

3 MODELAGEM COMPUTACIONAL

3.1 Introdução

No desenvolvimento dos modelos numérico-computacionais do sistema estrutural mostrado, foram empregadas técnicas usuais de discretização, via método dos elementos finitos, por meio do emprego do programa computacional ANSYS [1]. As técnicas de discretização utilizadas objetivaram uma modelagem mais real das estruturas investigadas. Os elementos definidos para representar os banzos de aço dos modelos são denominados de BEAM44, para representar as diagonais de aço utiliza-se o elemento PIPE16 e para representar os tubos de travamento LINK8 no caso de articulação ou tubo 3D PIPE16 no modelo de contraventamento rígido.

3.2 Modelos Numéricos

Os modelos numéricos foram gerados usando técnicas usuais de discretização, via método dos elementos finitos (MEF). São empregadas técnicas usuais de discretização, por meio do emprego do programa ANSYS [1]. No presente modelo computacional, as estruturas de aço são simuladas por elementos finitos tridimensionais, onde são considerados os efeitos de flexão e torção. Os resultados obtidos são comparados com os limites recomendados em normas de projeto [2] - [6] e sua utilização no mercado, no que tange aos carregamentos estáticos.

Dado as inúmeras mudanças de geometria dos modelos estruturais investigados, foi feita a opção de apresentar todas as figuras dos modelos em elementos finitos para este estudo, garantindo assim, o acompanhamento da evolução dos modelos ao decorrer que os mesmos são apresentados.

