

ANÁLISE E PROJETO DE PILARES ÁRVORE EM ESTRUTURA DE AÇO

ANALYSIS and DESIGN OF STEEL TREE COLUMNS

Thiago da Silva Castro¹, Zacarias Martin Chamberlain Pravia²

¹Universidade de Passo Fundo, Campus I, Bairro São José, BR-285. Passo Fundo/RS, CEP: 99052-900.

E-mail: 91610@upf.br

²Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Campus I, Bairro São José, BR-285. Passo Fundo/RS, CEP: 99052-900. E-mail: zacarias@upf.br

RESUMO

Com o grande avanço da engenharia e da arquitetura surge à necessidade da utilização de novos elementos e sistemas construtivos, tais como os pilares árvore em estruturas de aço que vem sendo utilizada não só no Brasil, mas em todo o mundo como uma nova forma de elementos arquitetônicos, possuindo uma grande vantagem estrutural, com esse grande avanço ocorrendo de forma rápida às metodologias não conseguem acompanhar esse ritmo de evolução. Com isso os engenheiros devem se adequar aos possíveis problemas com os quais eles podem se deparar durante a realização de projetos que saem dos padrões usuais, com a falta de material disponível para se utilizar como referência e de fácil compreensão dos profissionais faz-se necessária à elaboração de estudos teóricos de acadêmicos nas instituições de ensino. Assim o trabalho visa solucionar e mostrar caminhos aos quais podem ser seguidos para a resolução desses problemas. No desenvolver no trabalho foram abordados possíveis tipos de análise para compreender o comportamento da estrutura.

Palavras-chave: pilares árvore, colunas árvore, colunas ramificadas.

ABSTRACT

With the advance of forms in architecture nowadays arises the necessity of use of new types of elements and constructive systems, such as the steel tree columns which has been used not only in Brazil, but worldwide as a new form of architectural elements possessing a huge structural advantage. With this the structural engineers must fit to possible issues with which they may come across while conducting projects that come out of the usual standards, with the lack of available material to use as reference and easy comprehension for analysis and design, it is necessary the elaboration of theoretical studies to analyze and design them. This paper aims to solve and show alternatives to understand the behavior of that kind of system and ways to design it.

Keywords: steel tree columns, branching columns.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho procura definir uma metodologia para a análise e o dimensionamento de pilares árvore em estrutura de aço. O principal problema encontrado foi à falta de referências para a análise e dimensionamento desse tipo de configuração, embora, tenham grande apelo arquitetônico e sejam utilizadas em diversas obras, principalmente, ginásios, shoppings e aeroportos.

Como atualmente diversos projetos arquitetônicos são complexos e possuem padrões diferenciados dos utilizados normalmente, nasceu à necessidade de se utilizar elementos diferenciados para suprir as necessidades arquitetônicas dos projetos. Em virtude dessa necessidade e preciso aprimorar as técnicas de análise já existentes, para se conseguir aproximar o modelo matemático da realidade.

2. DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS

Como não existem bibliografias ou artigos apresentando um modelo básico para a concepção dos possíveis modelos que os pilares árvore podem assumir, serão analisados alguns modelos utilizando análise de flambagem elástica, para se avaliar o comportamento dos modelos através de comparações geométricas e carga elástica de flambagem.

Para melhor compreender o comportamento dos pilares árvore serão montados modelos variando angulação entre os ramos, número de ramos e comprimento dos elementos, porém mantendo a altura total constante.

3. MODELOS EM 2D E 3D

Nos primeiros modelos criados para se entender o comportamento dos Pilares árvore foi determinado como o número de ramificações e a angulação entre ramos irá afetar o comprimento dos elementos e o aumento da carga crítica comparada a um pilar padrão. Foram desenvolvidos vários modelos variando apenas a angulação entre os ramos, mantendo a altura constante e utilizando o mesmo carregamento para todos os modelos.

