_{k\ 40} = S_1 * S_2 * S_3 = 40 * 1,00 * 0,82 * 0,88 = 28,86 \text{ m/s}$$

$$V_{k\ 45} = S_1 * S_2 * S_3 = 45 * 1,00 * 0,82 * 0,88 = 32,47 \text{ m/s}$$

$$V_{k\ 50} = S_1 * S_2 * S_3 = 50 * 1,00 * 0,82 * 0,88 = 36,08 \text{ m/s}$$

Neste caso vamos utilizar a velocidade característica como sendo V_{k45} .

3.1.6 Pressão dinâmica (q_v):

Com a velocidade característica do vento podemos calcular a pressão dinâmica do vento.

$$Q_{v35} = 0.613 * V^2 = 0.613 * 25.25^2 = 390.82 \text{ N / m}^2 - 0.390 \text{ KN / m}^2$$

$$Q_{v40} = 0.613 * v^2 = 0.613 * 28.86^2 = 510.56 \text{ N / m}^2 - 0.510 \text{ KN / m}^2$$

$$Q_{v45} = 0.613 * v^2 = 0.613 * 32.47^2 = 646.28 \text{ N / m}^2 - 0.646 \text{ KN / m}^2$$

4-) CONSIDERAÇÕES TRATANDO COBERTURA COMO SENDO ISOLADA A ÁGUAS PLANAS ITEM 8.2 NBR 6123/1988

Assim que determinados os esforços derivados da pressão do vento, se faz necessário determinar de que maneira essa pressão de vento interage com a edificação. A norma NBR 6123/1988 define que tais esforços atuam sobre a estrutura a partir dos coeficientes aerodinâmicos, que são divididos em dois tipos: coeficiente de pressão e de forma externos (C_{pe}) e coeficiente de pressão interno (C_{pi}). Os valores destes coeficientes são determinados, para este caso, através do item 8 da referida norma, coeficientes de forma para muros, placas e coberturas isoladas.

8.2.3 Os coeficientes das Tabelas 17 e 18 aplicam-se somente quando forem satisfeitas as seguintes condições

- coberturas a uma água (Tabela 17): $0 \leq \tan \theta \leq 0,7$,
 $h \geq 0,5 l_x$;

- coberturas a duas águas (Tabela 18): $0,07 \leq \tan \theta \leq 0,6$,
 $h \geq 0,5 l_x$;

Onde:

h = altura livre entre o piso e o nível da aresta horizontal mais baixa da cobertura

l_x = profundidade da cobertura

θ = ângulo de inclinação das águas da cobertura

Figura 4

4.1-) Item 8.2.3 NBR 6123/1988

Figura 3 – Item 8.2.3 da norma NBR 6123/1988

$$0 \leq \operatorname{tg} \theta \leq 0,7 \rightarrow \operatorname{tg}(15^\circ) = 0,267$$

$$h \geq 0,5 * l_2 \rightarrow 0,9 * 3,5 = 1,57m$$

Portando de acordo com o projeto a aresta mais baixo da cobertura é menor que o valor encontrado, logo não atende ao item 8.2.3 da norma

Dessa Forma não se aplica os coeficientes de pressão considerados na tabela 17 da norma NBR 6123/1998.

4.2-) Item 8.2.4 NBR 6123/1988

Dessa forma se aplica o item 8.2.4 da norma, conforme indicações, se faz necessário prever uma possível obstrução que possa ser colocada sob a cobertura ou junto a ela, como por exemplo grandes veículos. Esta deve resistir à ação do vento, na zona de obstrução, calculada para uma edificação fechada e de mesma cobertura, com $C_{pi} = +0,8$, para obstrução na borda de sotavento, e com $C_{pi} = -0,3$, para obstrução na borda à barlavento.

4.3) Item 8.2.5 NBR 6123/1988

8.2.5 Para vento paralelo à geratriz da cobertura, devem ser consideradas forças horizontais de atrito calculadas pela expressão:

$$F_H = 0,05 \cdot q \cdot a \cdot b$$

sendo a e b as dimensões em planta da cobertura. Estas forças englobam a ação do vento sobre as duas faces da cobertura.

Figura 5

Item 8.2.5, trata da força de atrito, como a estrutura é plana, ou seja, sem ondulações sem pontos de atrito laterais, não será considerado essa força para efeito de cálculo.

