



FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS TUBULARES TRELIÇADAS

Larissa Novelli

Elcio Cassimiro Alves

larissa.novelli@hotmail.com

elcio.calves1@gmail.com

Universidade Federal do Espírito Santo

Av. Fernando Ferrari, 514 Cep 29097-910, Goiabeiras – Vitória – ES - Brazil

Hélio Gomes Filho

Mindszenty Jr. P. Garozi

Macksuel Soares Azevedo

heliogomesfilho@gmail.com

mindszentyjr@gmail.com

macksuel.azevedo@gmail.com

Universidade Federal do Espírito Santo

Av. Fernando Ferrari, 514 Cep 29097-910, Goiabeiras – Vitória – ES – Brazil

Resumo. *O presente trabalho apresenta um sistema desenvolvido em MatLab para Análise de estruturas treliçadas espaciais e dimensionamento de estruturas tubulares. Devido a falta de ferramentas computacionais de acesso gratuito que façam análise de estruturas espaciais, buscou-se desenvolver uma ferramenta interativa e de fácil manipulação para auxiliar nas disciplinas de análise estrutural e dimensionamento de estruturas de aço. O sistema baseia-se numa entrada que pode ser feita manualmente ou a partir da importação de um arquivo do Autocad. Os resultados da análise estrutural para estruturas planas foram validados comparando os resultados com o Ftool e para estruturas espaciais comparando os resultados com o Ansys. O dimensionamento final da estrutura pode ser feito individualmente por barra, ou por agrupamento, levando em consideração as características da estrutura.*

Palavras Chaves: Perfis Tubulares, Dimensionamento, Estruturas de aço.

1 INTRODUÇÃO

O início da construção com estruturas de aço se deu por volta do século XVIII, devido à primeira revolução industrial. Como exemplo, a Fig. 1 mostra a construção da Ponte Ironbridge, em 1779, na Inglaterra.



Figura 1. Ponte Ironbridge, Inglaterra

Fonte: Disponível em: < www.ironbridge.org.uk >. Acesso em: 26 maio 2015.

Várias outras obras foram feitas ao longo dos anos, e cada vez mais os engenheiros e arquitetos foram realizando projetos em estruturas de aço, levados pelas grandes vantagens da sua utilização. Porém, no Brasil, a utilização de estruturas de aço só teve um grande crescimento nos últimos 15 anos devido à necessidade da industrialização da construção civil.

Construções em aço comparadas às construções convencionais de concreto possuem tempo de execução menor e são mais leves, reduzindo o custo com as fundações. Assim, apesar do aço ser mais caro haverá redução no custo com a mão-de-obra e o retorno mais rápido dos investimentos.

Outro ponto positivo é que como as peças estruturais, tais como vigas e pilares, são feitas em uma fábrica, existe um maior controle de qualidade e não há necessidade de estoque no canteiro de obras, além do aço ser um material reciclável.

Entre os tipos de estruturas construídas com aço encontram-se as estruturas tubulares treliçadas. Essas estruturas são bastante utilizadas em coberturas, pontes e torres de transmissão. Elas resistem de maneira econômica a elevados esforços de tração e compressão e por possuírem menor área se comparadas às seções abertas se reduz custos com proteção e pintura.

Como consequência do Brasil, em 2014, ter recebido a Copa do Mundo e os preparativos para sediar as Olimpíadas em 2016, está ocorrendo um grande emprego de estruturas tubulares em obras como estádios, arenas, terminais de metrô e aeroportos. Tem-se como exemplo a Arena Corinthians, Fig. 2, que consumiu cerca de 4000 t de aço.



Figura 2. Estádio de futebol Arena Corinthians

Fonte: Disponível em: < www.estruturastubulares.com.br>. Acesso em: 26 maio 2015.

Este tipo de estrutura tem como vantagens possuir baixo peso próprio, vencerem grandes vãos, suportarem cargas elevadas e rapidez na execução da obra.

A partir desse contexto surge a necessidade da análise e do dimensionamento dessas estruturas. Como as treliças estão submetidas apenas ao esforço normal esse dimensionamento deve ser feito para compressão e tração.