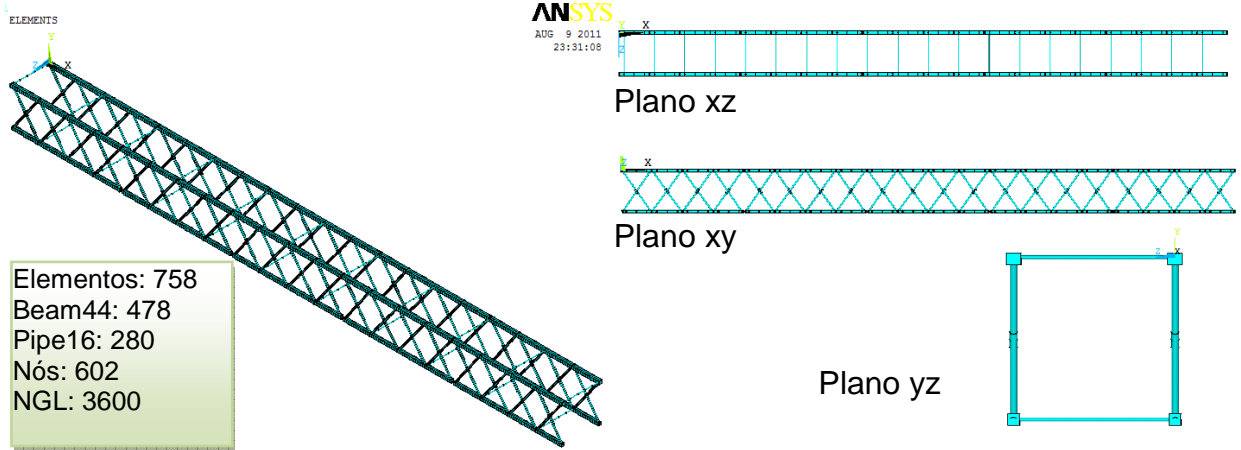


Figura 14– Modelo estrutural I

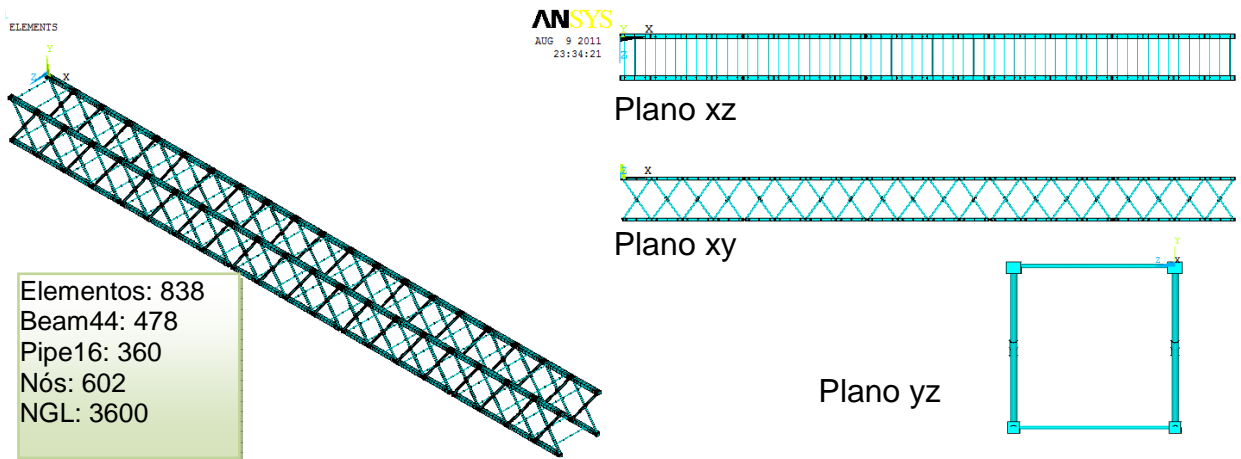


Figura 15– Modelo estrutural II

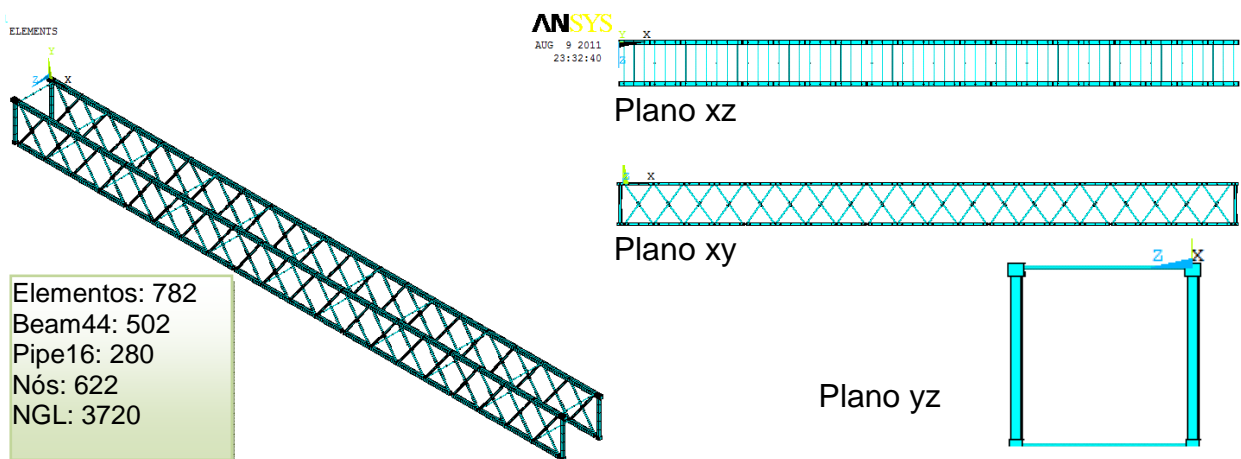


Figura 16– Modelo estrutural III

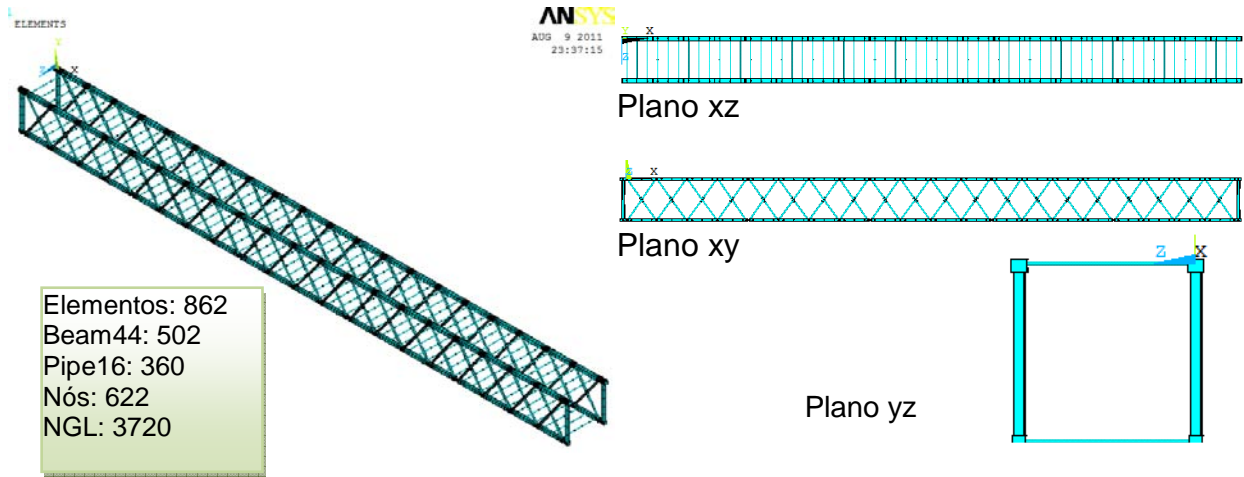


Figura 17– Modelo estrutural IV

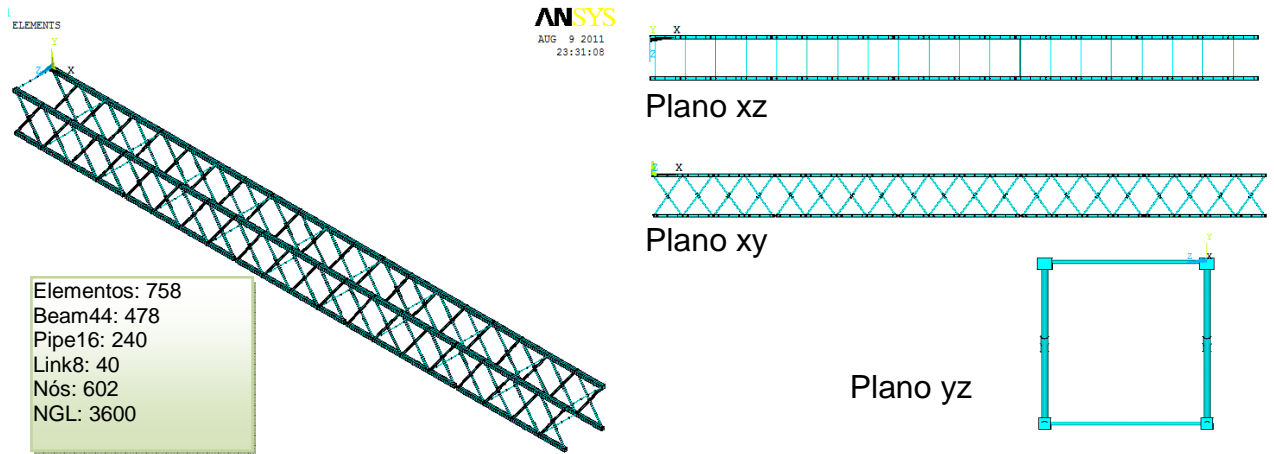


Figura 18– Modelo estrutural V

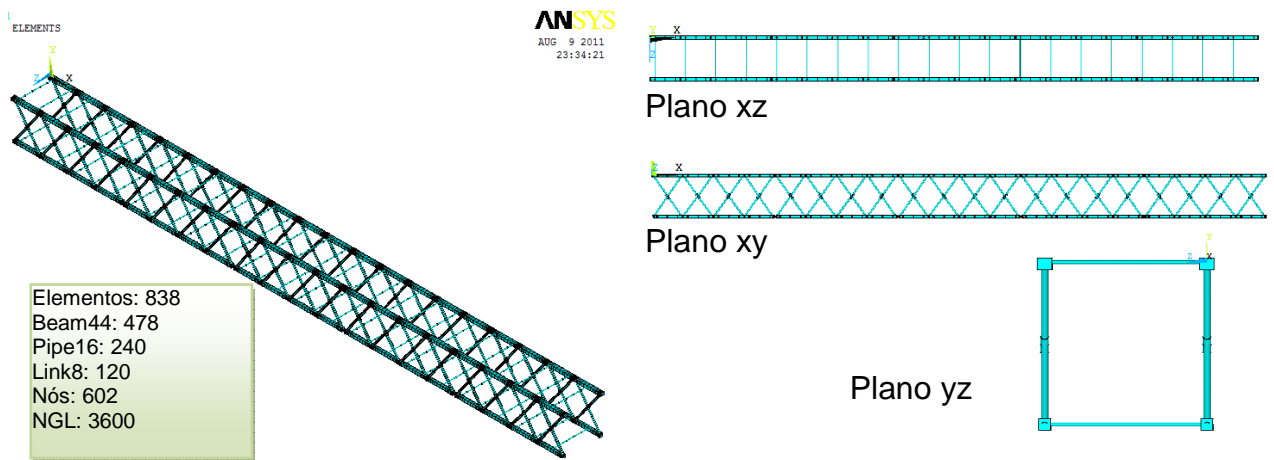


Figura 19– Modelo estrutural VI

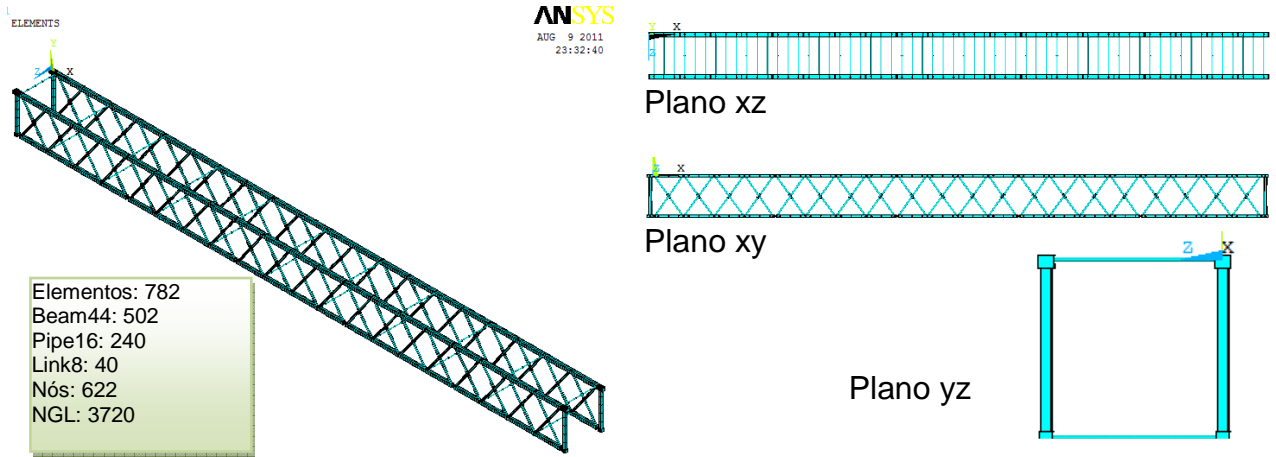


Figura 20– Modelo estrutural VII

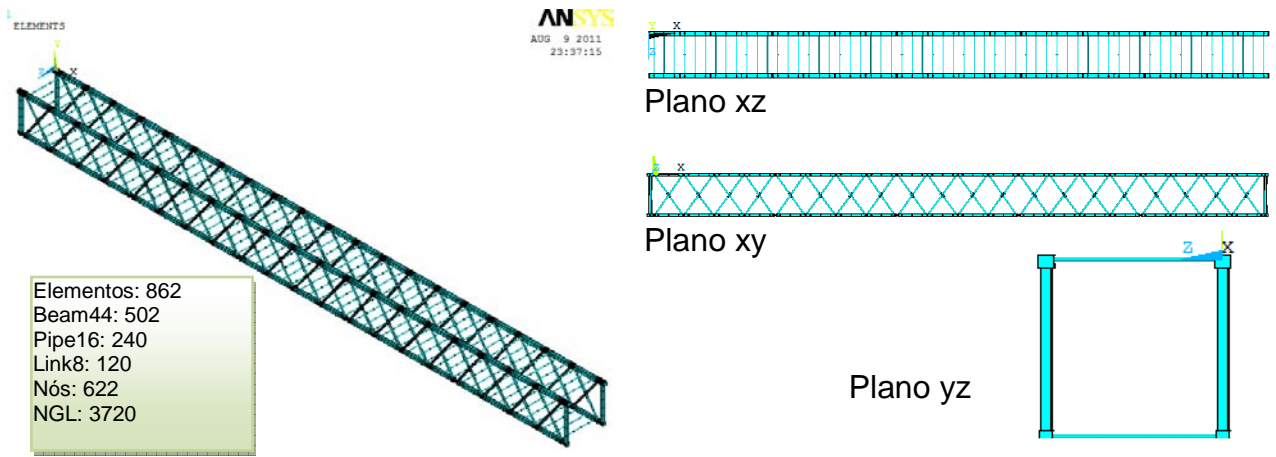


Figura 21– Modelo estrutural VIII

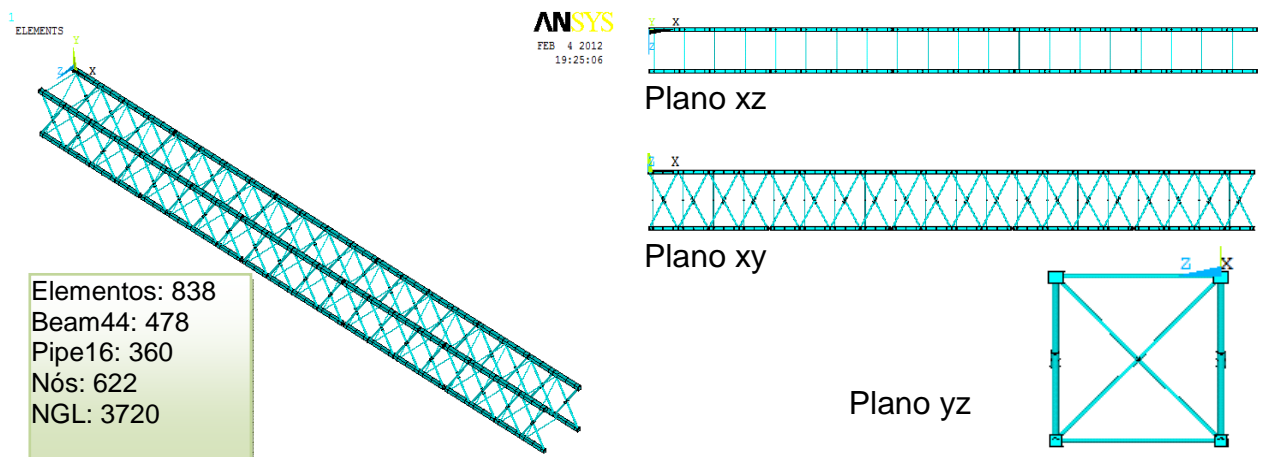


Figura 22– Modelo estrutural IX

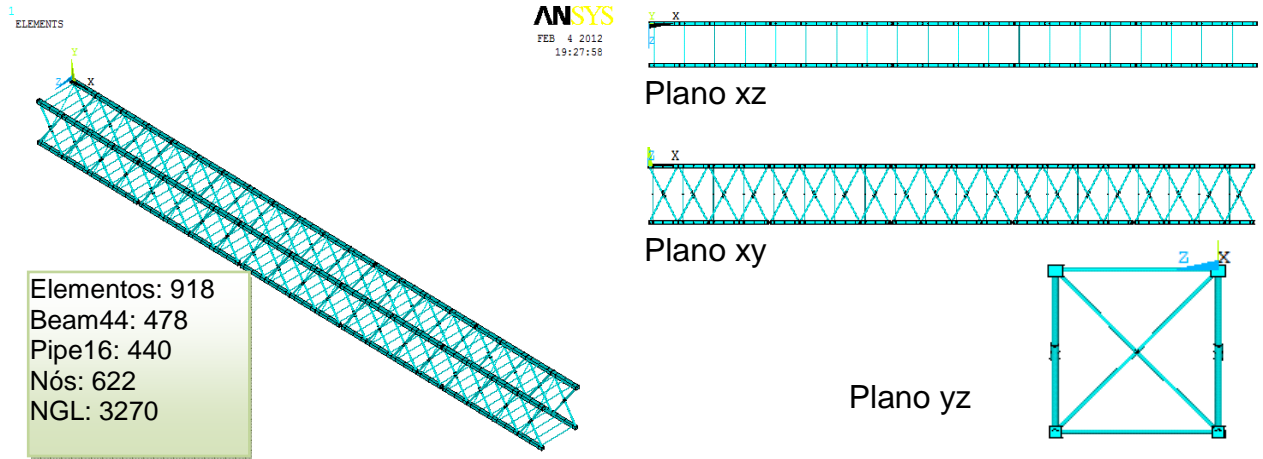


Figura 23– Modelo estrutural X

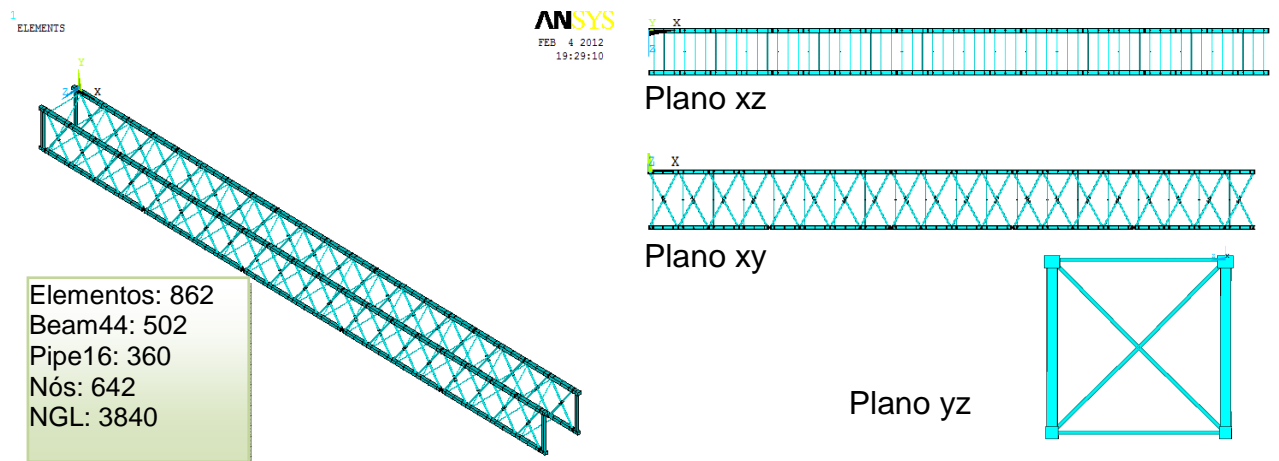


Figura 24– Modelo estrutural XI

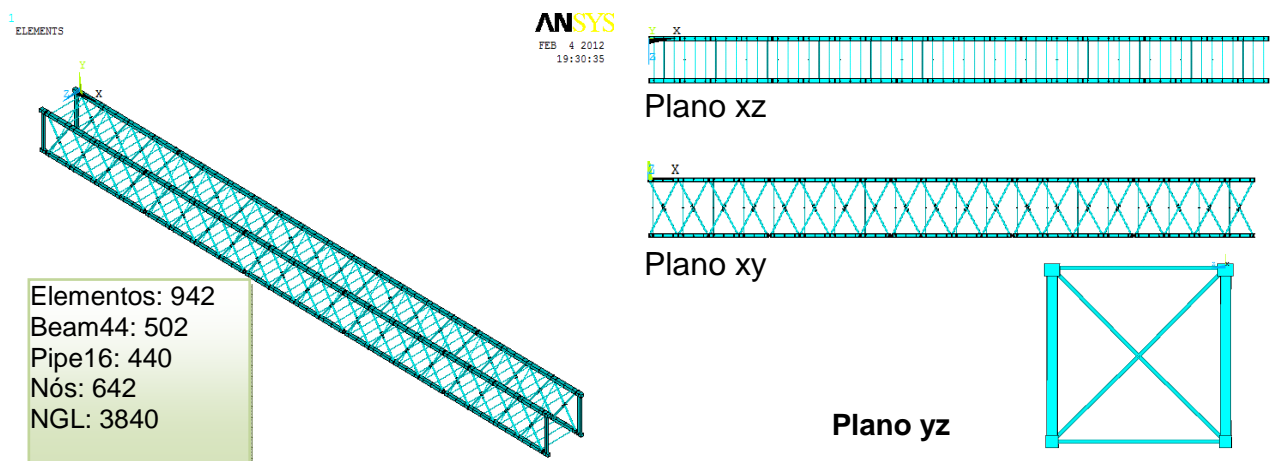


Figura 25– Modelo estrutural XII

Inicialmente, um modelo numérico-computacional bastante refinado é desenvolvido onde os banzos, as diagonais e os travamentos são simulados por meio de elementos finitos refinados de viga 3D BEAM44, tubo 3D PIPE16 e tubos para travamento LINK8 no caso de articulação ou tubo 3D PIPE16 no modelo de contraventamento rígido, respectivamente. Desta forma, o comportamento gerado pela interação entre os elementos estruturais (banzos, diagonais e travamento) é obtido naturalmente.