4.4) Cálculo de vento considerando método cobertura isolada

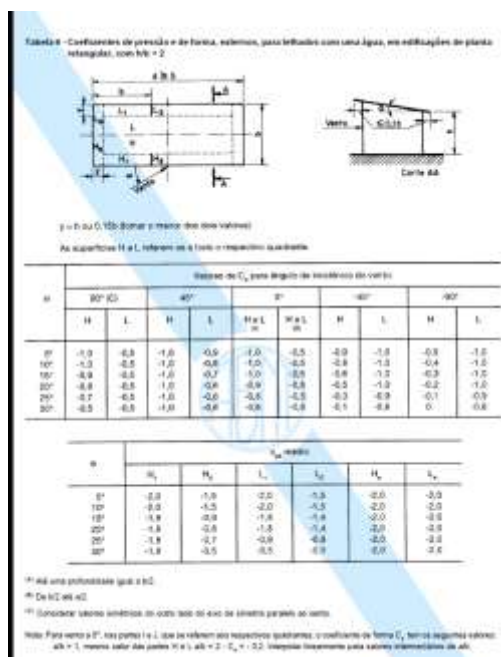


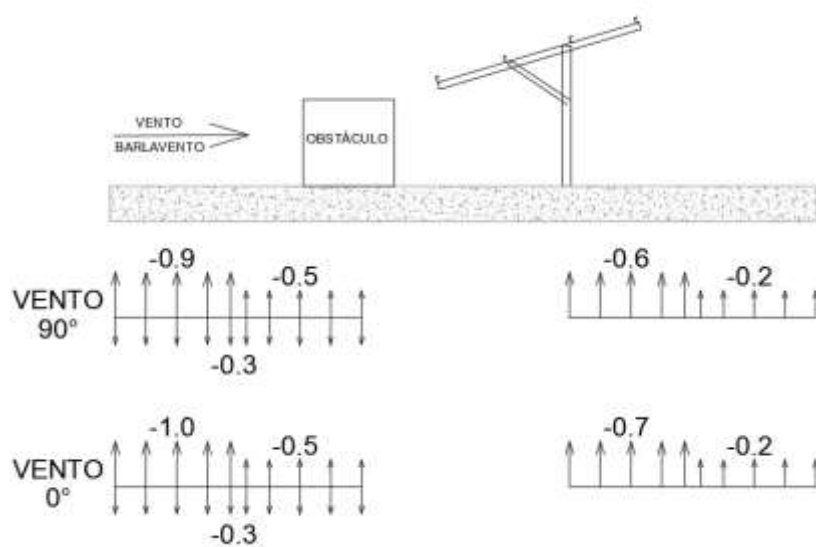
Figura 6: Tabela 5 Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhado com uma água, em edificações de planta retangular, com $h/b < 2$ (NBR 6123/1988).

Tabela 1 - C_e para cobertura de uma água, temos que para inclinação de 15°

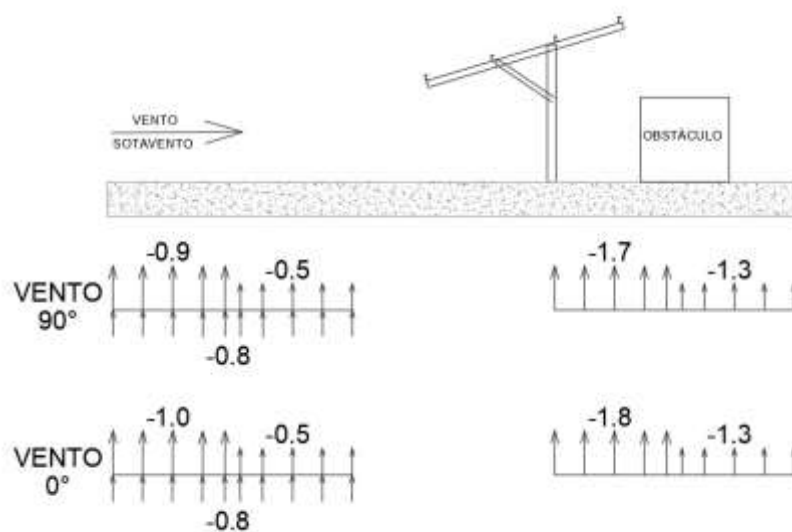
Valores de Ce para:				Cpe médio
α = 90°		α = 0°		
H	L	H e L (A)	H e L (B)	-2,0
-0,9	-0,5	-1,0	-0,5	

Figura 7 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhado com uma água, em edificações de planta retangular com $h/b < 2$ (NBR 6123/1988)

4.5-) VENTO A BARLAVENTO



4.5.1-) VENTO A SOTAVENTO



Conforme analisado as duas situações de ventos, podemos observar que o vento 0° a sotavento foi o carregamento mais crítico da estrutura, assim podemos ser considerado para efeito de Cálculo.

Carga de vento aplicada na cobertura em Kgf / m² será de:

$$\text{Carga de vento } 45 \text{ m/s} = 64.60 \text{ kgf / m}^2 * [-1.8] = 116.28$$

kgf / m²

Descrição	δ^a
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura ^{a)}	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura ^{a)}	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: ^{h)}	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000^i$
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400^{k,l}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^m$
Lajes mistas	Ver Anexo Q

^{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 estes 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.

^{g)} Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade.

^{h)} Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm.

ⁱ⁾ Valor não majorado pelo coeficiente de impacto.

^{j)} Considerar combinações raras de serviço.

^{k)} No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm.

^{l)} O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm.

^{m)} Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.

Figura 8 – Deslocamento máximo dos elementos (NBR 8800 e NBR14762)

As combinações de carga são realizadas automaticamente pelo software.

5 – VERIFICAÇÃO DE CÁLCULO:

Nesta seção serão apresentados os métodos de cálculos e as análises de Cálculo:

PP = Peso Próprio: Automático pelo Software – neste caso Cype 2021.

CP1 = Sobrecarga dos Paineis Fotovoltaicos: **15.00 kg/m²**

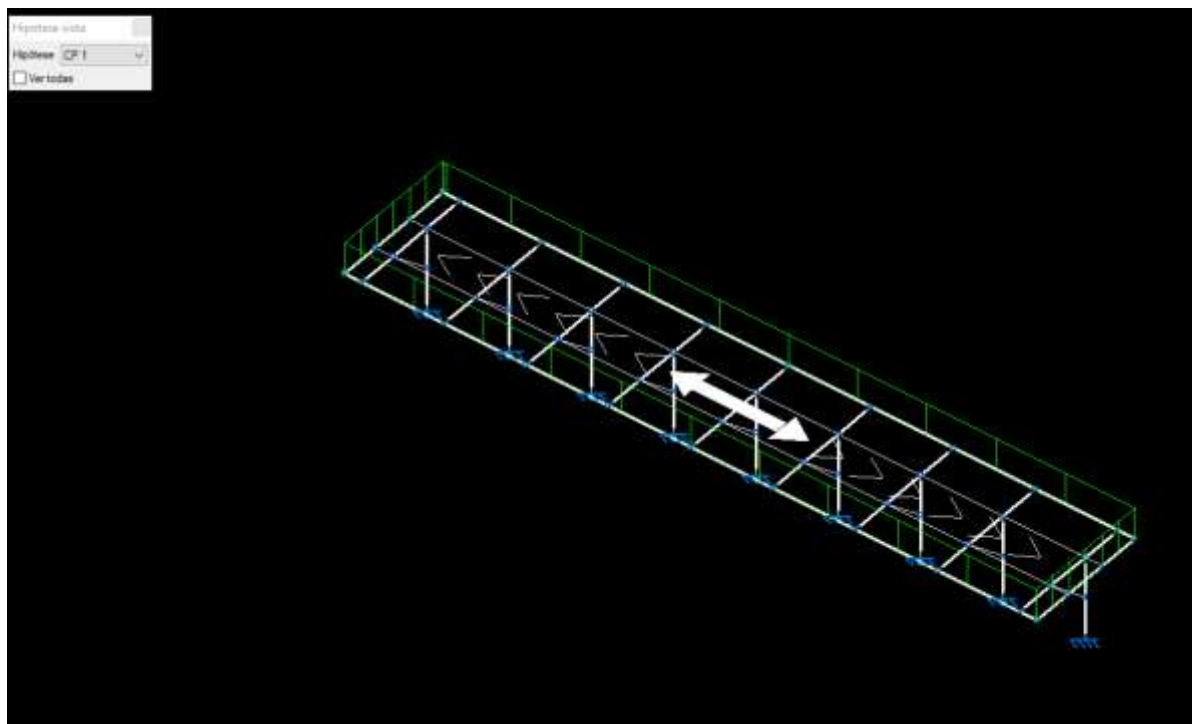
SCU 1 = Sobrecarga de utilização conforme norma NBR 8800: **Não será considerada para esse tipo estrutura visto que a carga crítica e a situação em que ocorre ventos, por ser uma estrutura de solo não será acrescentado peso considerável em cima da mesma., considerando a não ocorrência do trafico de pessoas e equipamentos.**