Estruturas treliçadas geralmente possuem muitas barras, e o dimensionamento individualizado de cada barra tornaria o processo muito cansativo e passível de erros. Aparece então a necessidade de um programa, de livre acesso, que dimensione todas as barras de forma rápida e confiável. Esta ferramenta serve de auxílio tanto para estudantes quanto para profissionais da área de estruturas.

2 DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS TUBULARES

O método para dimensionamento de estruturas de aço tubulares encontra-se na ABNT NBR 8800:2008 juntamente com a norma ABNT NBR 16239:2013.

Estruturas treliçadas estão submetidas a esforços normais de tração e compressão e devem ter como princípio que “os esforços solicitantes devem ser menores que os resistentes de cálculo”.

2.1 Barras submetidas à força axial de tração

Segundo a ABNT NBR 8800:2008, o dimensionamento a tração deve atender a seguinte condição:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (1)$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ = força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$ = força axial de tração resistente de cálculo.

A força axial resistente de cálculo usada no dimensionamento deve ser a menor encontrada segundo os dois casos abaixo:

a) para escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2)$$

b) para ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (3)$$

Onde:

A_g = área bruta da seção transversal da barra;

A_e = área líquida efetiva da seção transversal da barra;

f_y = resistência ao escoamento do aço;

f_u = resistência à ruptura do aço;

γ_{a1} = coeficiente de ponderação de resistência para escoamento de aço estrutural igual a 1,1 para combinações normais;

γ_{a2} = coeficiente de ponderação de resistência para ruptura de aço estrutural igual a 1,35 para combinações normais.

Cálculo da área líquida efetiva

$$A_e = C_t A_n \quad (4)$$

Onde:

A_n = área líquida da barra;

C_t = coeficiente de redução da área líquida.

Admitindo-se que não existam furos, a área líquida, A_n , deve ser tomada igual à área transversal, A_g .

Adotando-se que a força de tração é transmitida para toda a seção transversal por solda, C_t deve ser tomado igual a 1.

Limitação do índice de esbeltez

$$\lambda = \frac{L}{r} \leq 300 \quad (5)$$

Onde:

L = comprimento destravado, tomado igual ao comprimento da própria barra;

r = raio de giração.

2.2 Barras submetidas à força axial de compressão

Para barras dimensionadas a compressão, segundo a ABNT 8800:2008 deve ser atendida a condição:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (6)$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ = força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$ = força axial de compressão resistente de cálculo.

Força axial resistente de cálculo

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (7)$$

Onde:

χ = fator de redução associado à resistência à compressão;

Q = fator de redução total associado à flambagem local;

A_g = área bruta da seção transversal da barra.

Fator de redução χ

O fator de redução associado à força axial de compressão resistente, para perfis tubulares é dado pela ABNT NBR 16239:2013.

$$\chi = \frac{1}{(1 + \lambda_0^{4,48})^{1/2,24}} \quad (8)$$

Onde:

λ_0 = índice de esbeltez reduzido dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (9)$$

Onde:

A_g = área bruta da seção transversal;

N_e = força axial de flambagem elástica;

Q = fator de redução total associado à flambagem local;

Flambagem local das barras axialmente comprimidas

Os elementos pertencentes aos perfis tubulares retangulares e quadrados são classificados como elementos AA, pois possuem duas bordas vinculadas, assim:

$$Q = Q_a \quad (10)$$

A Tabela 1 apresenta a relação de (b/t) segundo a ABNT NBR 8800:2008.

Tabela 1. Fator de redução total associado à flambagem local segundo NBR8800

Descrição dos elementos	$(b/t)_{lim}$
Mesas ou almas de seções tubulares retangulares	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas	

Para valores da relação (b/t) menor que o limite estabelecido na tabela, $Q_a = 1$.

Quando a relação é maior que a limite, tem-se:

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g} \quad (11)$$

Onde:

$$A_{ef} = A_g - \Sigma(b - b_{ef})t \quad (12)$$

$$b_{ef} = 1,92t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1 - \frac{c_a}{b/t} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \leq b \quad (13)$$

Onde:

A_{ef} = área efetiva da seção transversal;

b = largura do elemento;

t = espessura do elemento;

b_{ef} = largura efetiva do elemento AA;

$c_a = 0,38$;

σ = tensão que pode ser tomada igual a f_y .