O elemento BEAM44, apresentado na Figura 26, possui seis graus de liberdade por nó, sendo três translações e três rotações nas direções x , y e z , permitindo a utilização de diferentes geometrias nas extremidades opostas da barra. A orientação do elemento vai do nó I para o nó J, sendo esse eixo o x . Os eixos principais y e z estão localizados na seção transversal.

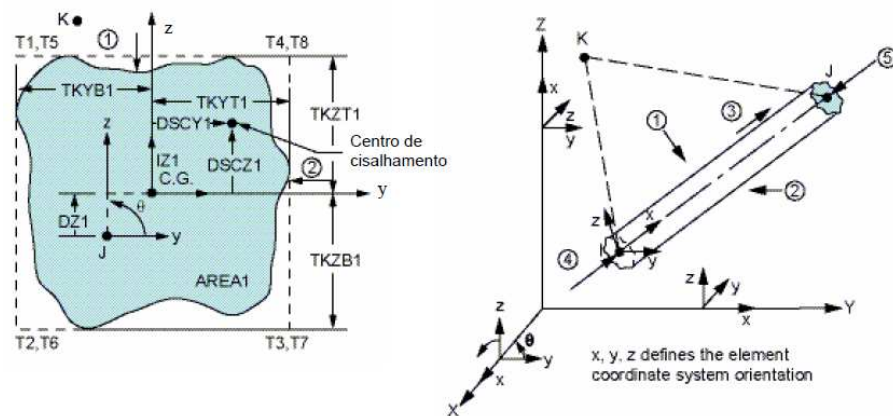


Figura 26– Elemento BEAM 44.

O elemento finito de tubo PIPE 16 é definido por apresentar seis graus de liberdade em cada nó: três translações e três rotações associadas aos eixos x , y , e z , como ilustrado na Figura 27. A orientação do elemento vai do nó I para o nó J, sendo esse eixo o x . Os eixos principais y e z estão localizados na seção transversal.

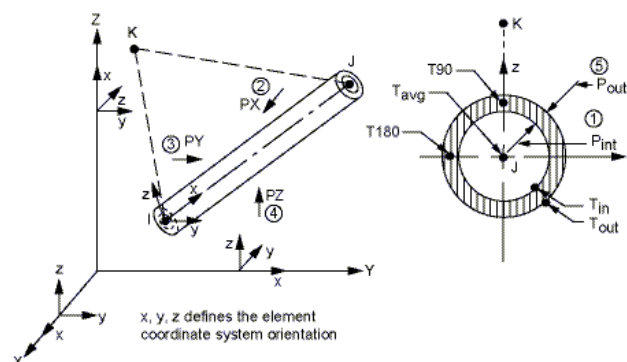


Figura 27– Elemento finito de tubo 3D PIPE16.

O elemento finito de tubo LINK8 é definido por apresentar três graus de liberdade em cada nó: elemento uniaxial de tensão com três translações associadas aos eixos x, y, e z, como ilustrado na Figura 28. A orientação do elemento vai do nó I para o nó J, sendo esse eixo o x. Os eixos principais y e z estão localizados na seção transversal.

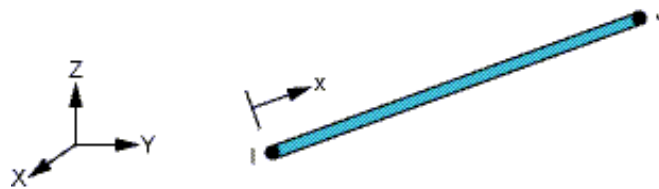


Figura 28– Elemento finito de tubo LINK8 ANSYS [1].

No que diz respeito a análise da flexibilidade dos apoios foram adotadas conforme descrição dos modelos, apoios tanto no banzo inferior, em sua extremidade, quanto na base do poste de união dos módulos, restringindo o deslocamento e rotação em x, y e z, como ilustrado nas Figura 14 a Figura 25. As dimensões de vão livre se alteram conforme disposição dos modelos.

Neste capítulo foram apresentados os modelos numérico-computacionais adotados no presente estudo e suas respectivas características. No capítulo a seguir, serão apresentadas as análises de frequências e modos de vibração dos modelos numérico-computacionais adotados no presente estudo e suas respectivas características, baseadas nas informações apresentadas no presente capítulo.

Para análise não linear é utilizado o material é bi linear isotrópico com a rigidez pós limite de 10 MPa

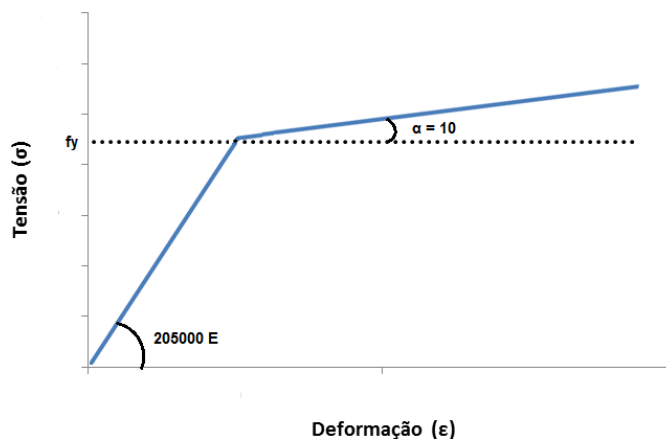


Figura 29– Gráfico da rigidez pós limite

4 ANÁLISE DE MODOS DE VIBRAÇÃO E FREQUÊNCIAS

4.1 Generalidades

São obtidos os autovalores (frequências naturais) e os autovetores (modos de vibração), referentes aos modelos estruturais investigados. O problema de autovalor, associado a uma análise de vibração livre, é resolvido com base no emprego do programa computacional ANSYS[1], objetivando identificar as frequências naturais e os respectivos modos de vibração de cada estrutura estudada. Não é objetivo alvo do estudo, a análise do comportamento dinâmico da estrutura. Contudo é de extrema importância a verificação e o diagnóstico do comportamento dos modelos investigados, visto a percepção de vibração excessiva nos modelos estruturais com concepção similar aos descritos a seguir.

4.2 Análise das frequências naturais (Autovalores)

Através de análises de vibração livre realizada, pelo programa ANSYS[1], sobre os modelos estruturais, foram obtidos os valores das frequências naturais (autovalores) e os modos de vibração (autovetores). Na análise numérica foram obtidos os valores representativos das frequências naturais até o sexto modo de vibração para cada um dos modelos desenvolvidos. Para tal é considerada a influência do aumento da quantidade de contraventamento e o tipo de apoio empregado. Os valores das frequências naturais dos modelos estudados estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3– Frequências naturais dos modelos investigados

Modelos	Frequências Naturais (Hz)					
	f_{01}	f_{02}	f_{03}	f_{04}	f_{05}	f_{06}
I	0,64	1,96	4,14	5,01	7,16	7,59
II	0,88	2,29	4,43	5,82	7,37	8,51
III	0,62	1,91	4,02	5,23	6,96	8,03
IV	0,88	2,22	4,30	5,91	7,16	8,41
V	0,43	1,73	3,09	3,89	6,32	6,92
VI	0,42	1,67	2,96	3,76	6,06	6,68
VII	0,42	1,68	3,56	3,78	6,72	6,96
VIII	0,41	1,62	3,41	3,65	6,49	6,67
IX	0,70	2,03	4,16	7,11	9,82	10,91
X	0,92	2,32	4,43	7,31	9,61	11,00
XI	0,68	1,97	4,04	6,91	10,6	15,06
XII	0,89	2,26	4,30	6,78	7,10	8,22

Os resultados apresentados na Tabela 3 indicam que os valores das frequências naturais das estruturas diminuem do modelo I até o modelo IV, na medida em que o tipo de apoio é modificado; isto porque, o comprimento entre os apoios sofre um acréscimo devido ao poste de união. O mesmo ocorre se comparado o modelo V até o modelo VIII e o modelo IX até o modelo XII.

Conforme acrescentam-se barras de contraventamento à estrutura, os modelos tornam-se mais rígidos, aumentando consideravelmente a frequência fundamental das estruturas estudadas.

Deve-se destacar que os modelos estruturais treliçados estudados nessa dissertação, não possuem todos os modos de travamento efetivamente utilizados na prática de projeto, (estais, piso e fechamento). Com a adição destes elementos (estais, piso e fechamento) a estrutura possui tendência de enrijecimento e conseqüentemente de crescimento na frequência fundamental.

4.3 Análise dos modos de vibração (Autovetores)

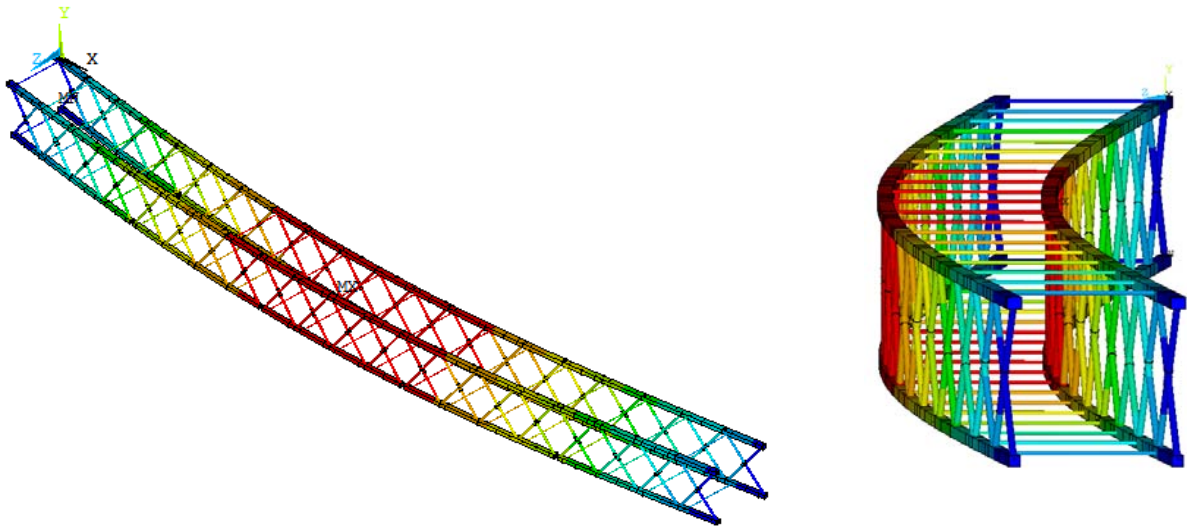
Na sequência do texto são apresentadas, da Figura 30 a Figura 32, as três primeiras formas modais referentes aos modelos estruturais, correspondentes às três primeiras frequências naturais da estrutura.

De forma geral, verifica-se, com clareza, que os modos de vibração dos sistemas estruturais analisados apresentam predominância dos efeitos de flexão lateral. Inicialmente, com referência ao primeiro modo de vibração do modelo I até o modelo XII, percebe-se que a treliça apresenta os dois primeiros modos de vibração com flexão em torno do plano XZ (modos simétricos), respectivamente, de acordo com a Figura 30 a Figura 32.