VENTO = 45 m/s – Conforme Isopleta : (116.28 kg / m²)

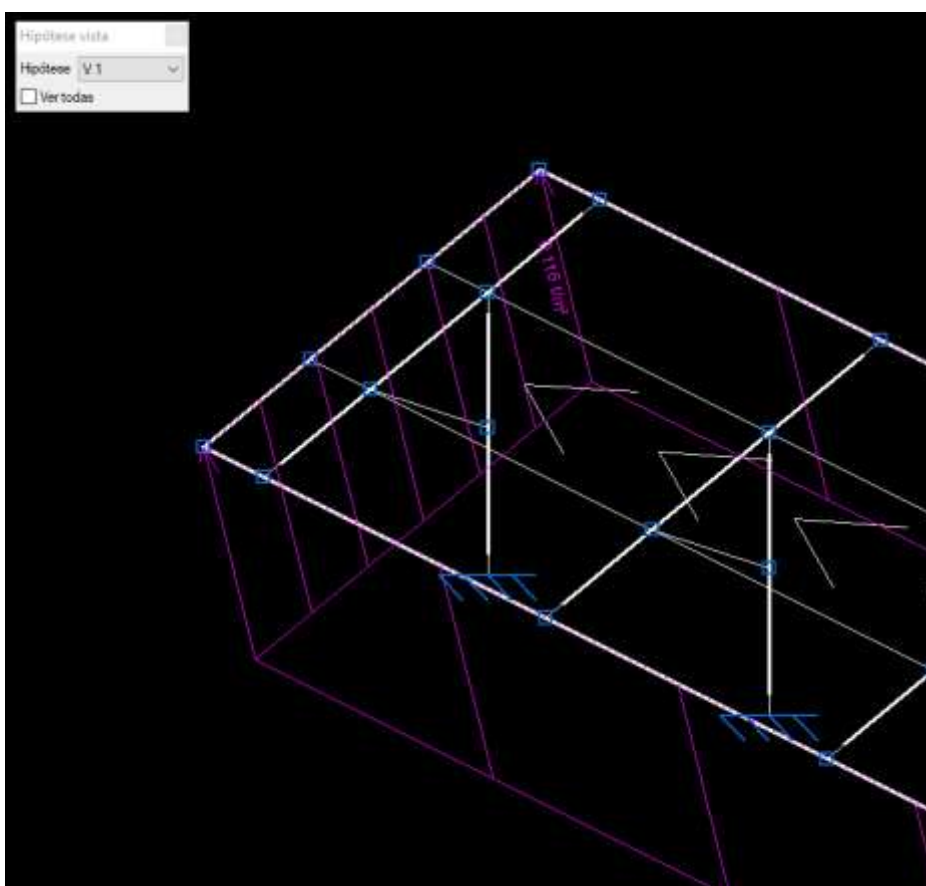
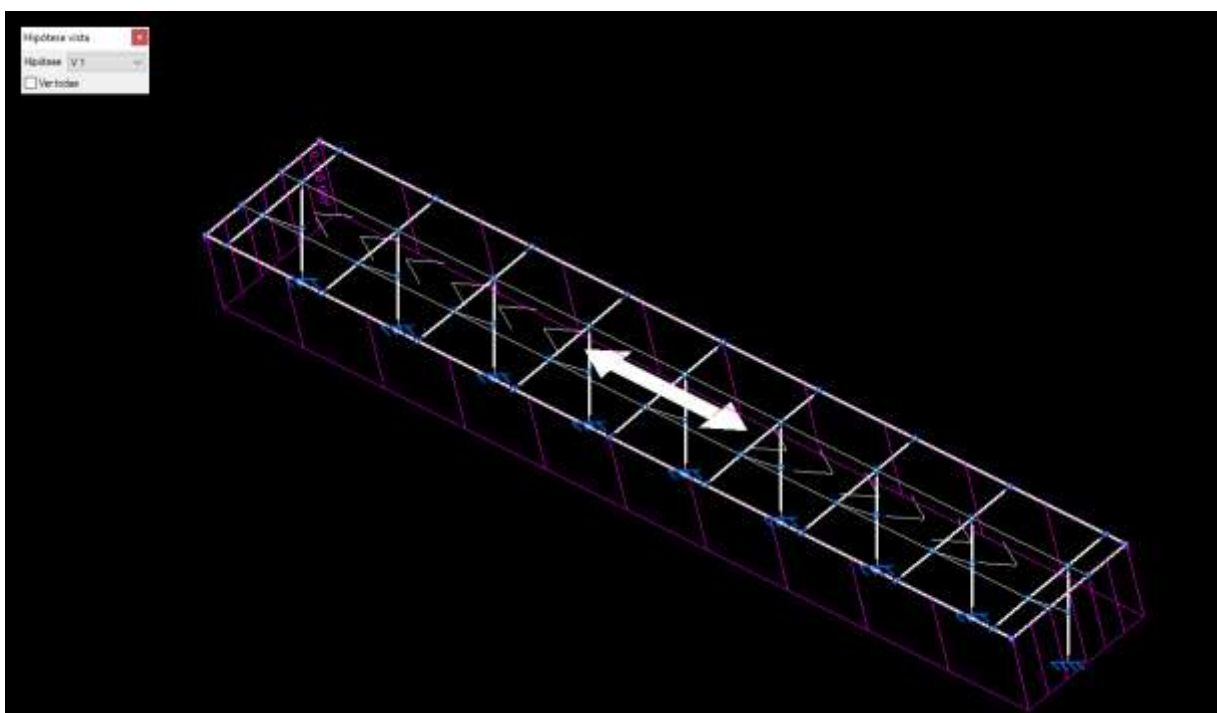
5.1-) Aplicação das cargas citadas na estrutura em tonelada / m²:

ESTRUTURA DE 40 MÓDULOS:

CP1 = SOBRECARGA DOS PAINÉIS:



VENTO = 45 m/s – Conforme Isopleta : (116.28 kg / m²)



40 módulos:

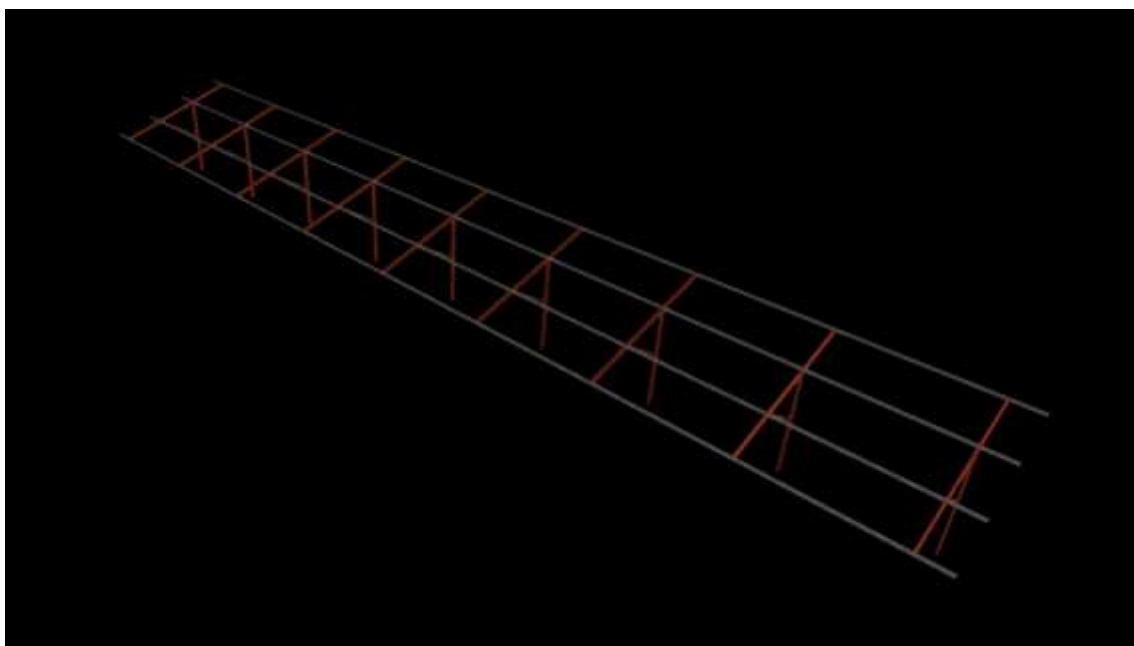
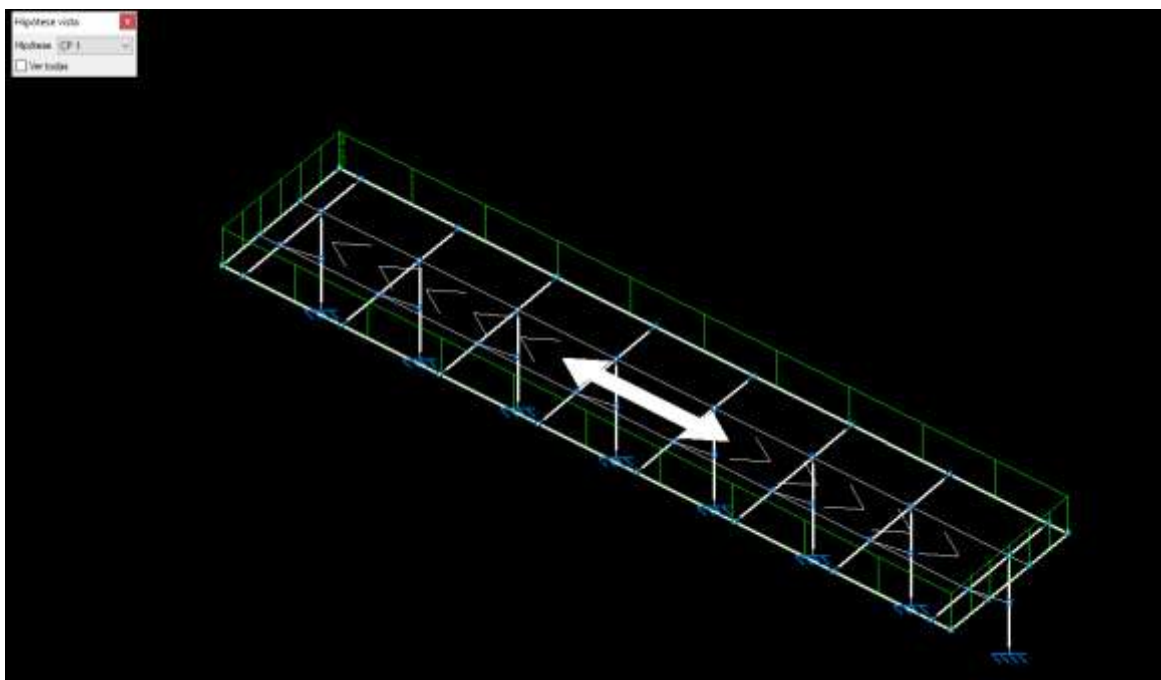
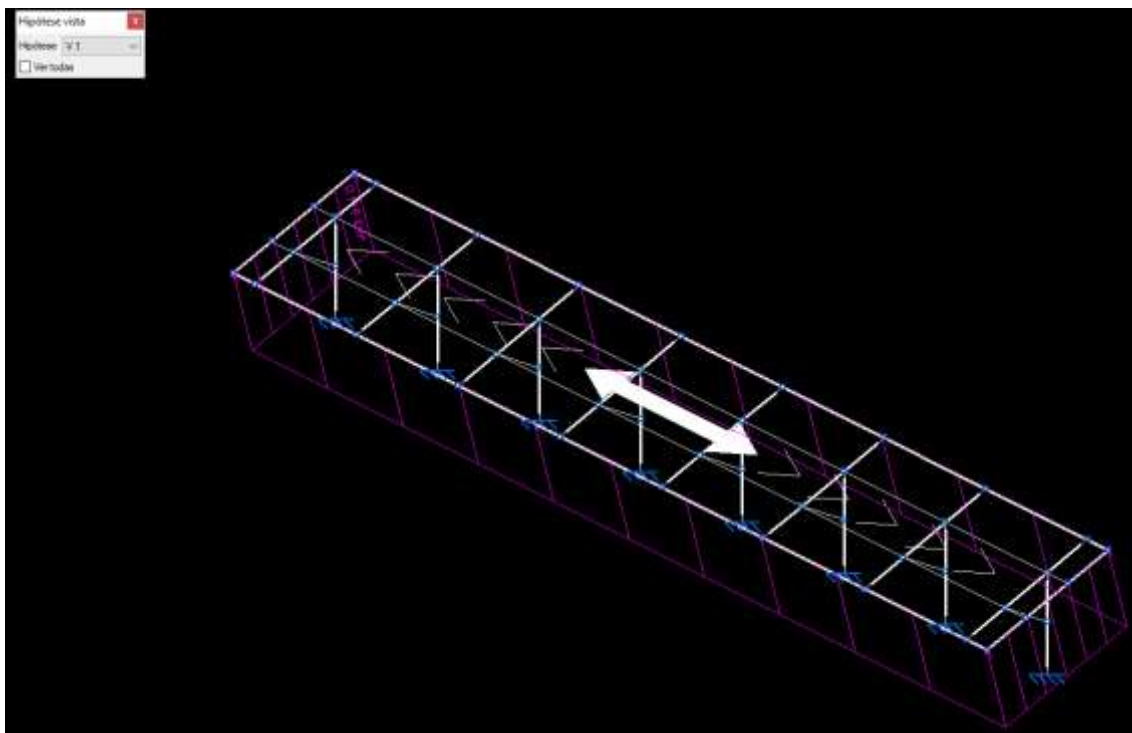