Os perfis de seções tubulares circulares possuem uma classificação à parte, dada abaixo:

$$a) Q = 1,00 \text{ para } \frac{D}{t} \leq 0,11 \frac{E}{f_y} \quad (14)$$

$$b) Q = \frac{0,038}{D/t} \frac{E}{f_y} + \frac{2}{3} \text{ para } 0,11 \frac{E}{f_y} < \frac{D}{t} \leq 0,45 \frac{E}{f_y} \quad (15)$$

Força axial de flambagem elástica

Para as seções tubulares que são duplamente simétricas a força axial de flambagem elástica, N_e , é dada por:

- Para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad (16)$$

- Para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (17)$$

- Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z :

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \quad (18)$$

Onde:

$K_x = K_y = K_z$ = comprimento de flambagem que é igual a 1 pois as barras são birotuladas;

I_x e I_y = momentos de inércia;

C_w = constante de empenamento que para seções tubulares retangulares, quadradas e circulares é zero;

J = constante de torção da seção transversal;

r_0 = raio de giração polar, dado por:

$$r_0 = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2)} \quad (19)$$

N_e é o menor dos valores entre N_{ex} , N_{ey} e N_{ez} .

Limitação do índice de esbeltez

$$\lambda = \frac{KL}{r} \leq 200 \quad (20)$$

Onde:

K = coeficiente de flambagem igual a 1;

L = comprimento destravado, tomado igual ao comprimento da própria barra;

r = raio de giração.

3 MODELAGEM COMPUTACIONAL DO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

A partir do estudo do dimensionamento das barras de perfis tubulares elaborou-se um programa que dimensiona de forma iterativa partindo-se dos esforços internos previamente calculados.

Para o desenvolvimento do programa utilizou-se o Software MatLab, por possuir uma plataforma de fácil utilização e guias para a interface gráfica, o que facilita a manipulação do programa pelo usuário. Nele foram implementados os algoritmos do dimensionamento e transferiu-se os resultados para um programa de computador chamado “Structure 3D”, implementado anteriormente como projeto de graduação da UFES (Filho, H. G.; Garozi, M. J. P, 2014). Este programa faz o cálculo das estruturas com base no método dos elementos finitos, mais propriamente o método dos deslocamentos, e retorna os esforços internos das barras. Estes esforços internos foram comparados e validados com o programa Ftool para estruturas planas, e para estruturas espaciais comparou-se com o programa Ansys, todas essas comparações foram apresentadas no projeto de graduação.

No Structure 3D a estrutura pode ter tanto sua geometria digitada no próprio programa (entrada manual), quanto ser importada do Autocad, e os dados como forças atuantes e apoios podem ser escolhidos e inseridos diretamente. Abaixo são apresentados a tela inicial do programa e os comandos para inserir as cargas e os apoios, Fig.3 e Fig.4 respectivamente.