Para os modelos 2D foram encontrados os seguintes valores após feitas as análises:

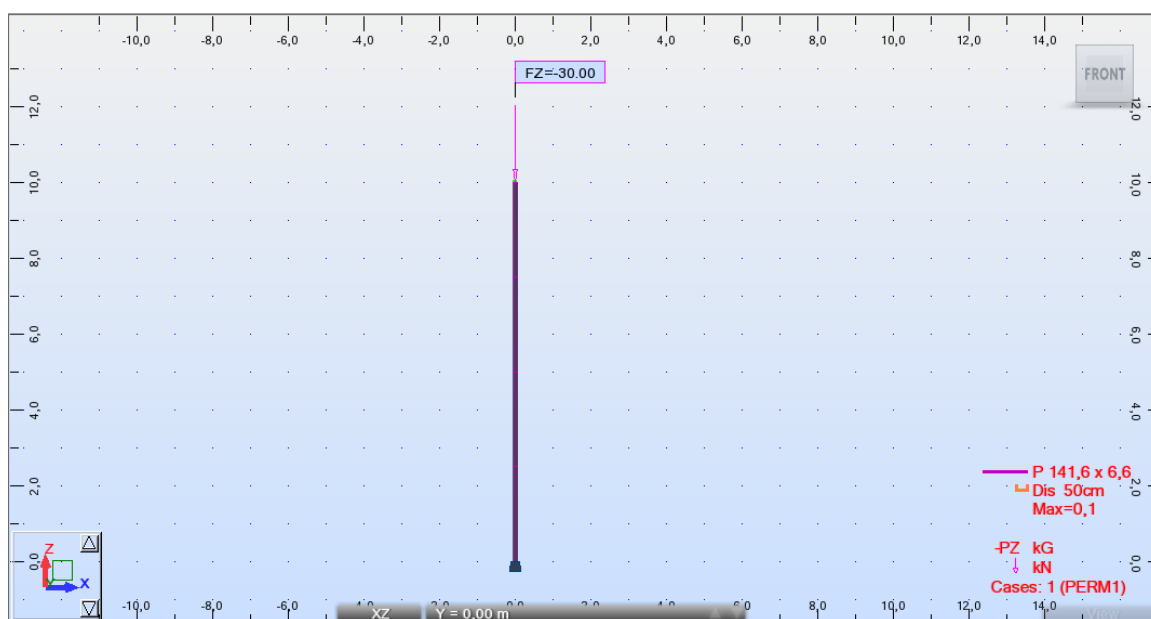


Figura 1 - Modelo Padrão

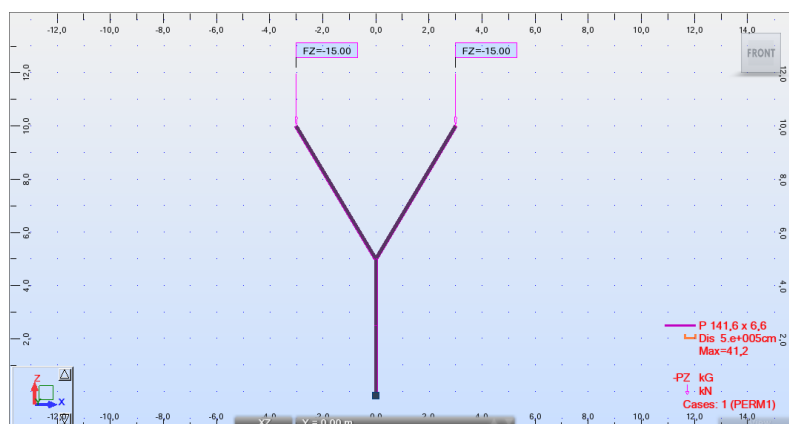


Figura 2 - Modelo de Ramificação

Quadro 1 - Tabela comparativa dos Modelos 2D

Modelos 2D				
Tipo	Comprimento (mm)	PE crítico (kN)	Aumento de comprimento	Aumento de carga
Padrão	10000	30,86	-	-
15°	14282	32,93	42,82%	6,71%
25°	14800	32,73	48,00%	6,06%
35°	15000	32,66	50,00%	5,83%
45°	16000	32,31	60,00%	4,70%
55°	19946	30,87	99,46%	0,03%
45° 4 ramos	19530	31,65	95,30%	2,56%

Seguindo o mesmo padrão foram desenvolvidos modelos em 3D, também fazendo a variação de angulação entre ramos e mantendo a altura constante.