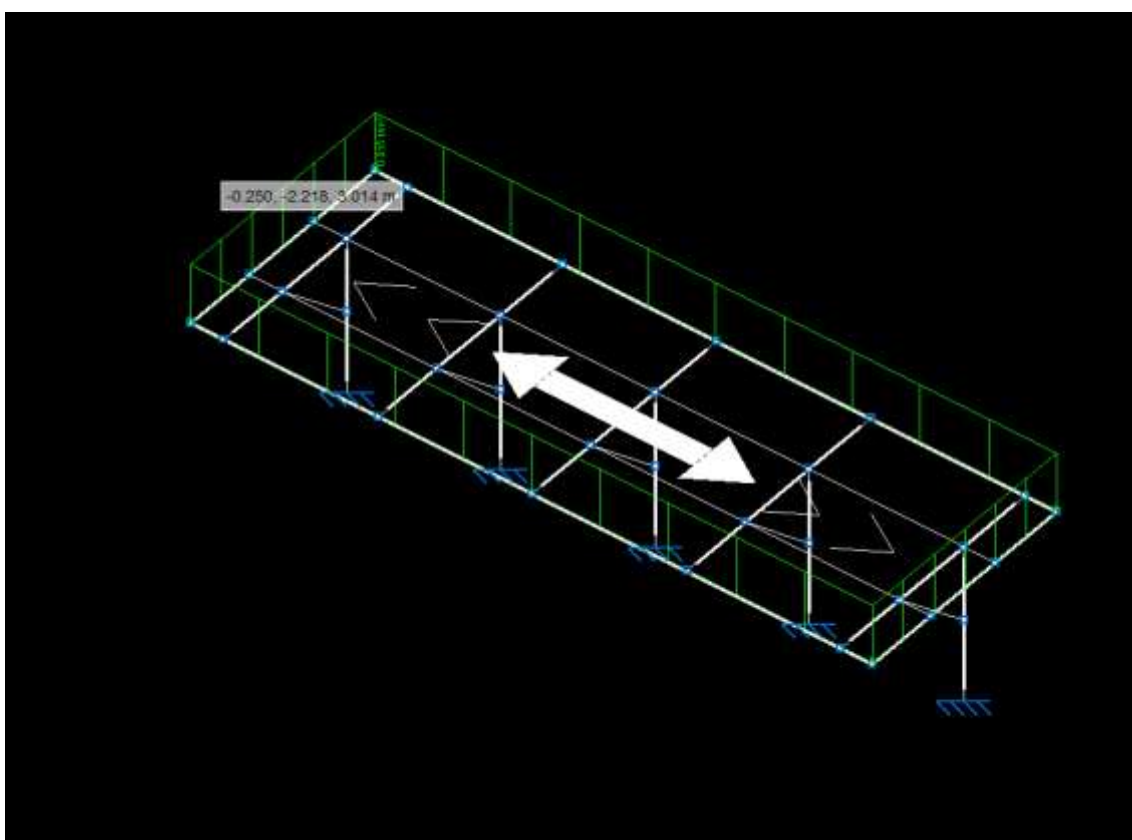
Figura 9 – Aplicação das cargas – Carga em verde (peso painel) + Carga em roxo (vento)