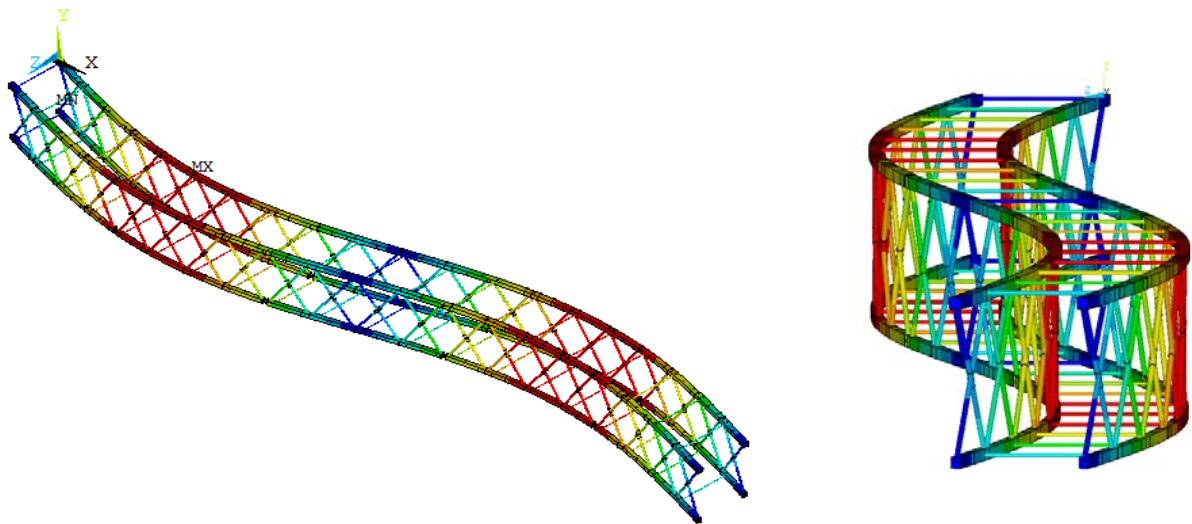
Na sequência, no que tange ao terceiro modo de vibração, dos modelos com contraventamento rígido, descritos no Capítulo 2, observa-se, nitidamente, o terceiro modo de vibração (flexão) no plano XY, inicialmente, com amplitude máxima ocorrendo com flexão no centro da treliça, no plano ZY e, em seguida, esse efeito se repete-se com menor amplitude em pontos simétricos ao centro da treliça, ou seja, o eixo X, de acordo com a Figura 30 a Figura 32.

Finalmente, o terceiro modo de vibração, dos modelos com contraventamento rotulado, descritos no Capítulo 2, possuem o modo de vibração com amplitude máxima ocorrendo com flexão em torno do eixo X no centro da treliça, e se diferem dos demais na simetria, onde ocorre no plano YX, de acordo com a Figura 31.

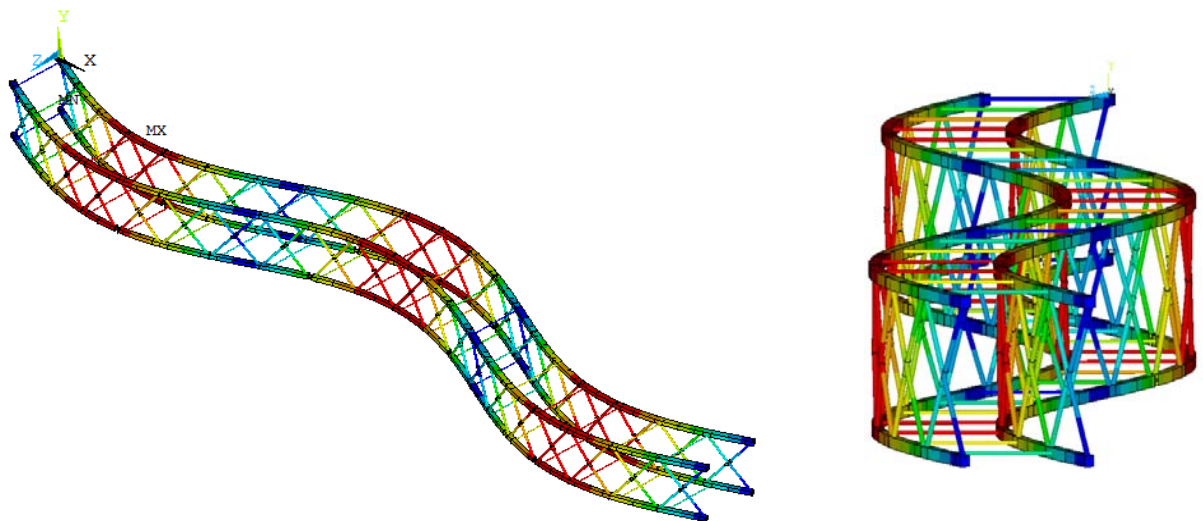
Os demais modos de vibração podem ser verificados no APÊNDICE B onde são apresentadas as três primeiras formas modais referentes aos demais modelos estruturais, Modelo I, V e IX, correspondentes às três primeiras frequências naturais.



a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 0,64$ Hz.

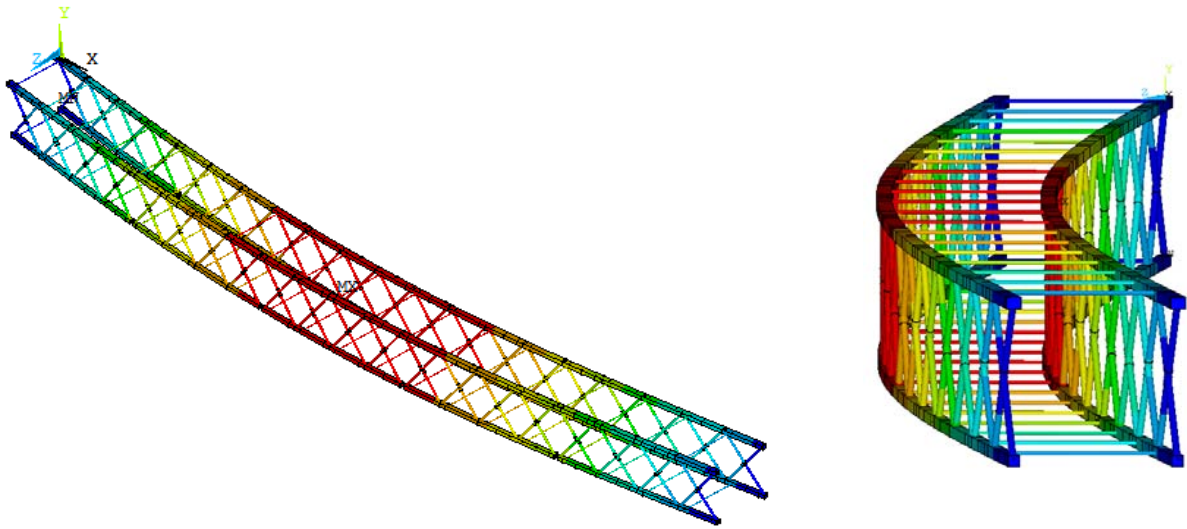


b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 1,96$ Hz.

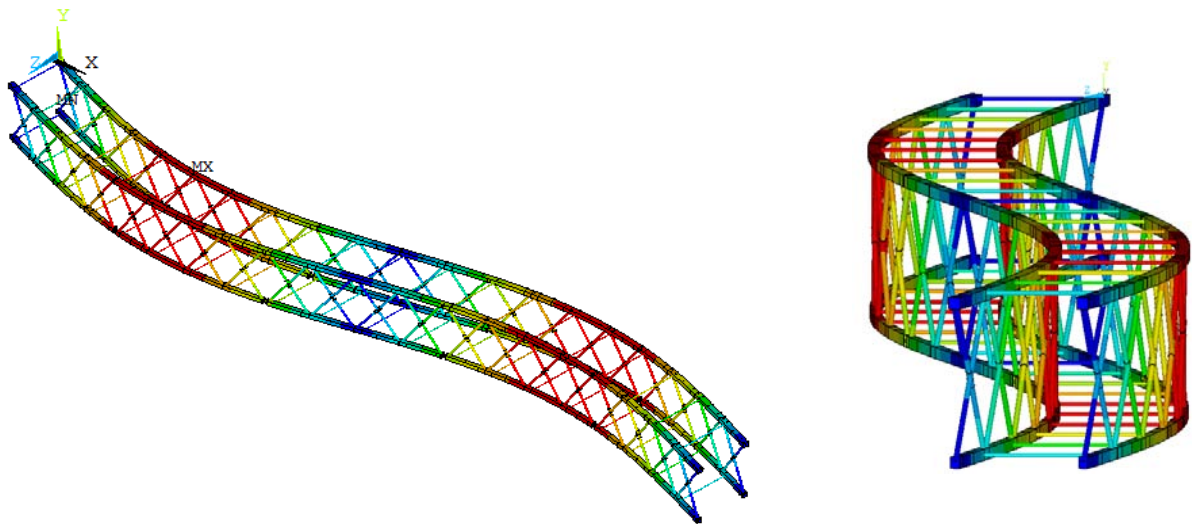


c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03} = 0,62$ Hz.

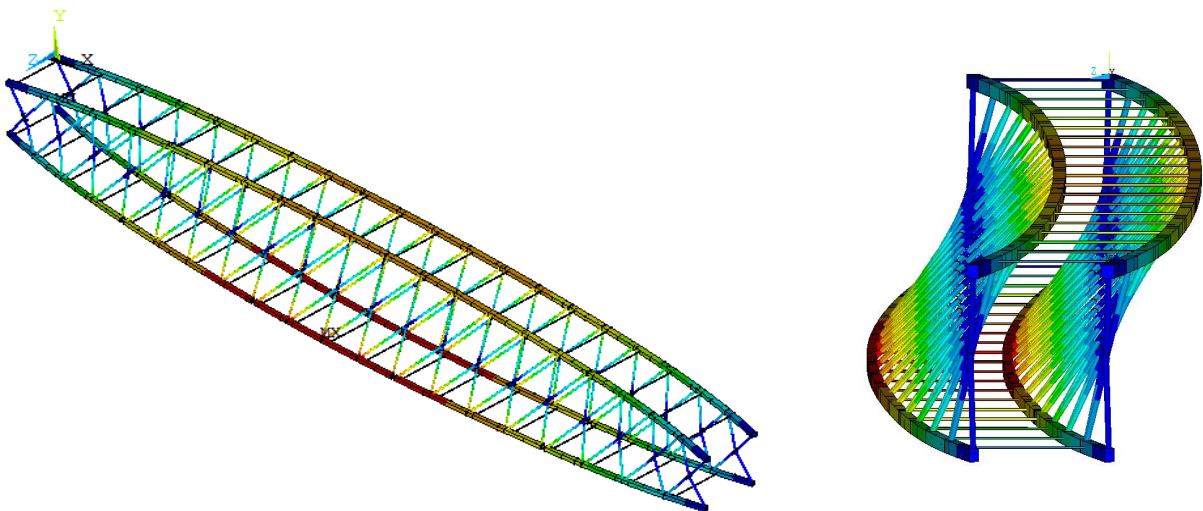
Figura 30– Modos de Vibração do Modelo Estrutural I.



a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 0,43$ Hz.

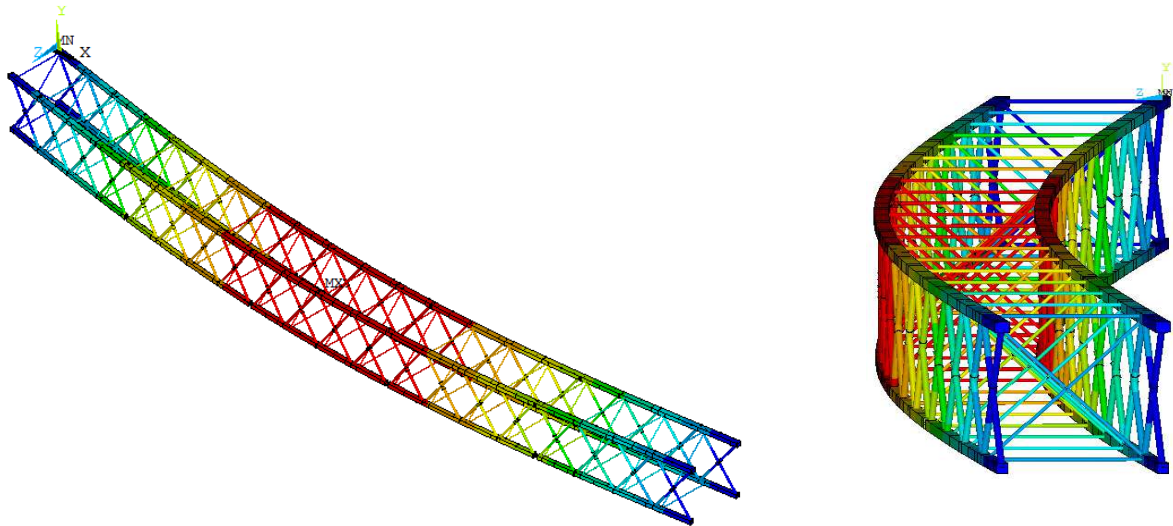


b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 1,70$ Hz.