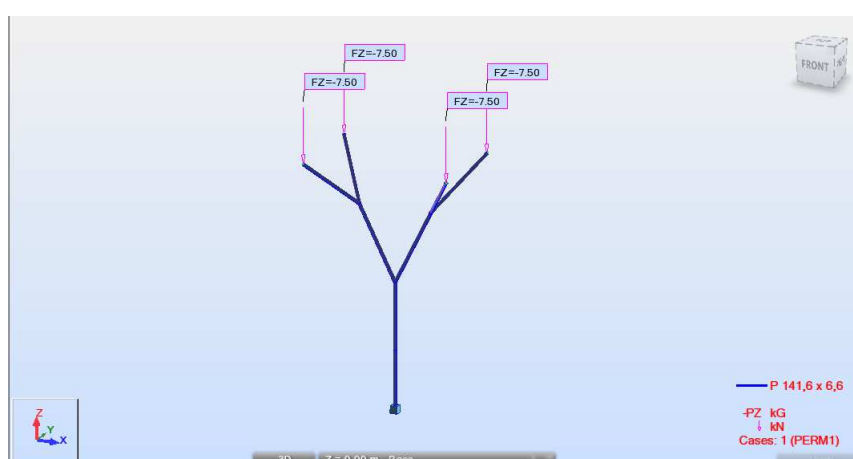


Figura 3 – Modelo em 3D

Os resultados encontrados para os modelos em 3D foram os seguintes:

Quadro 2 - Tabela comparativa Modelos 3D

Modelos 3D				
Tipo	Comprimento (mm)	PE crítico (kN)	Aumento de comprimento	Aumento de carga
Padrão	10000	30,86	-	-
4 ramos diretos	27540	34,68	175,40%	4,74%
4 ramos divididos	28804	35,56	188,04%	1,03%
6 ramos diretos	38310	32,89	283,10%	6,65%
6 ramos divididos	37540	34,4	275,40%	4,89%
8 ramos diretos	41608	32,25	316,08%	5,96%

Com os resultados obtidos foi possível entender qual a influência de utilizar uma angulação muito elevada entre os ramos, ao qual diminuiu consideravelmente a resistência global do elemento e ao se utilizar uma angulação muito baixa ocorre com que o elemento se comporte como um elemento simples de coluna, assim não tendo uma grande vantagem na sua utilização.

4. CAPACIDADE RESISTENTE DOS PILARES ÁRVORE

Outro tipo de análise que foi desenvolvida para determinar qual o comportamento dos pilares quando se varia a altura do ponto onde ocorre a ramificação do pilar. Para isso foram desenvolvidos modelos de ramificação variando os ramos em 4, 6 e 8 ramos e variando a altura do ponto onde ocorre essa ramificação, para tentar compreender como ele se diferencia de um pilar comum apenas engastado e livre no topo, para se comparar os modelos foi utilizada análise elástica de flambagem a qual apresenta como resultados modos de flambagem que onde é possível determinar a carga crítica do modelo e assim à capacidade do modelo.

Outro parâmetro que foi usado consiste em utilizar à mesma seção para todos os elementos e uma carga constante para o pilar padrão, para os demais apenas dividiu-se essa carga conforme o número de ramificações. Como referência foi utilizada uma carga de 150 kN e uma seção tubular de sem costura de 168,3 x 7,1 mm, esse sendo o carregamento e material padrão, para os modelos seguintes foi fixada essa altura máxima e o mesmo carregamento que no caso, será dividido pelo número de ramos para gerar o mesmo efeito. Para que se tenha a real noção de quanto à coluna pode suportar foi utilizada análise elástica de flambagem ao qual o software Autodesk Robot Structural Analysis, o mesmo passa como resultado da análise elástica de flambagem um coeficiente para cada modo, ao qual é analisado multiplicando esse coeficiente pelo carregamento aplicado, assim é possível determinar a carga crítica do elemento.

Esse tipo de elemento é mais simples de ser analisado, por ser possível determinar um parâmetro utilizando a equação de Euler com seus coeficientes de apoios para a determinação da carga crítica. Para os demais modelos não se tem essa referência, mas isso foi utilizado para se conseguir comparar e analisar os modelos.



Figura 4 – Pilar padrão

Resultados - Análise de flambagem		
Caso/Modo	Coef.crit.	Precisão
1/ 1	1,00481e+00	2,77139e-
1/ 2	1,00481e+00	8,63076e-
1/ 3	9,04872e+00	4,53511e-
1/ 4	9,04872e+00	1,97951e-

Figura 5 – Resultado da análise elástica de flambagem

Para a determinação da carga crítica, multiplicasse o coeficiente pela carga aplicada.