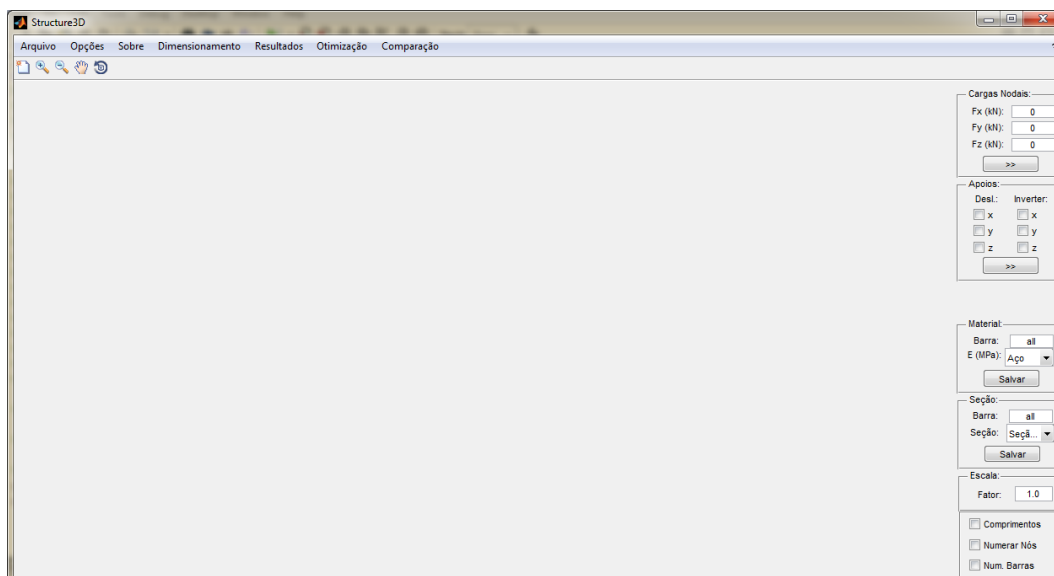


Figura 3. Tela inicial do programa de computador Structure 3D

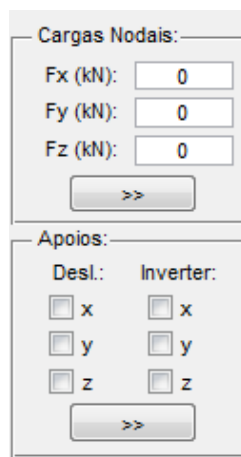


Figura 4. Tela de inserção das cargas e dos apoios

Para a escolha da seção transversal e propriedades mecânicas, utilizou-se como base o catálogo da empresa Vallourec (Vallourec, 2015). Nele são fornecidos valores típicos de resistência à ruptura e ao escoamento para diferentes aços estruturais e as seções são divididas entre tubular circular, retangular e quadrada, cada uma com suas respectivas propriedades geométricas. Todos os valores das tabelas foram transportados para planilhas do Excel que são importadas para o programa durante a utilização.

O usuário ao escolher as propriedades mecânicas pode tanto inserir novas propriedades quanto escolher um aço já fornecido (Fig. 5) da mesma forma ocorre para as seções transversais (Fig. 6). Sendo que essas propriedades podem ser atribuídas para todas as barras ou para barras específicas. A Fig. 7 possui como exemplo a guia que se abre quando o usuário deseja escolher um perfil circular das tabelas.

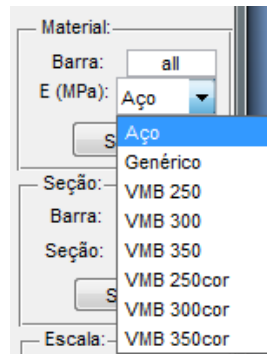


Figura 5. Escolha das propriedades mecânicas

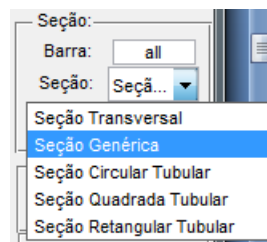


Figura 6. Escolha da seção transversal do perfil

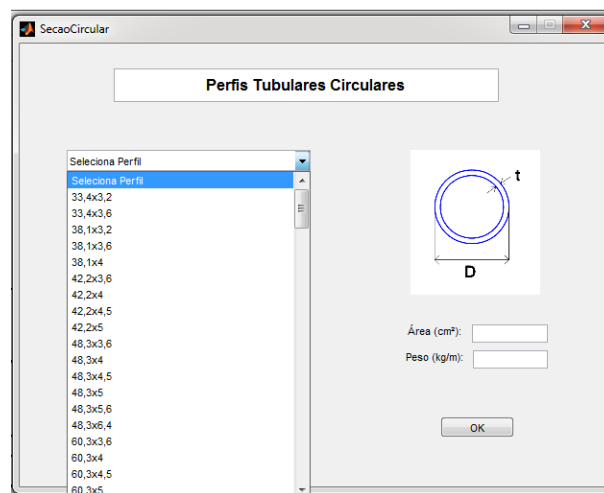


Figura 7. Tela de perfis circulares

A partir do perfil escolhido calcula-se o peso próprio da estrutura que é dividido para os nós da treliça, e então são feitas as combinações normais das ações. Assim ao calcular a estrutura ter-se-á os esforços internos de cálculo em cada barra. Toda a análise é apresentada na própria estrutura ou em forma de relatório para todas as barras. Nessa análise são apresentados os esforços internos, deslocamentos nodais e as reações dos apoios.

O dimensionamento pode ser escolhido para duas situações distintas. A primeira situação é para o dimensionamento por agrupamento de barras e a segunda para todas as barras da treliça (Fig. 8). No dimensionamento por agrupamento a estrutura é dividida em banzos superiores, inferiores e diagonais.