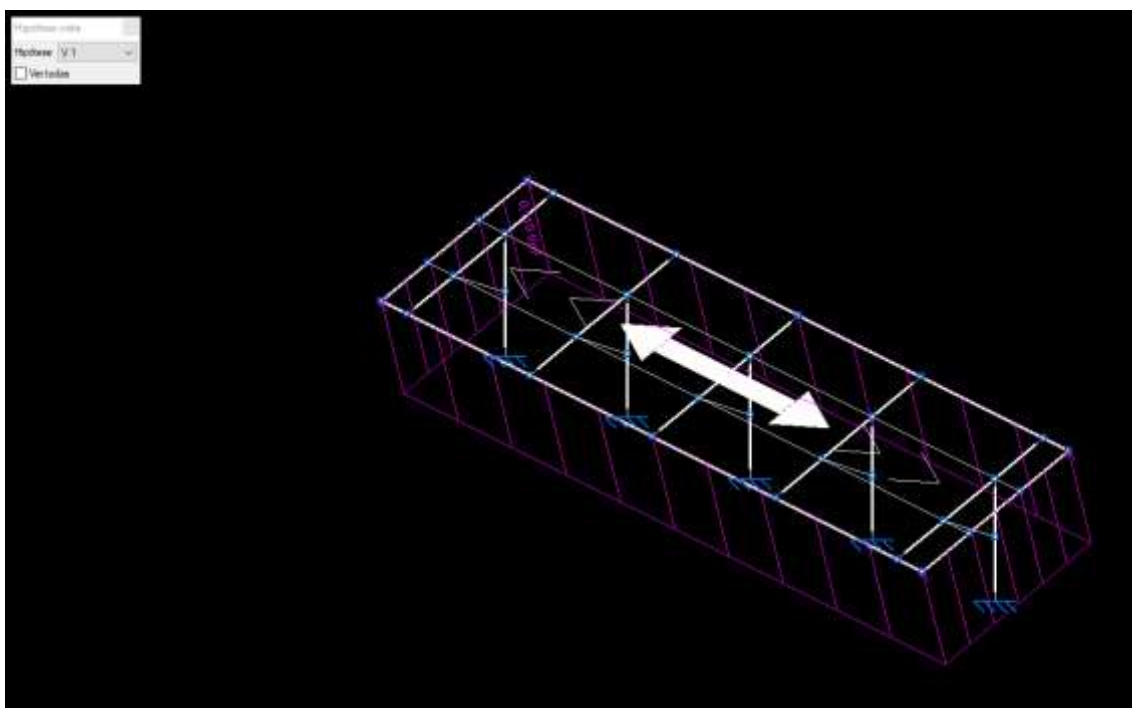
5.2-) ESTRUTURA 36 módulos:





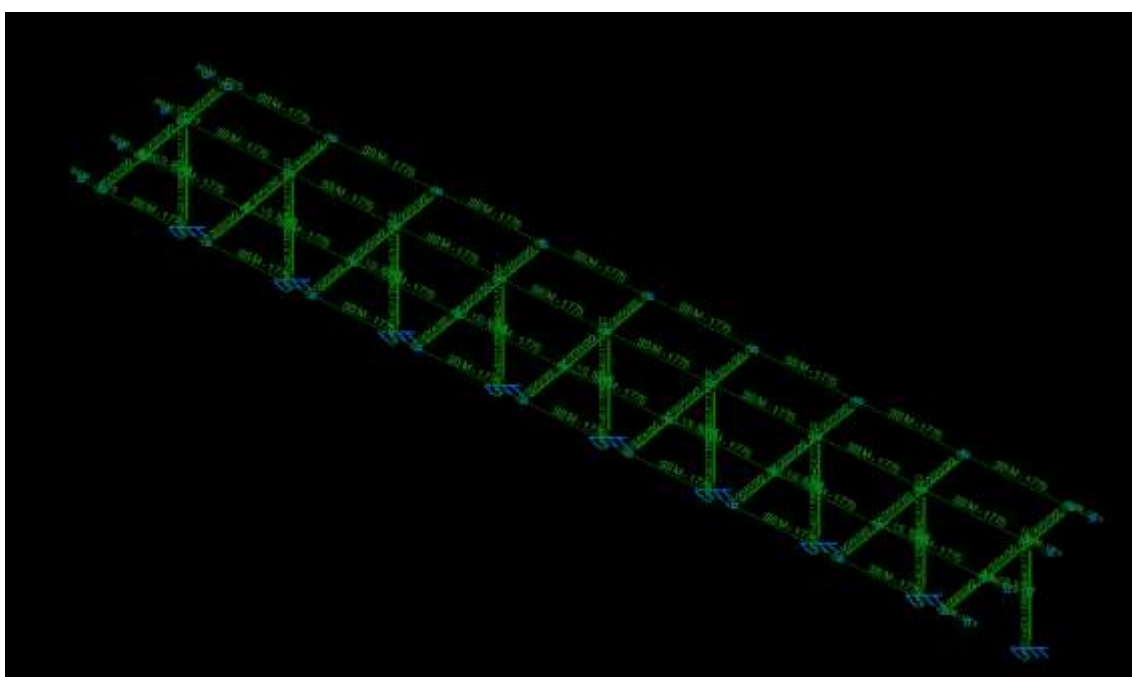
5.2-) ESTRUTURA 20 módulos:



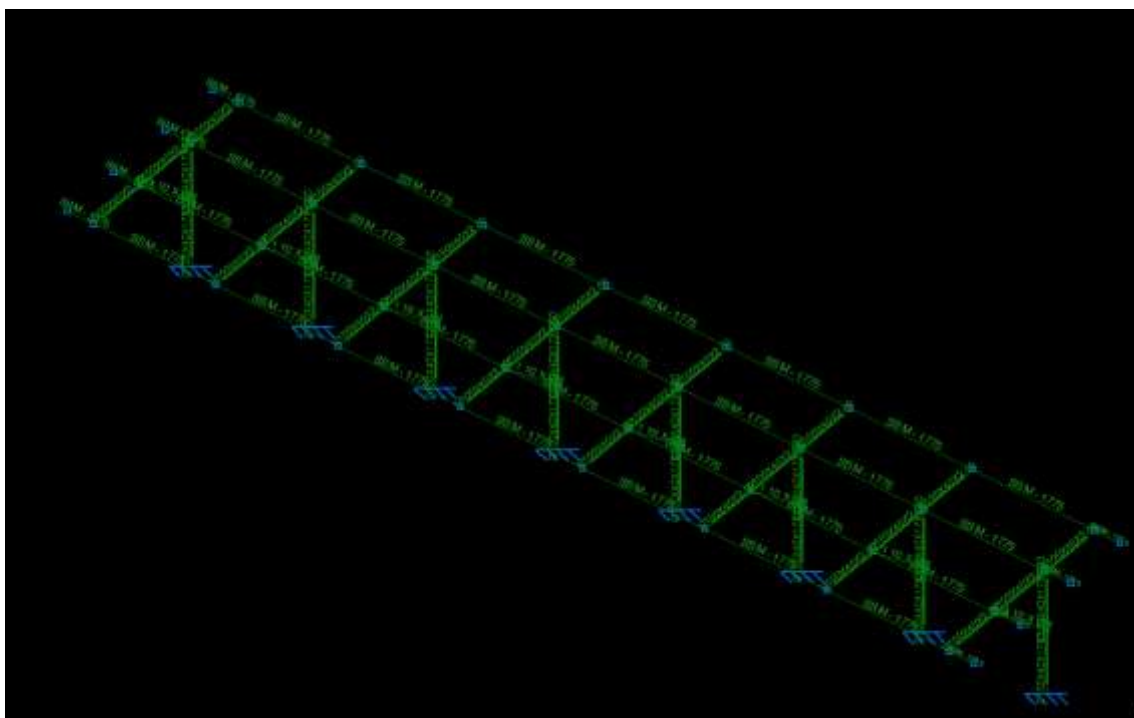


5.3-) ESTRUTURA APROVADA NOS CÁLCULOS:

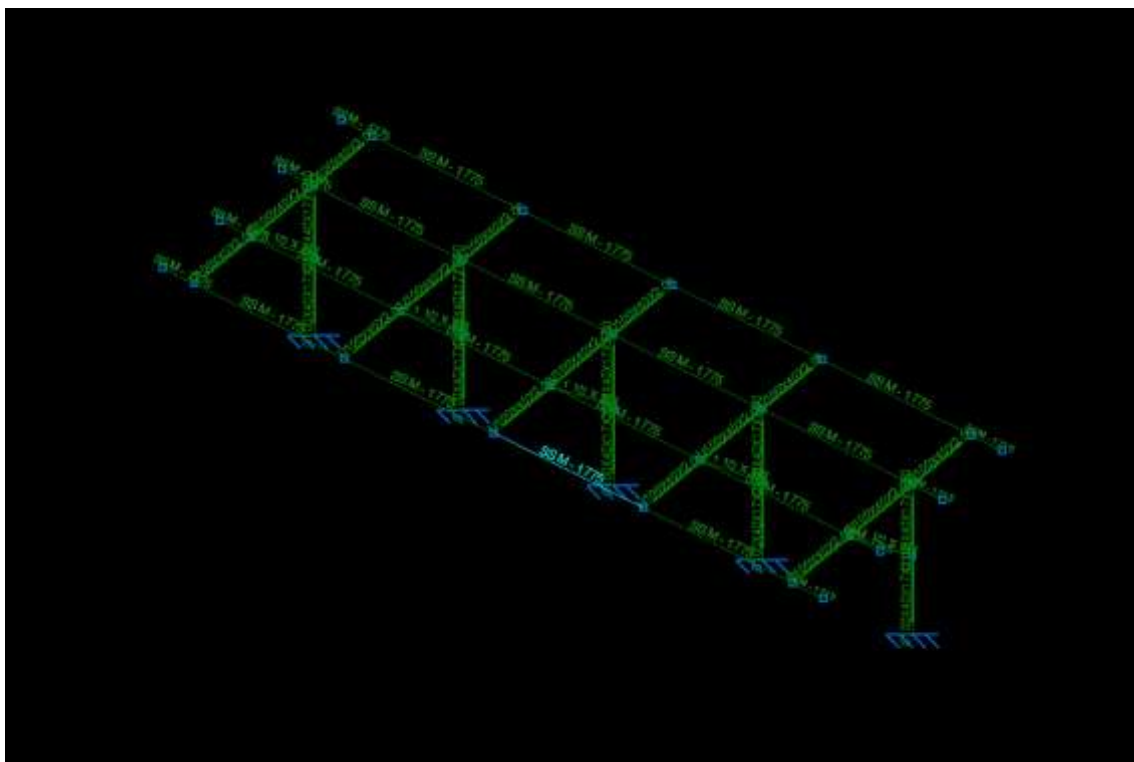
40 módulos:



36 Módulos:



20 módulos:



5.2-) DESLOCAMENTOS:

Anexo c: ABNT NBR 8800

Descrição	δ^a
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura ^{a)}	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura ^{g)}	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: ^{j)}	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000^i$
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400^{k,l}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^m$
Lajes mistas	Ver Anexo Q

^{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 estes 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.