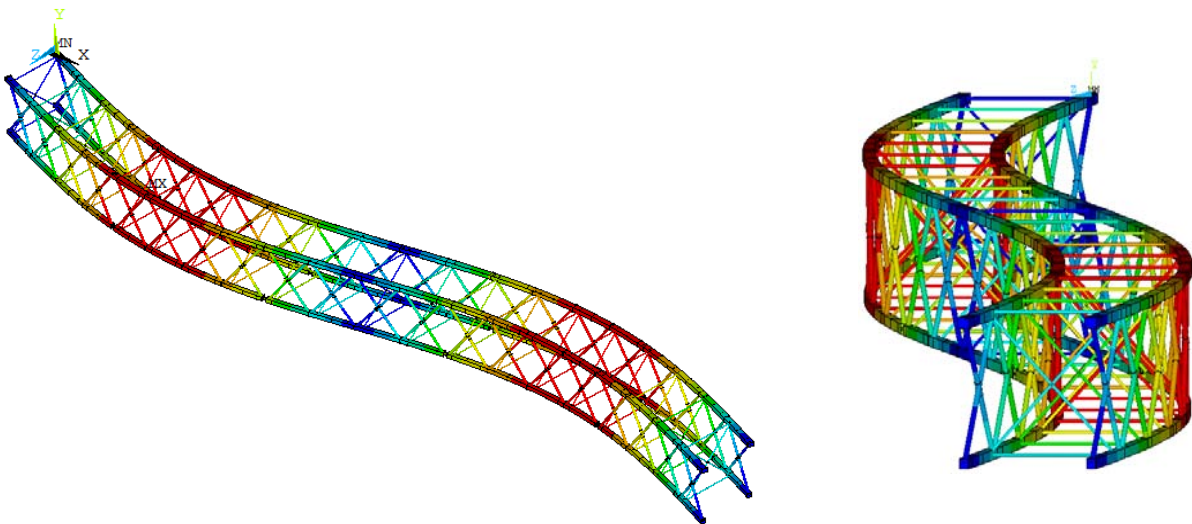


c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03} = 3,09$ Hz.

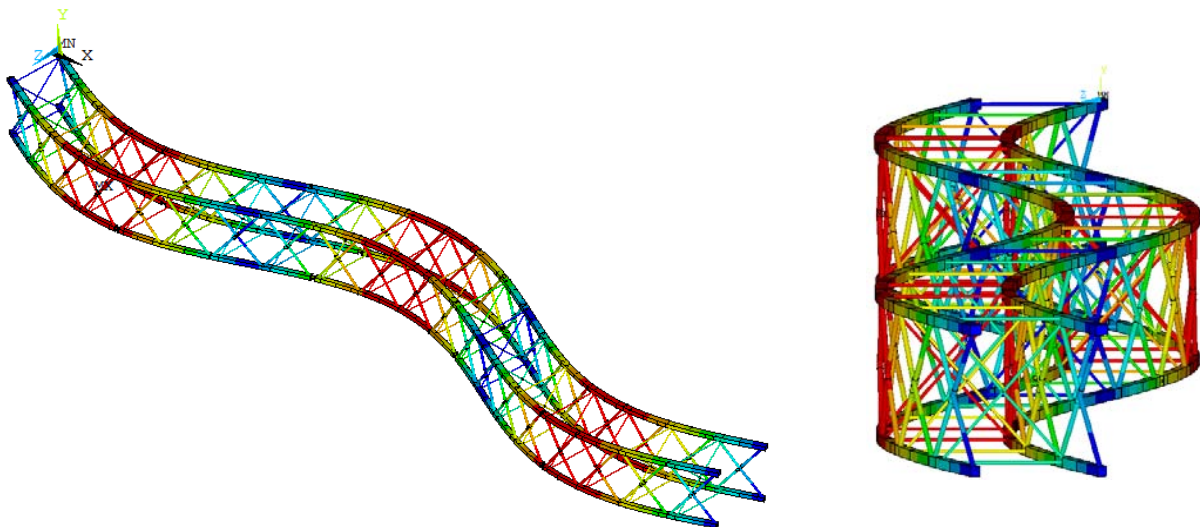
Figura 31– Modos de Vibração do Modelo Estrutural V.



a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 0,70$ Hz.



b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 2,03$ Hz.



c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03} = 4,16$ Hz.

Figura 32– Modos de Vibração do Modelo Estrutural IX.

Neste capítulo foram apresentadas as análises de frequências e modos de vibração dos modelos numérico-computacionais desenvolvidos no presente estudo. No próximo capítulo serão apresentadas as análises estáticas lineares destes modelos, objetivando o estudo da resposta estrutural em termos de deslocamentos, esforços e tensões.

5 ANÁLISE LINEAR ELÁSTICA

5.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas as análises estáticas realizadas, com base no emprego do programa ANSYS [1]. Os modelos são avaliados com base nos valores máximos dos deslocamentos, esforços e tensões. Os modelos são considerados lineares elásticos e apresentados em pares diferenciados pelo tipo de travamento horizontal do modelo estrutural.

A resposta estrutural (deslocamentos, esforços e tensões) é investigada de acordo com três situações distintas: modelo simplificado de projeto sem ponderação dos carregamentos (MSP), estados limites últimos com ponderação dos carregamentos sobre o modelo simplificado de projeto (ELMSP), estados limites últimos com ponderação dos carregamentos sobre o modelo numérico linear (ELUMNL) e de acordo com o limite da norma ABNT NBR 15696 [3].

Conforme objeto de estudo, são incluídos os deslocamentos verticais máximos no centro do vão do elemento estrutural como modelo simplificado de projeto, que se constitui de carregamentos no estado limite de utilização (ELU) sem ponderação dos carregamentos. Na sequência são apresentados os deslocamentos regidos pela norma que regulamenta a utilização do equipamento e as curvas com as ponderações das cargas, no modelo simplificado de projeto e no modelo numérico estudado.

De acordo com o valor da flecha máxima estabelecida pela norma brasileira ABNT NBR 15696 [3], o deslocamento limite para elementos estruturais de escoramento apresenta um valor de aceitabilidade máximo de $1 + L/500$, onde L corresponde ao vão máximo considerado, conforme visto no limite dos gráficos.

No que diz respeito às ações de cargas permanentes e variáveis, foram confrontadas as cargas provenientes do peso próprio da estrutura, sobrecargas de utilização e carga de vento conforme as normas ABNT NBR 8800 [2], ABNT NBR 6120 [4] e ABNT NBR 6123 [5], respectivamente.

5.2 Modelos Estruturais

5.2.1 Modelo Estrutural I e V - Análise de deslocamentos e esforços máximos

Na sequência do estudo, a Figura33 a Figura34 ilustram as curvas associadas aos deslocamentos verticais, obtidos no centro da estrutura treliçada, em função da variação do carregamento adicional de topo do modelo investigado.

Assim sendo, para o vão de 30 m, o deslocamento vertical máximo admissível correspondente ao modelo I e ao modelo V é de 61 mm. As curvas associadas aos deslocamentos, são confrontadas nos gráficos ilustrados na Figura33 e Figura34, respectivamente.

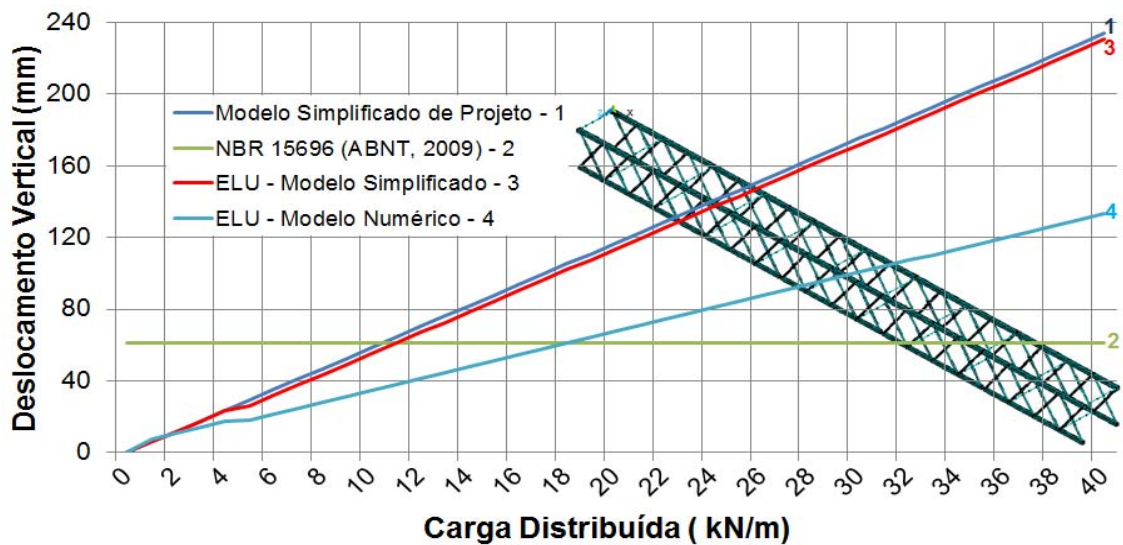


Figura33– Carga distribuída em função do deslocamento no Modelo I.

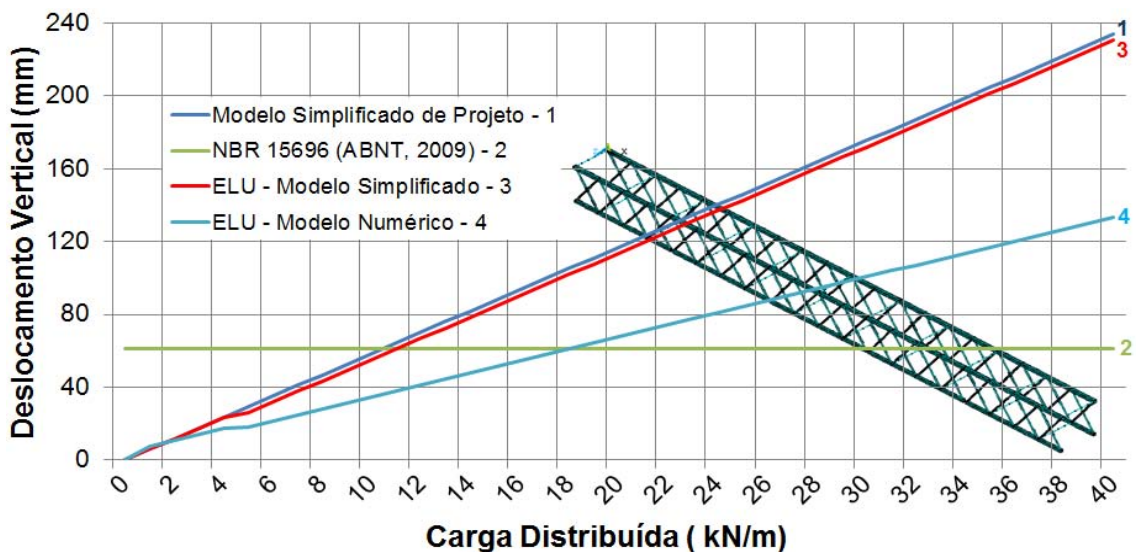


Figura34– Carga distribuída em função do deslocamento no Modelo V

Basicamente, observa-se uma variação linear dos valores máximos destes deslocamentos, onde o modelo simplificado de projeto atende ao proposto no tocante aos deslocamentos inferiores a norma ABNT NBR 15696 [3], até o limite de carregamento de aproximadamente 11 kN. O modelo numérico do ANSYS [1] apresenta uma diminuição considerável nos deslocamentos em função dos carregamentos solicitados, conforme verificado na Figura33 e na Figura34 ilustradas, respectivamente. Da mesma forma, ocorre na ponderação dos carregamentos, seja no estado limite último sobre o modelo simplificado de projeto (ELUMSP) ou no estado limite último sobre o modelo numérico linear (ELUMNL).

Na avaliação do estudo de discretização, observa-se acúmulo de esforços normais e tensões, basicamente nas diagonais próximas aos apoios, principalmente nas diagonais extremas, mais propensas aos esforços provenientes da reação de apoio, corroborando com a aceitação de aproximação dos esforços cortantes de uma viga simples e bi apoiada, adotada no modelo simplificado de projeto (MSP).