Para a realização do dimensionamento seguem-se determinados passos. No dimensionamento para todas as barras primeiramente calcula-se os esforços internos de cada barra e parte-se para análise dos perfis comerciais das tabelas importadas do Excel. Percorre-se pela tabela do tipo de perfil tubular escolhido analisando se o perfil atende aos critérios do

dimensionamento, então seleciona-se os cinco primeiros perfis que atendam e desses cinco escolhe-se o que possui menor massa por comprimento. Para o dimensionamento por agrupamento o dimensionamento segue os mesmos passos que para todas as barras, porém os esforços analisados são apenas os valores máximos de compressão e tração do grupo de barras.

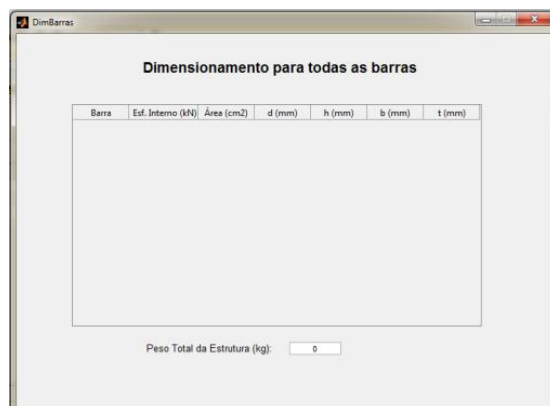


Figura 8. Tela de resultados para o dimensionamento de todas as barras

Abaixo segue o fluxograma do funcionamento do programa (Fig. 9).