Quadro 3 - Resultado

Pilar Padrão			
-	Coeficiente	Carga (kN)	Carga Crítica (kN)
6m	1,00	150,00	150,72

Após essa análise foram desenvolvidos outros modelos aos quais podem ser utilizados normalmente nas estruturas, estes foram desenvolvidos para demonstrar as vantagens de se ramificar as estruturas aumentando assim a área de apoio.

Para realizar estas análises foi utilizada a mesma carga padrão, para determinar o coeficiente crítico do modelo, para isso foi utilizada uma placa sem nenhuma resistência apenas para distribuir o carregamento sobre os ramos do pilar árvore.

Além de variar o número de ramos também foi verificada a diferença que ocorre variando o nó onde ocorre a ramificação.

Foi estabelecida uma distância entre o topo dos ramos de 6 m, formando assim uma área de 6 x 6 m onde apenas serão variadas a quantidade de ramos e a variação do nó central onde ocorre a ramificação.

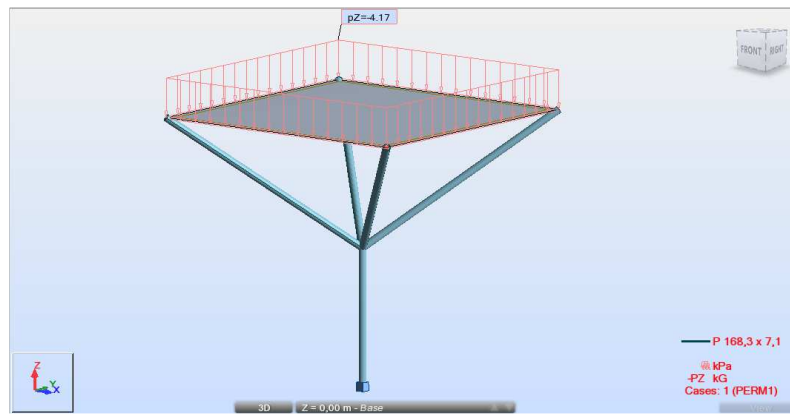


Figura 6 - Modelo com 4 ramos com placa de 6 x 6 m

Depois de feitas as análises variando o nó central foram obtidos os seguintes valores:

Quadro 4 - Resultados Pilar com 4 Ramos

4 ramos placa de 6 x 6 m			
-	Coefficiente Crítico	Carga (kN)	Carga Crítica (kN)
5m	1,15	150,00	173,11
4m	1,30	150,00	195,36
3m	1,42	150,00	213,35
2m	1,60	150,00	240,26
1m	2,02	150,00	303,07

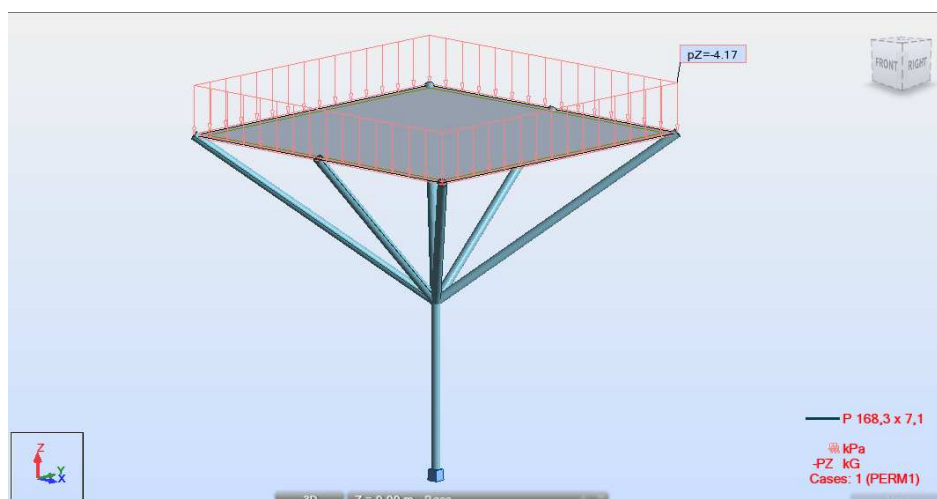


Figura 7 - Modelo com 6 ramos com placa de 6 x 6 m

Depois de feitas as análises variando o nó central foram obtidos os seguintes valores:

Quadro 5 - Resultados Pilar com 6 ramos

6 ramos placa com 6 x 6 m			
-	Coeficiente	Carga (kN)	Carga Crítica (kN)
5m	0,99	150,00	149,04
4m	1,07	150,00	160,65
3m	1,19	150,00	178,08
2m	1,41	150,00	211,85
1m	1,96	150,00	294,69

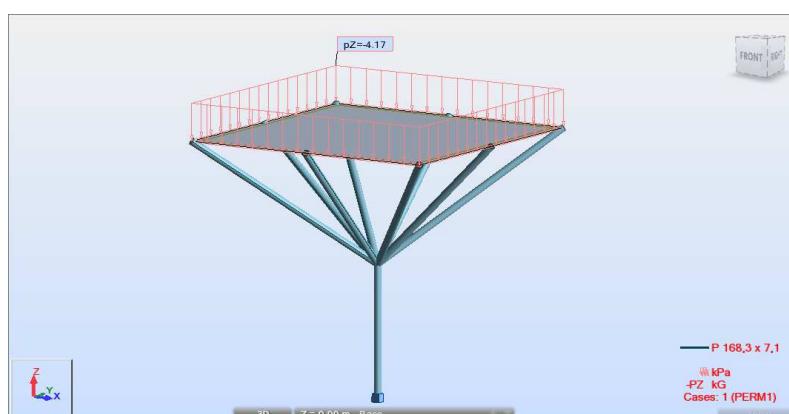


Figura 8 - Modelo com 8 ramos com placa de 6 x 6 m

Depois de feitas as análises variando o nó central foram obtidos os seguintes valores:

Quadro 6 - Resultados Pilar com 8 ramos

8 ramos placa com 6 x 6 m			
-	Coeficiente	Carga (kN)	Carga Crítica (kN)
5m	1,05	150,00	157,42
4m	1,16	150,00	173,40
3m	1,28	150,00	191,32
2m	1,51	150,00	225,76
1m	2,13	150,00	319,07

Depois de feitas as análises foi desenvolvido um gráfico comparando os modelos com o pilar padrão, foi feita a comparação entre a altura do nó central onde ocorre a ramificação com a carga crítica obtida, os dados encontrados foram os seguintes:

Quadro 7 - Resultado das Comparações

	Sem Ramos	4Ramos	6 Ramos	8 Ramos
Altura	Pe	Pe	Pe	Pe
6	150,00	150,00	150,00	150,00
5	150,00	172,97	155,04	157,42
4	150,00	195,21	160,65	173,40
3	150,00	213,19	178,08	191,32
2	150,00	240,08	211,85	225,76
1	150,00	302,84	294,69	319,07

Com esses dados foi criado o gráfico:

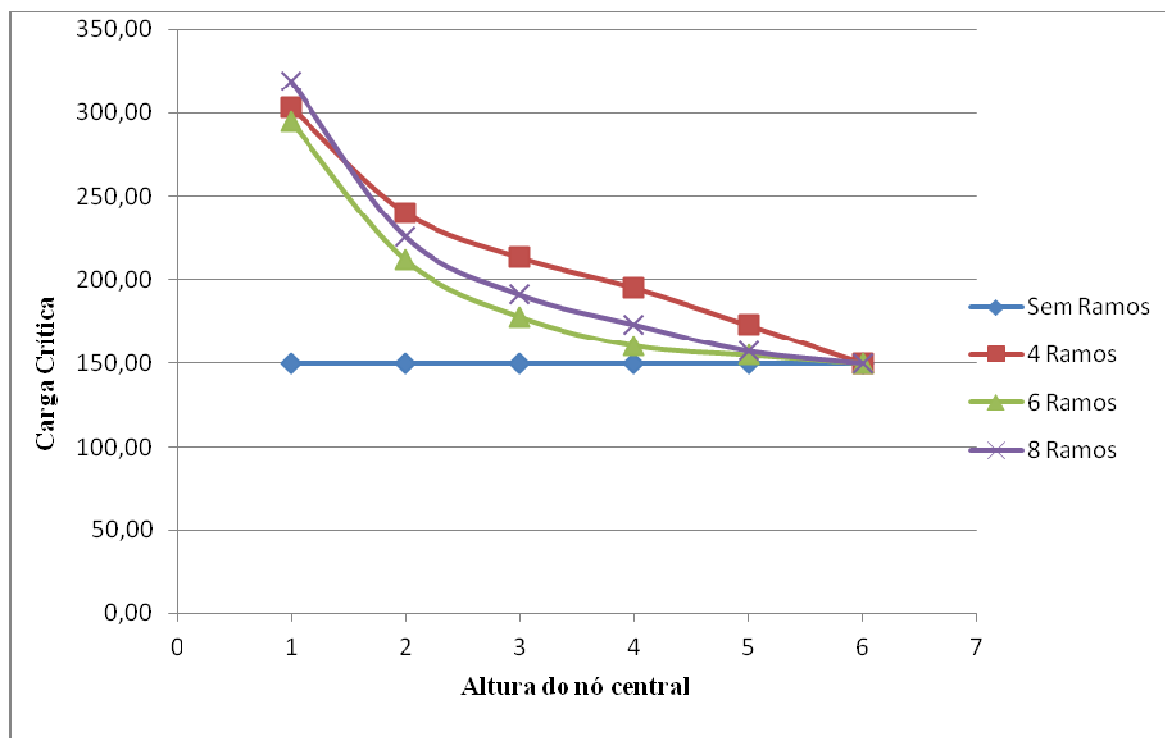


Figura 9 - Gráfico em comparação entre Carga crítica e Altura

Com os dados obtidos através do gráfico foi possível concluir que os modelos dos pilares árvore apenas engastados e livres no topo não conseguem ter um desempenho tão superior a apenas um pilar sozinho, além de ser necessário utilizar uma quantidade maior de material, não se obtém uma relação de peso/resistência.

A partir dessa conclusão obtida anteriormente será proposto fazer uma análise mais avançada e mais real da utilização dos pilares árvore. Serão criados modelos utilizando os modelos engastados e travados no topo, o que é comum de ocorrerem onde os elementos de cobertura fazem essa função.

5. COMPARAÇÃO ENTRE PESO/RESISTÊNCIA

Com os resultados obtidos com as análises anteriores foi necessário desenvolver outro tipo de abordagem para tentar entender melhor o comportamento dos pilares árvore e como é possível se obter o melhor desempenho na utilização desse tipo de elemento.

Com esse tema para desenvolver foi então feita uma análise comparativa dos mesmos modelos anteriores de ramificação e de pilar padrão, a partir dessa conclusão obtida anteriormente será proposto fazer uma análise mais avançada e real da utilização dos pilares árvore, serão criados modelos utilizando travamentos nos seus extremos como engastados na base e travados no topo, o que é comum de ocorrerem onde os elementos de cobertura fazem essa função.

Serão modelados fazendo a análise e dimensionamento completo para determinar a real resistência dos mesmos, será utilizada a eficiência dos perfis próxima a 80%, assim conseguindo ter a real relação de peso/resistência do modelo.

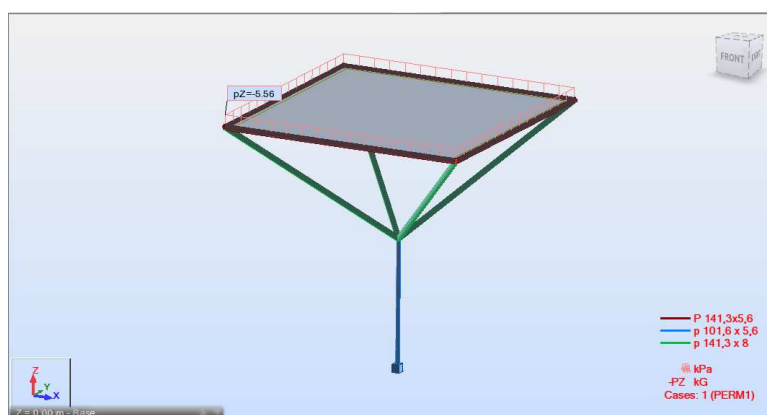


Figura 10 – Modelo dimensionado de 4 ramos com placa 6 x 6 m

Quadro 8 - Resultados pilar árvore com 4 ramos e placa 6 x 6 m

4 ramos placa de 6 x 6 m			
-	Peso da estrutura (KG)	Carga (kN)	Peso/resistência
5m	1.382,00	200,00	6,91
4m	984,00	200,00	4,92
3m	1.017,00	200,00	5,09
2m	1.066,00	200,00	5,33