Todos os resultados podem ser verificados na Tabela4, onde são confrontados os deslocamentos verticais (eixo y) nos modelos: simplificado de projeto, ELU sobre o simplificado de projeto e ELU sobre numérico linear. A deformada da estrutura é ilustrada na Figura35.

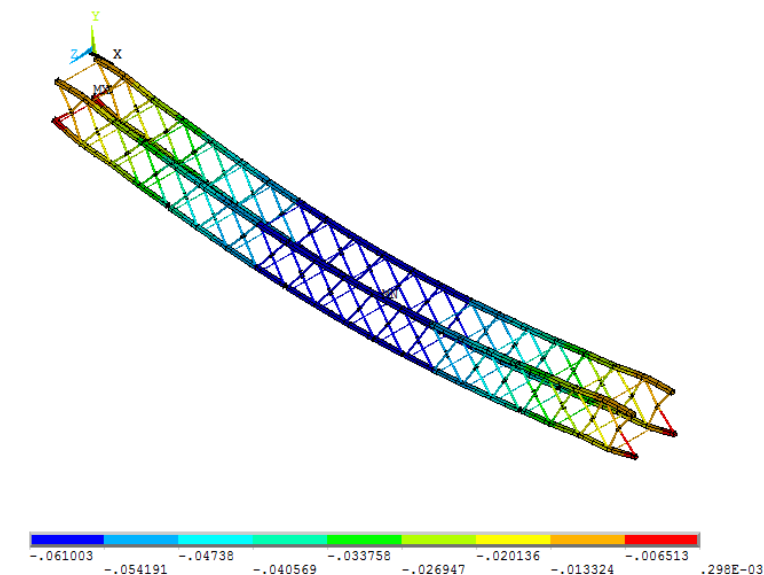


Figura35– Deformada do Modelo estrutural I e V

Tabela4– Variação do deslocamento vertical em função da carga distribuída no Modelo I e V.

Carga Distribuída q (N/m)	Deslocamento Translacional Vertical Máximo (mm)			
	MSP	ELUMSP	Modelo IELUMNL	Modelo VELUMNL
1000	5,62	5,62	7,31	7,31
5000	28,11	24,90	18,11	18,11
10000	56,22	53,00	34,76	34,76
15000	84,32	81,11	51,26	51,25
20000	112,43	109,22	67,73	67,71
25000	140,54	137,33	84,18	84,16
30000	168,65	165,43	100,62	100,59
35000	196,75	193,54	117,05	117,02
40000	224,86	221,65	133,49	133,45

Na análise dos esforços de tração dos banzos inferiores da treliça, o modelo simplificado de projeto limita sua utilização através de binários de forças, onde o limite respeitado de flexão é de 1.471,50 kN.m com 2 metros de distância entre os banzos. Tal consideração de projeto, fornece que a carga máxima de tração a ser aplicada nos banzos é de 735,75 kN.

Para atingir o limite de flexão adotado no modelo simplificado de projeto, foi analisado os esforços de tração nos banzos inferiores do conjunto a uma carga distribuída longitudinalmente de 17,35 kN/m. Desta forma, obteve-se o esforço máximo de tração no modelo numérico de 332,24 kN, conforme mostrado na Figura36.

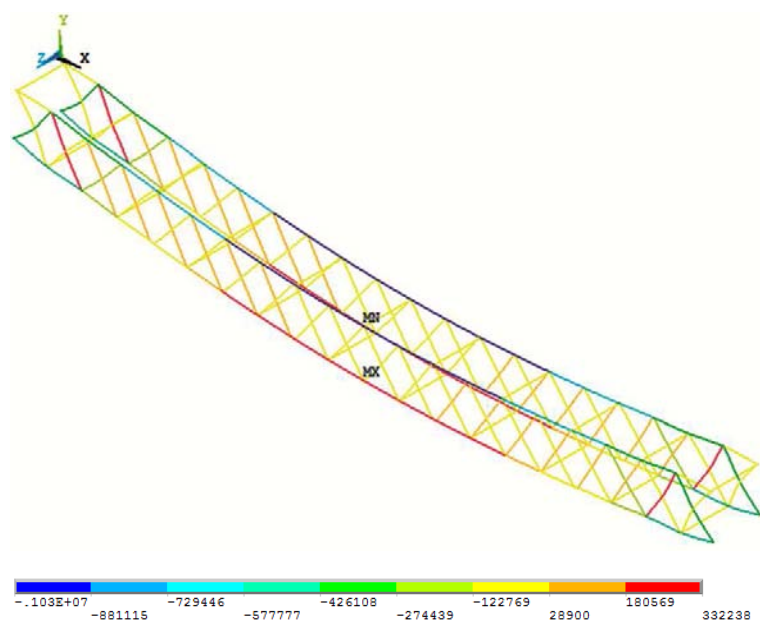


Figura36– Esforços Normais do Modelo estrutural I

5.2.2 Modelo Estrutural II e VI - Análise de deslocamentos e esforços máximos

Na sequência do estudo, a Figura37 a Figura38 ilustram as curvas associadas aos deslocamentos verticais, obtidos no centro da estrutura treliçada, em função da variação do carregamento adicional de topo do modelo investigado.

Assim sendo, para o vão de 30 m, o deslocamento vertical máximo admissível correspondente ao modelo II e ao modelo VI é de 61 mm. As curvas associadas aos deslocamentos, são confrontadas nos gráficos ilustrados na Figura37 e Figura38, respectivamente.

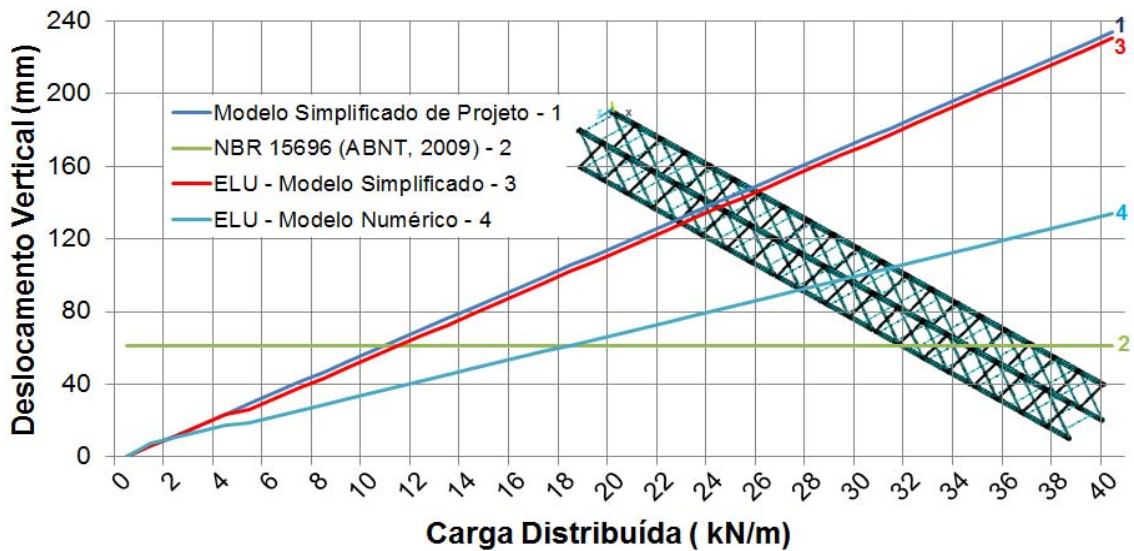


Figura37– Carga distribuída em função do deslocamento no Modelo II.

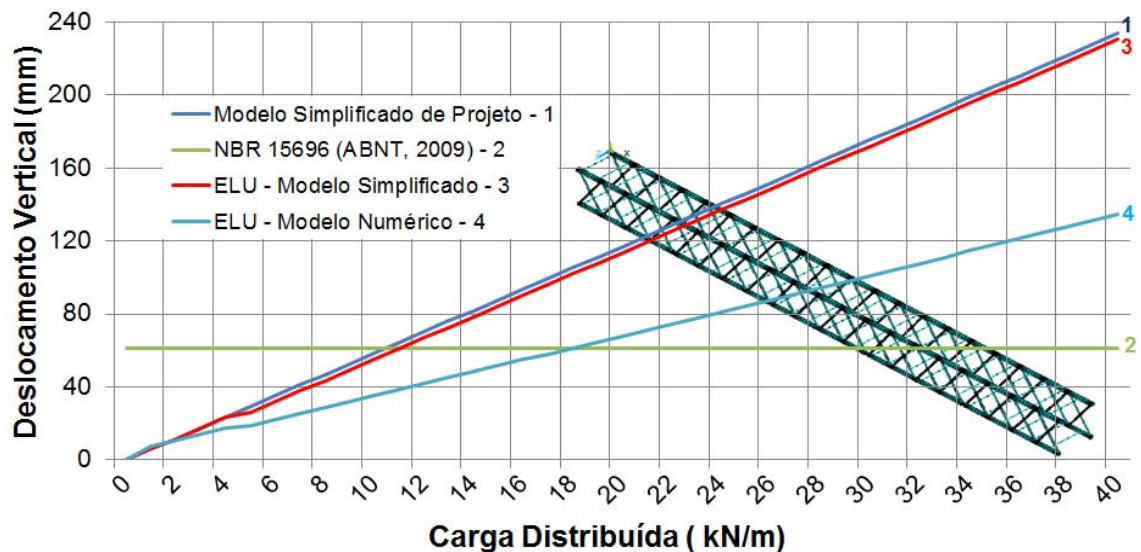


Figura38– Carga distribuída em função do deslocamento no Modelo VI

Basicamente, observa-se uma variação linear dos valores máximos destes deslocamentos, onde o modelo simplificado de projeto atende ao proposto no tocante aos deslocamentos inferiores a norma ABNT NBR 15696 [3], até o limite de carregamento de aproximadamente 11 kN. O modelo numérico do ANSYS [1] apresenta uma diminuição considerável nos deslocamentos em função dos carregamentos solicitados, conforme verificado na Figura37 na Figura38, respectivamente. Da mesma forma, ocorre na ponderação dos carregamentos, seja no estado limite último sobre o modelo simplificado de projeto (ELUMSP) ou no estado limite último sobre o modelo numérico linear (ELUMNL).

Na avaliação do estudo de discretização, observa-se acúmulo de esforços normais e tensões, basicamente nas diagonais próximas aos apoios, principalmente nas diagonais extremas, mais propensas aos esforços provenientes da reação de apoio, corroborando com a aceitação de aproximação dos esforços cortantes de uma viga simples e bi apoiada, adotada no modelo simplificado de projeto (MSP).

Todos os resultados podem ser verificados na Tabela5, onde são confrontados os deslocamentos verticais (eixo y) nos modelos: simplificado de projeto, ELU sobre o simplificado de projeto e ELU sobre numérico linear. A deformada da estrutura é ilustrada na Figura39.

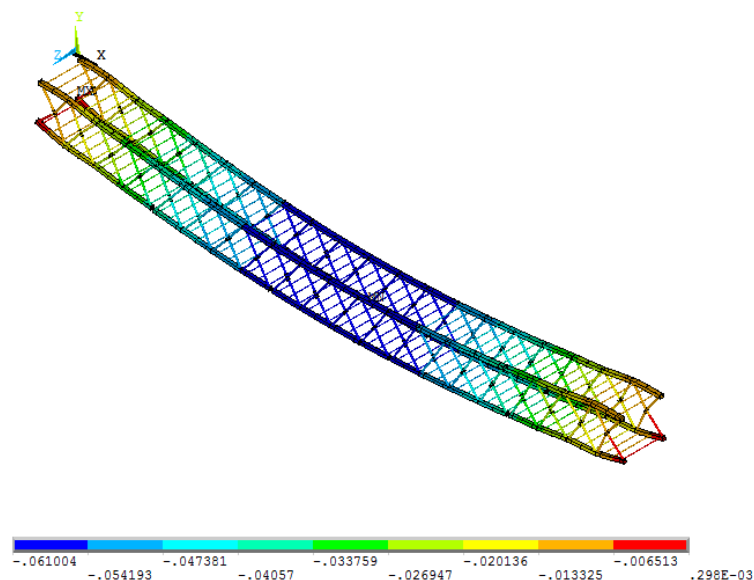


Figura39– Deformada do Modelo estrutural II e VI

Tabela5– Variação do deslocamento vertical em função do carga distribuída no Modelo II e VII.