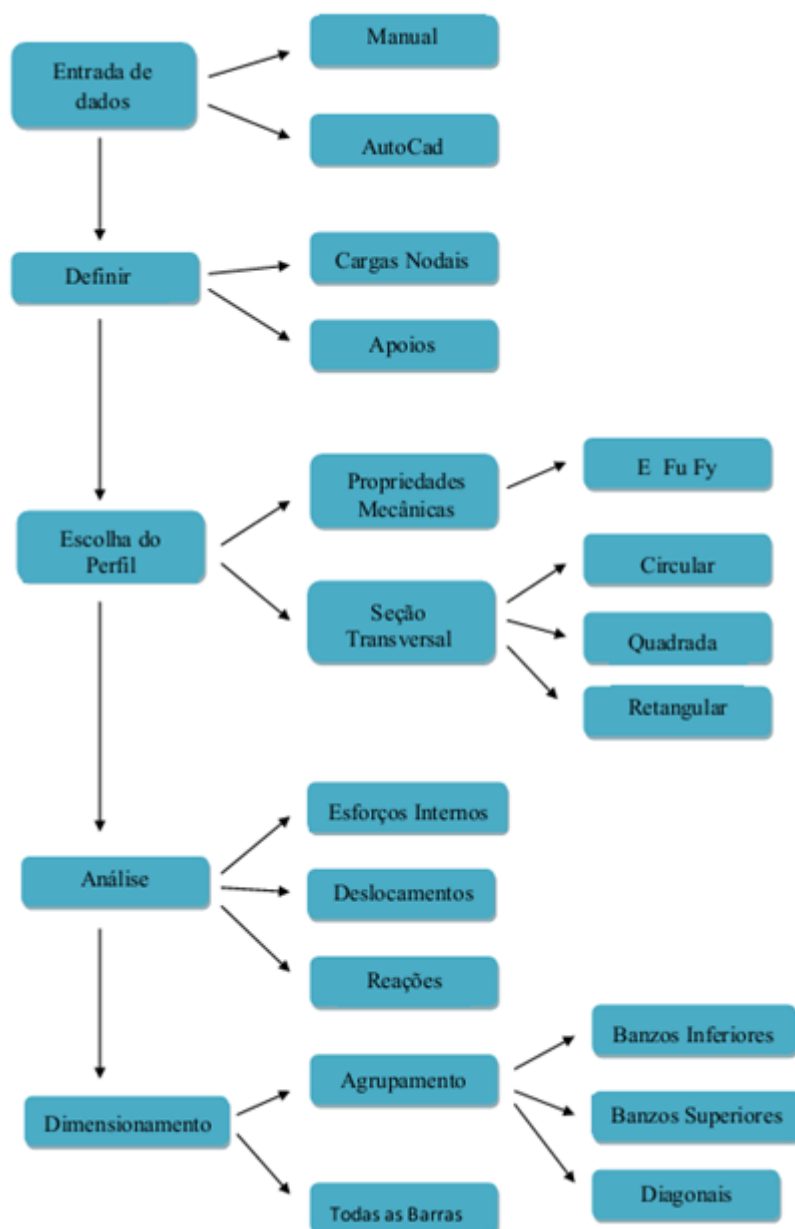


Figura 9. Fluxograma de funcionamento do programa

4 EXEMPLOS NUMÉRICOS

Três exemplos numéricos serão apresentados, um de treliça plana e outros dois de treliças espaciais. Todos os exemplos terão como dados de saída os esforços internos e as tabelas de resultados com os perfis dimensionados.

4.1 Treliça Plana

O exemplo escolhido para a treliça plana foi composto por 21 barras como mostra a Fig. 10 e sua geometria na Fig.11. Selecionou-se o aço VMB 250 com módulo de elasticidade $E=$

200000 MPa, resistência ao escoamento do aço $f_y = 250$ MPa e resistência à ruptura do aço $f_u = 400$ MPa.

Para o cálculo dos esforços internos utilizou-se inicialmente o perfil tubular quadrado de seção transversal 50x50x4 mm, com área de 7,07cm². A Fig. 12 mostra os esforços internos e a Fig. 13 e Fig.14 mostrando dimensionamento tanto para todas as barras quanto para agrupamento, respectivamente.