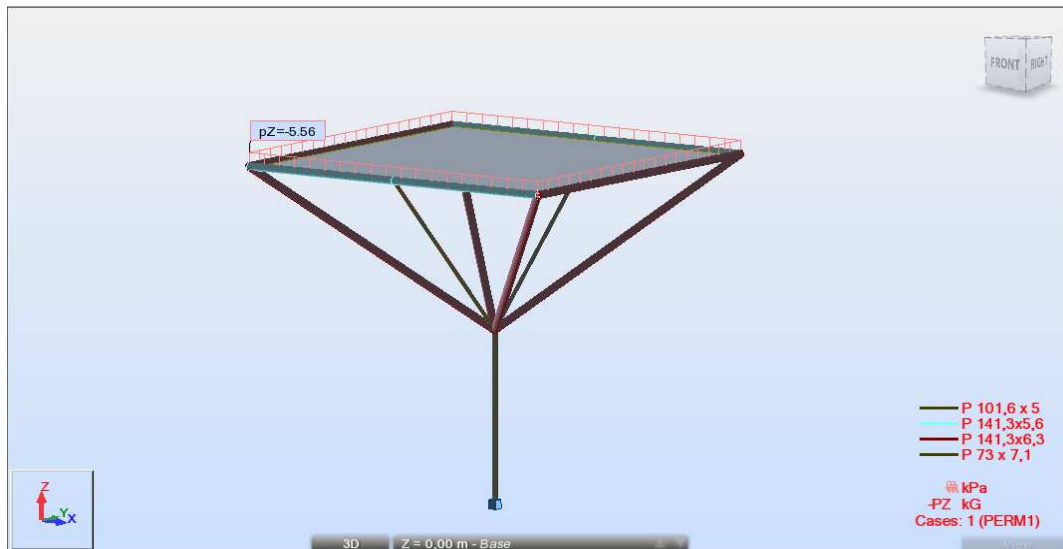


Figura 11 – Modelo dimensionado de 6 ramos com placa 6 x 6 m

Os valores encontrados variando o nó central foram:

Quadro 9 - Resultados pilar árvore com 6 ramos e placa 6 x 6 m

6 ramos placa de 6 x 6 m			
-	Peso da estrutura (KG)	Carga (kN)	Peso/resistência
5m	1.296,00	200,00	6,48
4m	978,00	200,00	4,89
3m	1.006,00	200,00	5,03
2m	1.056,00	200,00	5,28

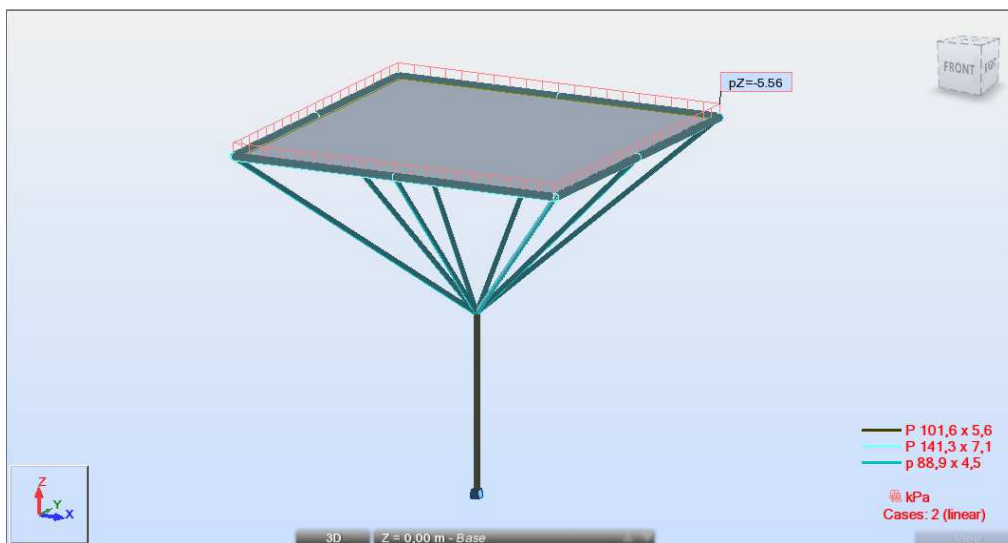


Figura 12 - Modelo dimensionado de 8 ramos com placa 6 x 6 m

Os valores encontrados variando o nó central foram:

Quadro 10 - Resultados pilar árvore com 8 ramos e placa 6 x 6 m

8 ramos placa de 6 x 6 m			
-	Peso da estrutura (KG)	Carga (kN)	Peso/resistência
5m	1.016,00	200,00	5,08
4m	901,00	200,00	4,51
3m	902,00	200,00	4,51
2m	906,00	200,00	4,53

Com os dados encontrados foi construído um gráfico para melhor visualizar e comparar os modelos desenvolvidos, abaixo o gráfico desenvolvido:

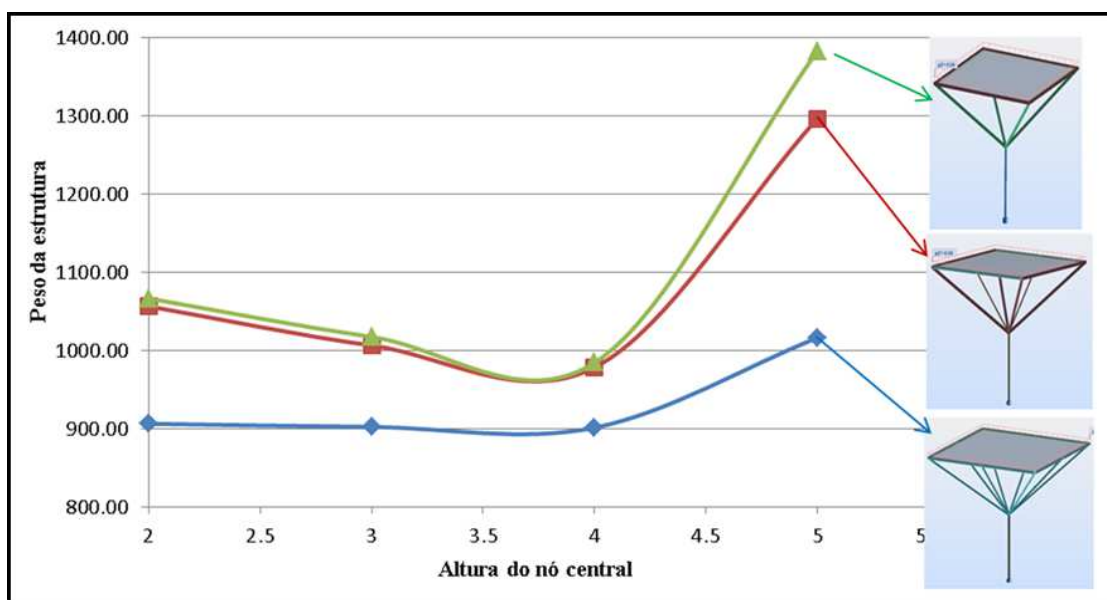


Figura 13 – Comparação entre os resultados

Analisando o gráfico construído e possível concluir que a certa altura do nó onde ocorre a ramificação o modelo chega a um ponto onde o desempenho da estrutura necessita um aumento significativo de material para conseguir suportar o mesmo carregamento, assim sendo um ponto de desempenho máximo para o modelo.

6. CONCLUSÕES

Em relação à geometria após as várias análises dos modelos foi possível concluir, que em relação à inclinação dos ramos estes devem ser dispostos variando entre 40° até 55° medidos no plano vertical, fora dessas inclinações os modelos perdem desempenho e resistência, podendo ficar instáveis.

Em relação à altura adequada para se iniciar a ramificação mesmo sendo melhor ter uma altura inicial para ramificação é possível que ocorra uma incompatibilidade em relação ao projeto

arquitetônico assim obrigando a começar a ramificação com uma altura onde não ocorra obstrução de circulação ou de outros objetos. Também por ocorrer o problema da relação entre altura total e ponto de ramificação onde o elemento necessita de uma maior quantidade de material para suportar a mesma ação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios***. Rio de Janeiro - RJ, 2008.

BUELOW, Peter Von. ***A geometric comparison of branching structures in tension and compression versus minimal paths***. Ann Arbor, MI, USA: 2007.

REIS, A. e CAMOTIM, D. ***Estabilidade estrutural***. Editora McGraw-Hill. Lisboa, Portugal: 2001.