Carga Distribuída q (N/m)	Deslocamento Translacional Vertical Máximo (mm)			
	MSP	ELUMSP	Modelo IIELUMNL	Modelo VIELUMNL
1000	5,62	5,62	7,60	7,60
5000	28,11	24,90	18,37	18,37
10000	56,22	53,00	35,04	35,03
15000	84,32	81,11	51,54	51,53
20000	112,43	109,22	68,00	67,98
25000	140,54	137,33	84,45	84,42
30000	168,65	165,43	100,88	101,02
35000	196,75	193,54	117,31	117,85
40000	224,86	221,65	133,74	134,67

Na análise dos esforços de tração dos banzos inferiores da treliça, o modelo simplificado de projeto limita sua utilização através de binários de forças, onde o limite respeitado de flexão é de 1.471,50 kN.m com 2 metros de distância entre os banzos. Tal consideração de projeto, fornece que a carga máxima de tração a ser aplicada nos banzos é de 735,75 kN.

Para atingir o limite de flexão adotado no modelo simplificado de projeto, foi analisado os esforços de tração nos banzos inferiores do conjunto a uma carga distribuída longitudinalmente de 17,26 kN/m. Desta forma, obteve-se o esforço máximo de tração no modelo numérico de 332,26 kN, conforme mostrado na Figura40.

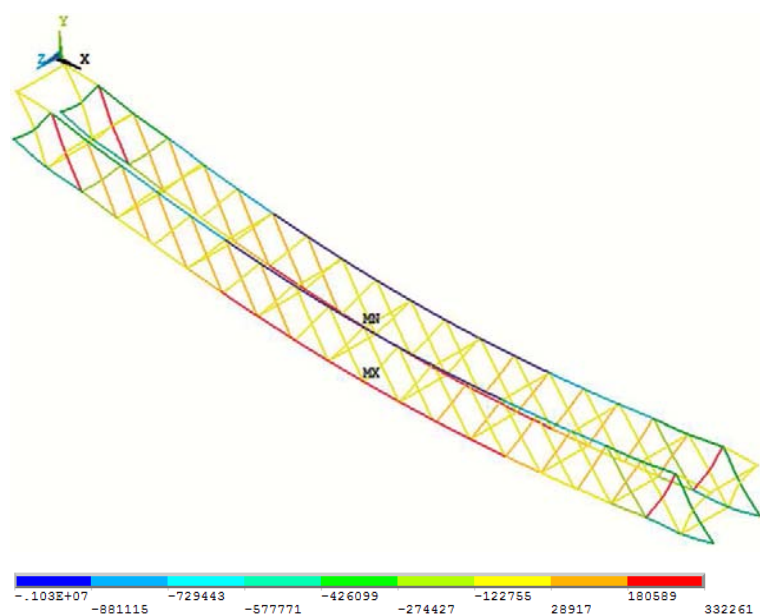


Figura40– Esforços Normais do Modelo estrutural II e VI

5.2.3 Modelo Estrutural III e VII - Análise de deslocamentos e esforços máximos

Na sequência do estudo, a Figura41 a Figura42 ilustram as curvas associadas aos deslocamentos verticais, obtidos no centro da estrutura treliçada, em função da variação do carregamento adicional de topo do modelo investigado.

Assim sendo, para o vão de 30,3 m, o deslocamento vertical máximo admissível correspondente ao modelo III e ao modelo VII é de 61,6 mm. As curvas associadas aos deslocamentos, são confrontadas nos gráficos ilustrados na Figura41 e Figura42, respectivamente.

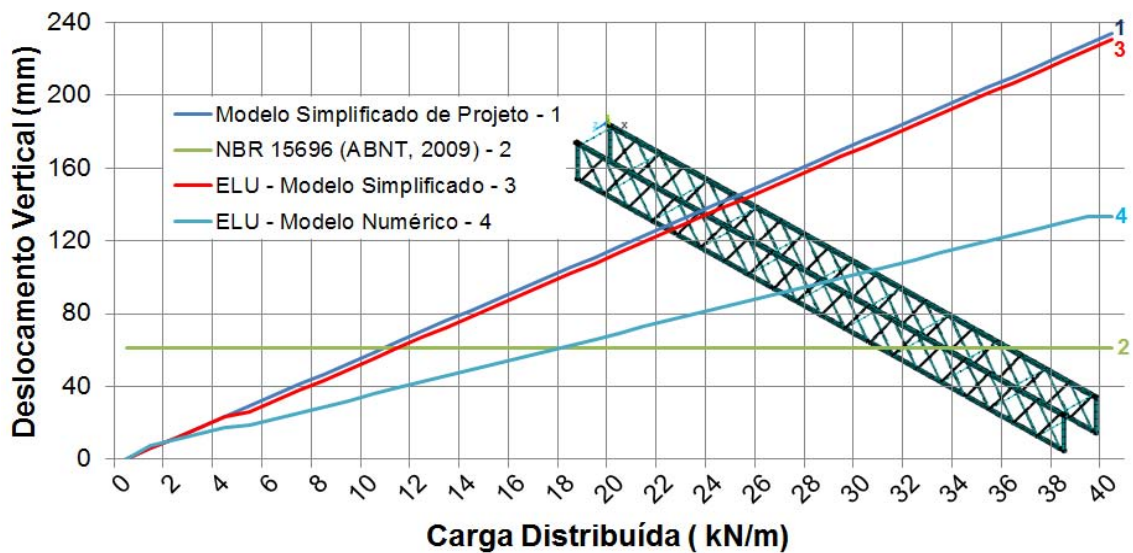


Figura41– Carga distribuída em função do deslocamento no Modelo III.

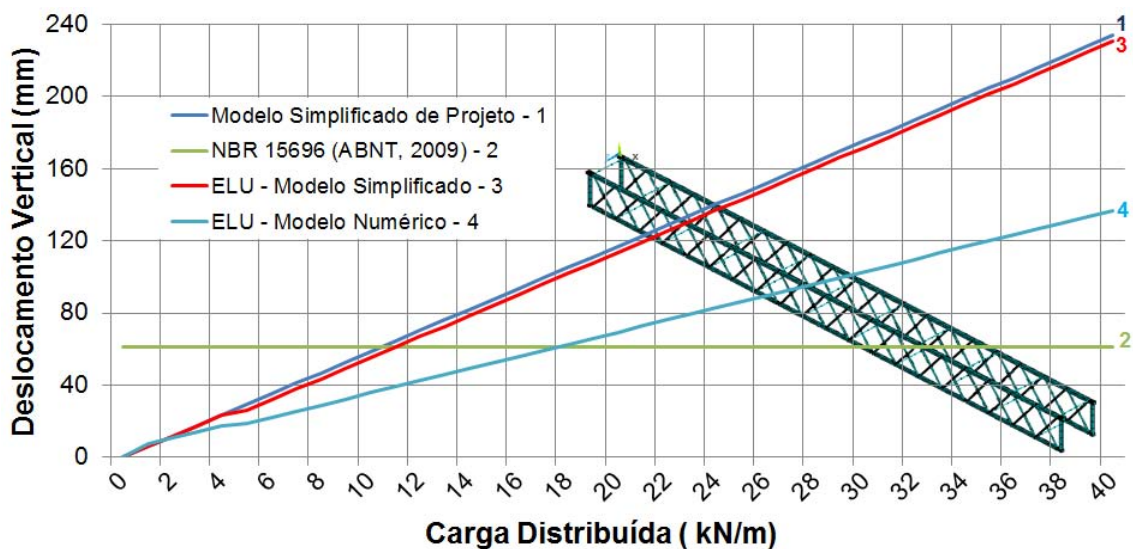


Figura42– Carga distribuída em função do deslocamento no Modelo VII

Basicamente, observa-se uma variação linear dos valores máximos destes deslocamentos, onde o modelo simplificado de projeto atende ao proposto no tocante aos deslocamentos inferiores a norma ABNT NBR 15696 [3], até o limite de carregamento de aproximadamente 10,5kN. O modelo numérico do ANSYS [1] apresenta uma diminuição considerável nos deslocamentos em função dos carregamentos solicitados, conforme verificado na Figura41 e na Figura42, respectivamente. Da mesma forma, ocorre na ponderação dos carregamentos, seja no estado limite último sobre o modelo simplificado de projeto (ELUMSP) ou no estado limite último sobre o modelo numérico linear (ELUMNL).

Na avaliação do estudo de discretização, observa-se acúmulo de esforços normais e tensões, basicamente nas diagonais próximas aos apoios, principalmente nas diagonais extremas, mais propensas aos esforços provenientes da reação de apoio, corroborando com a aceitação de aproximação dos esforços cortantes de uma viga simples e bi apoiada, adotada no modelo simplificado de projeto (MSP).

Todos os resultados podem ser verificados na Tabela6, onde são confrontados os deslocamentos verticais (eixo y) nos modelos: simplificado de projeto, ELU sobre o simplificado de projeto e ELU sobre numérico linear. A deformada da estrutura é ilustrada na Figura43.

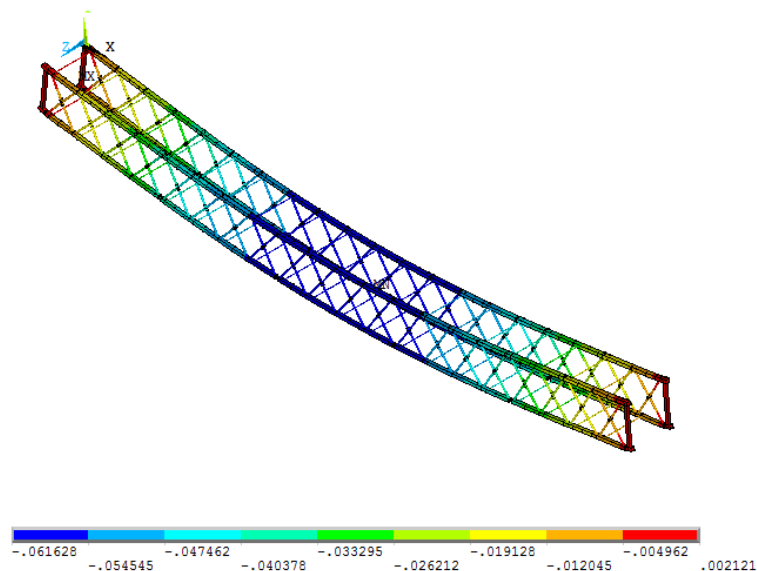


Figura43– Deformada do Modelo estrutural III e VII

Tabela6– Variação do deslocamento vertical em função do carga distribuída no Modelo III e VII.

Carga Distribuída q (N/m)	Deslocamento Translacional Vertical Máximo (mm)			
	MSP	ELUMSP	Modelo IIIELUMNL	Modelo VIIELUMNL
1000	5,85	5,85	7,49	7,49
5000	29,25	25,91	18,55	18,55
10000	58,50	55,16	35,61	35,61
15000	87,75	84,41	52,52	52,52
20000	117,00	113,65	69,38	69,38
25000	146,24	142,90	86,23	86,23
30000	175,49	172,15	103,07	103,07
35000	204,74	201,40	119,91	119,91
40000	233,99	230,65	133,42	136,74

Na análise dos esforços de tração dos banzos inferiores da treliça, o modelo simplificado de projeto limita sua utilização através de binários de forças, onde o limite respeitado de flexão é de 1.471,50 kN.m com 2 metros de distância entre os banzos. Tal consideração de projeto, fornece que a carga máxima de tração a ser aplicada nos banzos é de 735,75 kN.

Para atingir o limite de flexão adotado no modelo simplificado de projeto, foi analisado os esforços de tração nos banzos inferiores do conjunto a uma carga distribuída longitudinalmente de 17,09 kN/m. Desta forma, obteve-se o esforço máximo de tração no modelo numérico de 349,52 kN, conforme mostrado na Figura40.