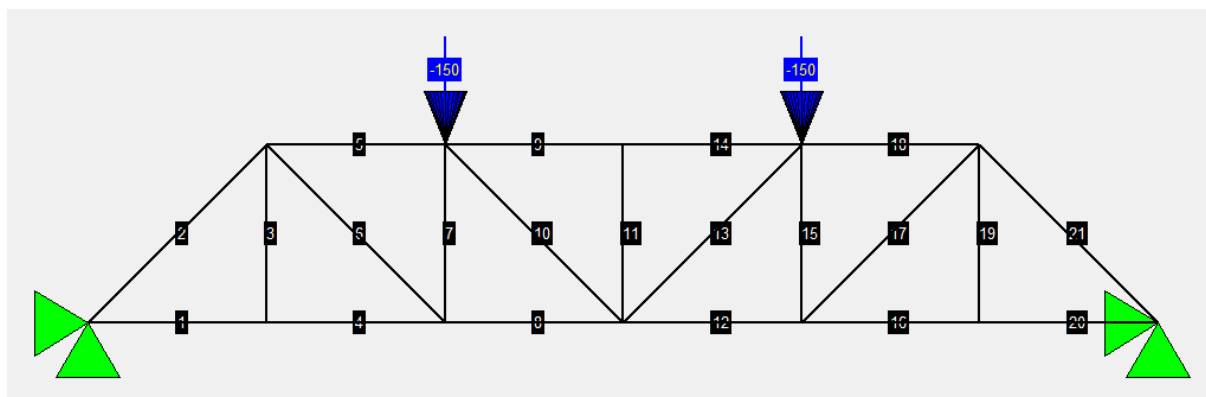


Figura 10. Estrutura em treliça plana

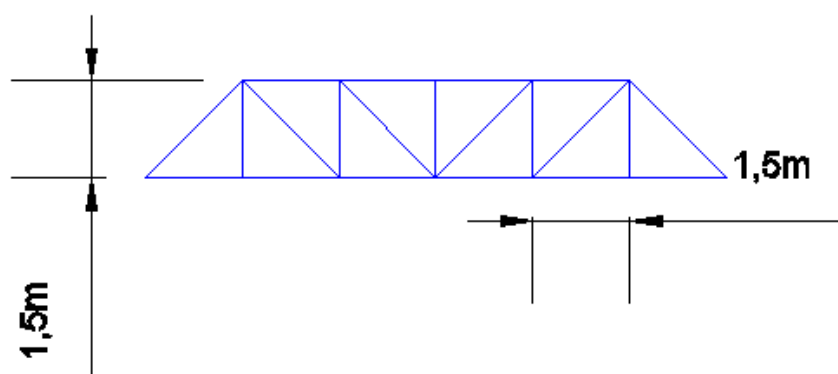


Figura 11. Dimensões da treliça em m

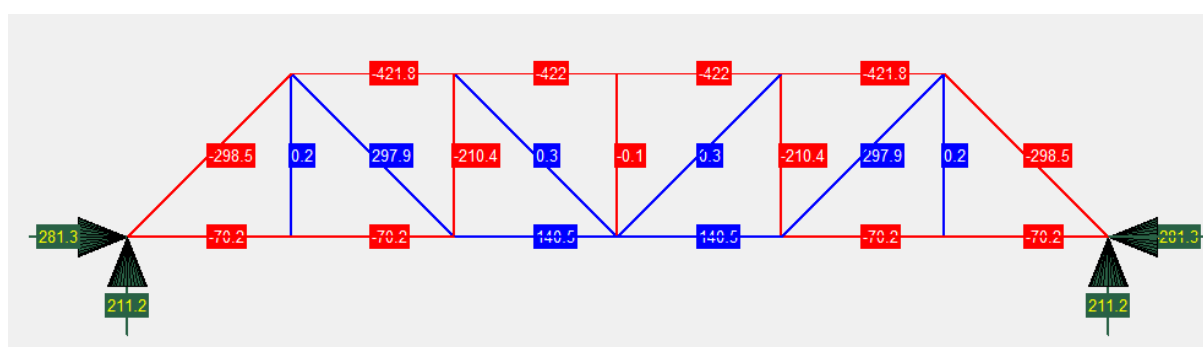


Figura 12. Esforços Internos das barras da treliça plana em kN

DimBarras

Dimensionamento para todas as barras

Barra	Esf. Interno (kN)	Área (cm ²)	d (mm)	h (mm)	b (mm)	t (mm)
1	-70.2253	6.4100			50	3.6000
2	-298.5059	14.6000			90	4.5000
3	0.2042	6.4100			50	3.6000
4	-70.2253	6.4100			50	3.6000
5	-421.7515	19.9000			80	7.1000
6	297.9408	13.2000			70	5
7	-210.3996	10.5000			80	3.6000
8	140.4506	6.4100			50	3.6000
9	-421.9768	19.9000			80	7.1000
10	0.3186	6.4100			50	3.6000
11	-0.1021	6.4100			50	3.6000
12	140.4506	6.4100			50	3.6000
13	0.3186	6.4100			50	3.6000
14	-421.9768	19.9000			80	7.1000
15	-210.3996	10.5000			80	3.6000
16	-70.2253	6.4100			50	3.6000
17	297.9408	13.2000			70	5
18	-421.7515	19.9000			80	7.1000
19	0.2042	6.4100			50	3.6000
20	-70.2253	6.4100			50	3.6000
21	-298.5059	14.6000			90	4.5000

Peso Total da Estrutura (kg): 300.4793

Figura 13. Dimensionamento para todas as barras da treliça plana

DimAgrupamento

Dimensionamento por Agrupamento

	Esf. Máx Tração (kN)	Esf. Máx Compressão (kN)	Área (cm ²)	d (mm)	h (mm)	b (mm)	t (mm)
Banzos Inferiores	140.4506	-70.2253	6.4100			50	3.6000
Banzos Superiores	0	-421.9768	19.9000			80	7.1000
Diagonais / Verticais	297.9408	-298.5059	14.6000			90	4.5000