^{g)} Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade.

^{h)} Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm.

ⁱ⁾ Valor não majorado pelo coeficiente de impacto.

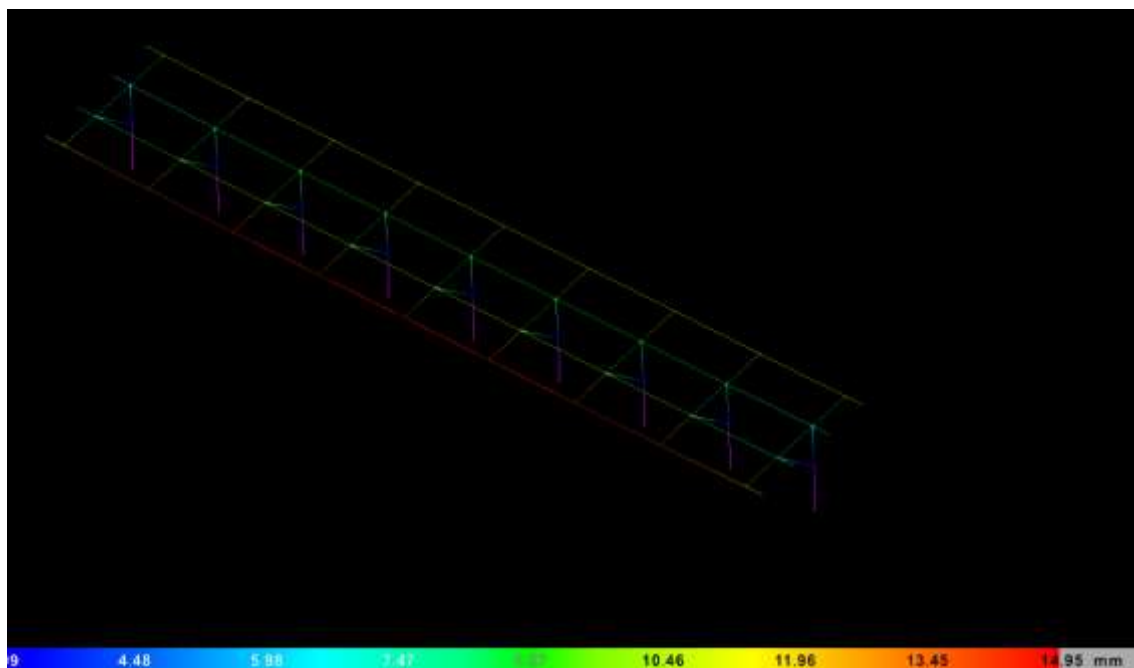
^{j)} Considerar combinações raras de serviço.

^{k)} No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm.

^{l)} O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm.

^{m)} Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.

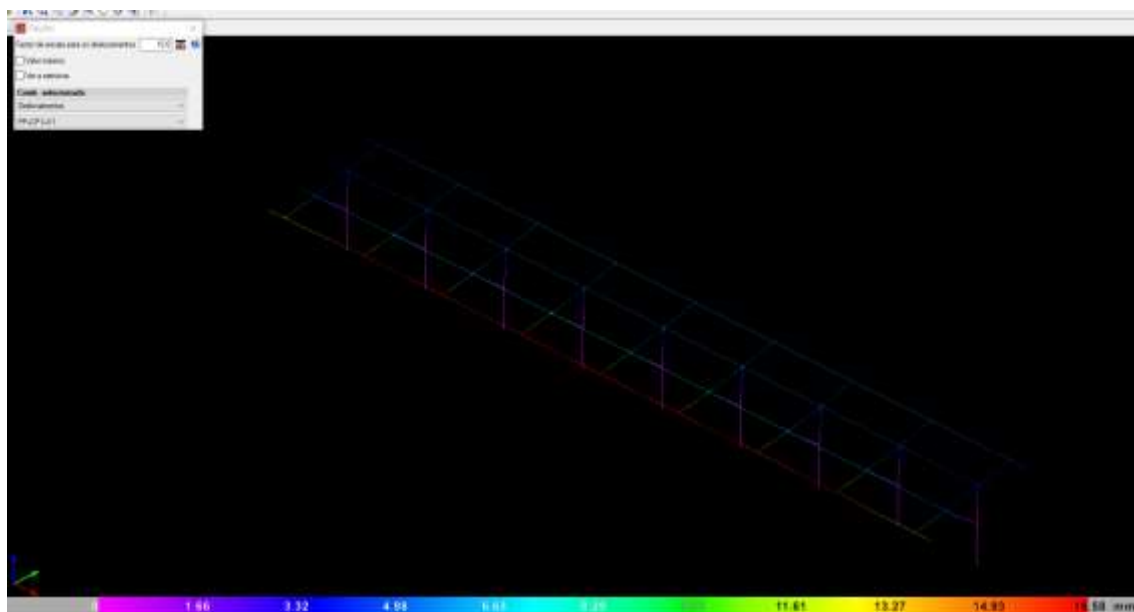
DESLOCAMENTOS PERMITIDOS MESA DE 40 MÓDULOS:



Peso Próprio + Paineis

Deslocamento apresentado valor máximo de 14.95 mm. Podemos chegar em um valor máximo de 20.16 mm

(Peso Próprio Estrutura Metálica + 0.015 tf/m² + 0.116 tf/m²)



(Peso Próprio Estrutura Metálica + 0.015 tf/m^2 + 0.116 tf/m^2)

Deslocamento apresentado valor máximo de 16.58 mm Podemos chegar em um valor máximo de 20.16 mm.

7 -) CONCLUSÃO:

De acordo com as premissas, considerações e verificações a estrutura analisada apresenta deformações dentro do permitido e resistência suficiente para as solicitações de utilização.

Eng. Civil Gustavo H. M. Lopes
CREA-PR 176108 / D