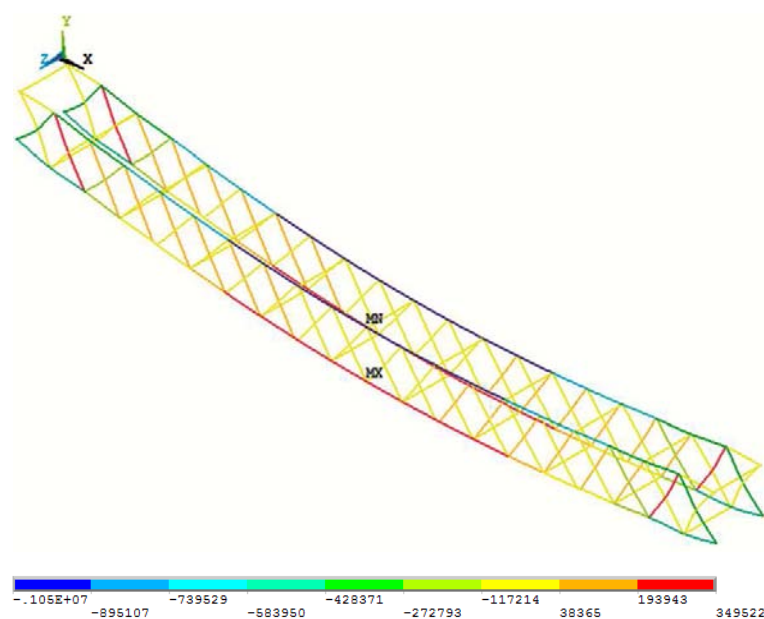


Figura44– Esforços Normais do Modelo estrutural III e VII

5.2.4 Modelo Estrutural IV e VIII - Análise de deslocamentos e esforços máximos

Na sequência do estudo, a Figura45 e a Figura46 ilustram as curvas associadas aos deslocamentos verticais, obtidos no centro da estrutura treliçada, em função da variação do carregamento adicional de topo do modelo investigado.

Assim sendo, para o vão de 30,3 m, o deslocamento vertical máximo admissível correspondente ao modelo IV e ao modelo VIII é de 61,6 mm. As curvas associadas aos deslocamentos, são confrontadas nos gráficos ilustrados na Figura45 e Figura46, respectivamente.

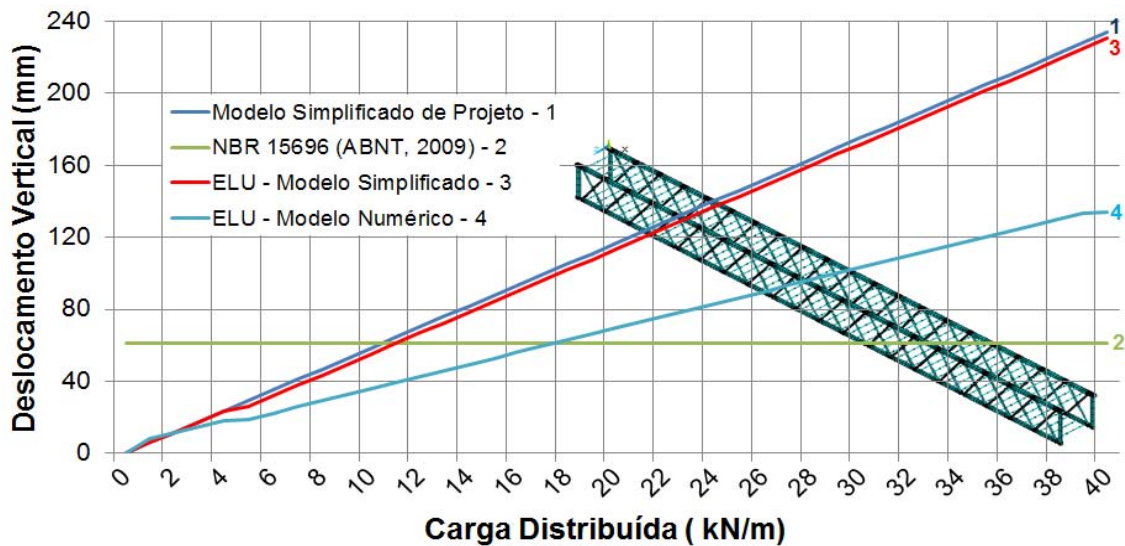


Figura45– Carga distribuída em função do deslocamento no Modelo IV.

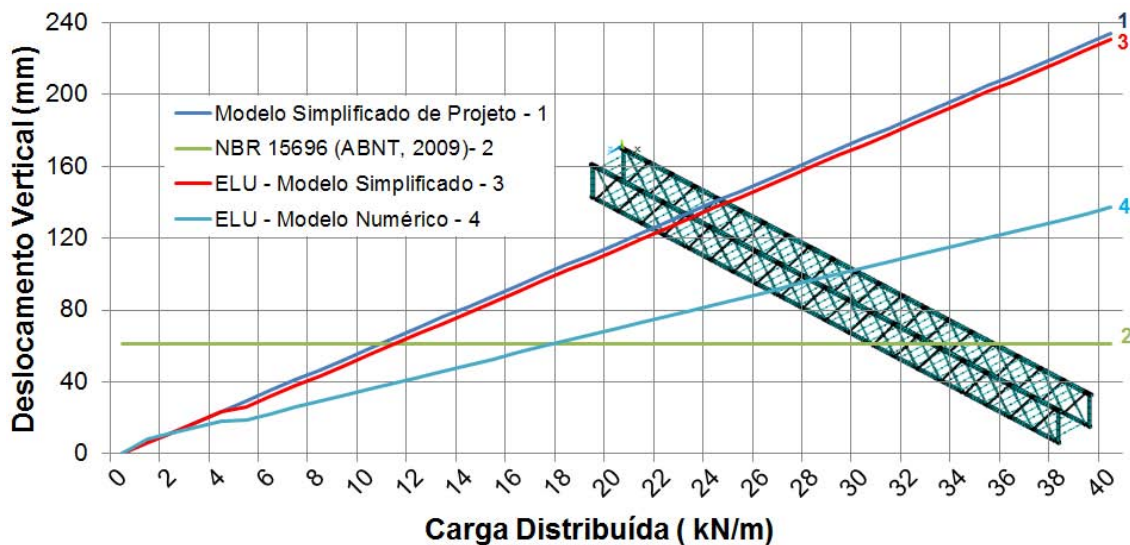


Figura46– Carga distribuída em função do deslocamento no Modelo VIII

Basicamente, observa-se uma variação linear dos valores máximos destes deslocamentos, onde o modelo simplificado de projeto atende ao proposto no tocante aos deslocamentos inferiores a norma ABNT NBR 15696 [3], até o limite de carregamento de aproximadamente 10,5 kN. O modelo numérico do ANSYS [1] apresenta uma diminuição considerável nos deslocamentos em função dos carregamentos solicitados, conforme verificado na Figura45 e na Figura46, respectivamente. Da mesma forma, ocorre na ponderação dos carregamentos, seja no estado limite último sobre o modelo simplificado de projeto (ELUMSP) ou no estado limite último sobre o modelo numérico linear (ELUMNL).

Na avaliação do estudo de discretização, observa-se acúmulo de esforços normais e tensões, basicamente nas diagonais próximas aos apoios, principalmente nas diagonais extremas, mais propensas aos esforços provenientes da reação de apoio, corroborando com a aceitação de aproximação dos esforços cortantes de uma viga simples e bi apoiada, adotada no modelo simplificado de projeto (MSP).

Todos os resultados podem ser verificados na Tabela6, onde são confrontados os deslocamentos verticais (eixo y) nos modelos: simplificado de projeto, ELU sobre o simplificado de projeto e ELU sobre numérico linear. A deformada da estrutura é ilustrada na Figura47.

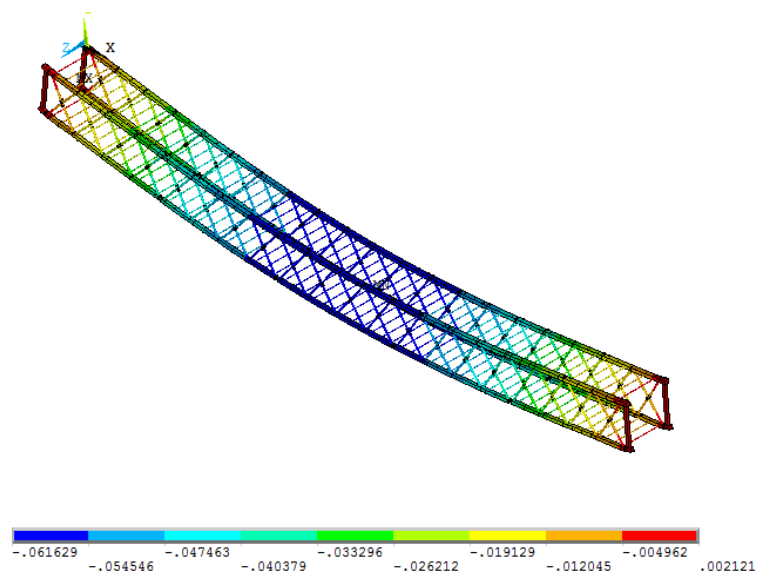


Figura47– Deformada do Modelo estrutural IV e VIII

Tabela7– Variação do deslocamento vertical em função do carga distribuída no Modelo IV e VIII.

Carga Distribuída q (N/m)	Deslocamento Translacional Vertical Máximo (mm)			
	MSP	ELUMSP	Modelo IVELUMNL	Modelo VIII ELUMNL
1000	5,85	5,85	7,79	7,79
5000	29,25	25,91	18,82	18,82
10000	58,50	55,16	35,90	35,90
15000	87,75	84,41	52,81	52,81
20000	117,00	113,65	69,68	69,68
25000	146,24	142,90	86,53	86,53
30000	175,49	172,15	103,37	103,37
35000	204,74	201,40	120,21	120,21
40000	233,99	230,65	133,72	137,04

Na análise dos esforços de tração dos banzos inferiores da treliça, o modelo simplificado de projeto limita sua utilização através de binários de forças, onde o limite respeitado de flexão é de 1.471,50 kN.m com 2 metros de distância entre os banzos. Tal consideração de projeto, fornece que a carga máxima de tração a ser aplicada nos banzos é de 735,75 kN.

Para atingir o limite de flexão adotado no modelo simplificado de projeto, foi analisado os esforços de tração nos banzos inferiores do conjunto a uma carga distribuída longitudinalmente de 17,00 kN/m. Desta forma, obteve-se o esforço máximo de tração no modelo numérico de 349,54 kN, conforme mostrado na Figura48.

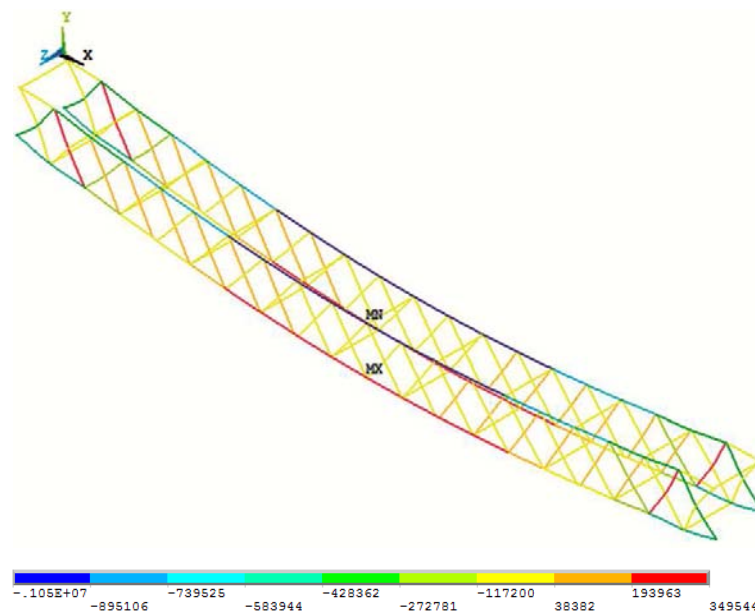


Figura48– Esforços Normais do Modelo estrutural IV e VIII

Tabela 8 – Resumo das cargas dos modelos de análise linear

Modelo Investigado	Carga de Distribuída (kN/m)	Esforço Normal de Tração (kN)	Esforço Normal de Compressão (kN)
Modelo I	17,35	332,24	1030
Modelo II	17,26	332,26	1030
Modelo III	17,09	349,52	1060
Modelo IV	17,00	349,54	1060
Modelo V	17,35	332,24	1030
Modelo VI	17,26	332,26	1030
Modelo VII	17,09	349,52	1060
Modelo VIII	17,00	349,54	1060

Neste capítulo foi apresentado a análise linear-elástica dos modelos numéricos representados do sistema treliçado espacial para escoramento de estruturas civis. No próximo capítulo serão apresentados os resultados das análises não lineares desses modelos.