Peso Total da Estrutura (kg): 371.4911

Figura 14. Dimensionamento por agrupamento de barras da treliça plana

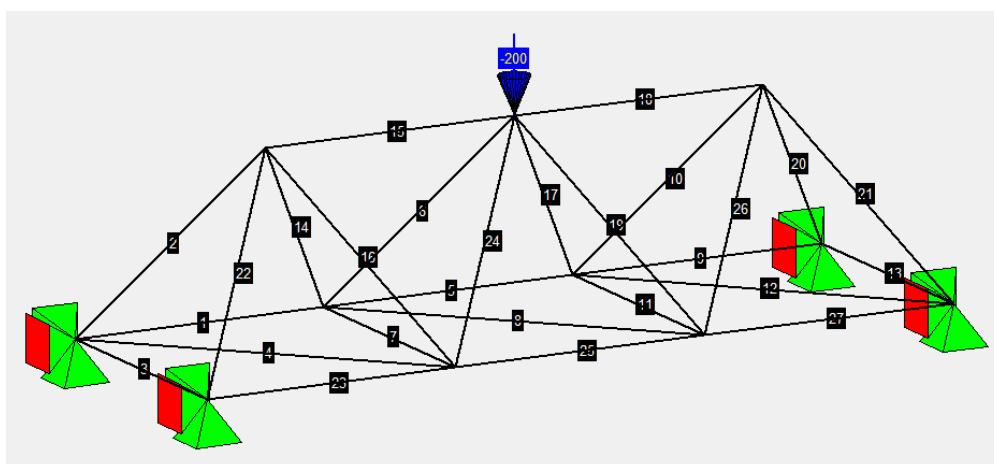
A Tabela 2 apresenta uma comparação entre os três tipos de perfis tubulares utilizando-se o dimensionamento para todas as barras. Para o cálculo dos esforços internos utilizou-se: Circular (33,4x3,6mm), quadrado (50x50x4mm) e retangular (60x40x4mm).

Tabela 2. Tabela comparativa entre os tipos de perfis tubulares da treliça plana utilizando dimensionamento para todas as barras

Barra	Circular		Quadrado		Retangular		
	d(mm)	t(mm)	b(mm)	t(mm)	h(mm)	b(mm)	t(mm)
1, 4, 8, 12, 16, 20	48,3	3,6	50,0	3,6	60	40	3,6
2, 21	114,3	4,0	90,0	4,5	110	80	4,5
3, 10, 11, 13, 19	33,4	3,2	50,0	3,6	60	40	3,6
5, 9, 14, 18	114,3	5,6	80,0	7,1	110	80	5,6
6, 17	88,9	5,0	70,0	5,0	90	50	5,0
7, 15	88,9	3,6	80,0	3,6	80	50	5,0
Peso(kg)	261,8615		300,4793		301,0149		

4.2 Treliça Espacial 1

Para a primeira treliça espacial escolheu-se como exemplo uma treliça de 27 barras conforme mostra a Fig.15 e sua geometria na Fig.16. Selecionou-se o aço VMB 300 com módulo de elasticidade $E = 200000$ MPa, resistência ao escoamento do aço $f_y = 300$ MPa e resistência à ruptura do aço $f_u = 415$ MPa. Selecionou-se o perfil tubular circular 60,3x 4,5mm com área de 7,89 cm². A Fig.17 apresenta os esforços internos nas barras da treliça e a Fig.18 o dimensionamento por agrupamento.

**Figura 15. Estruturas em treliça espacial**

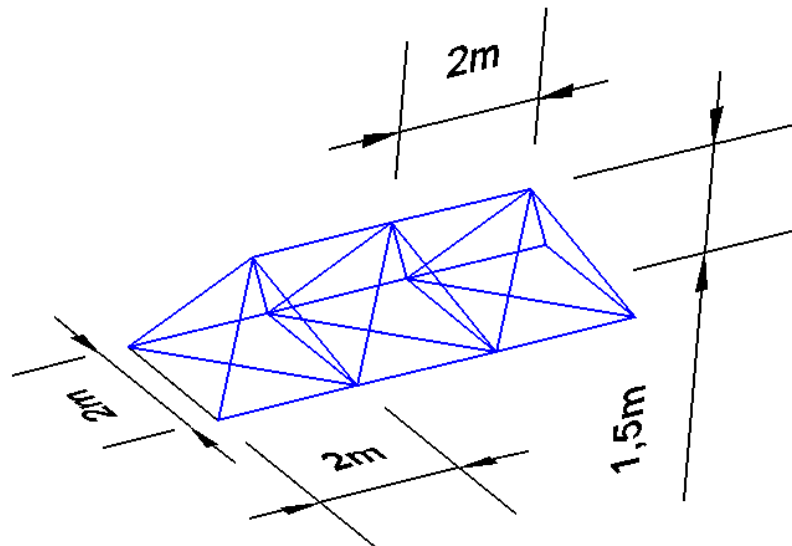


Figura 16. Dimensões da treliça em m

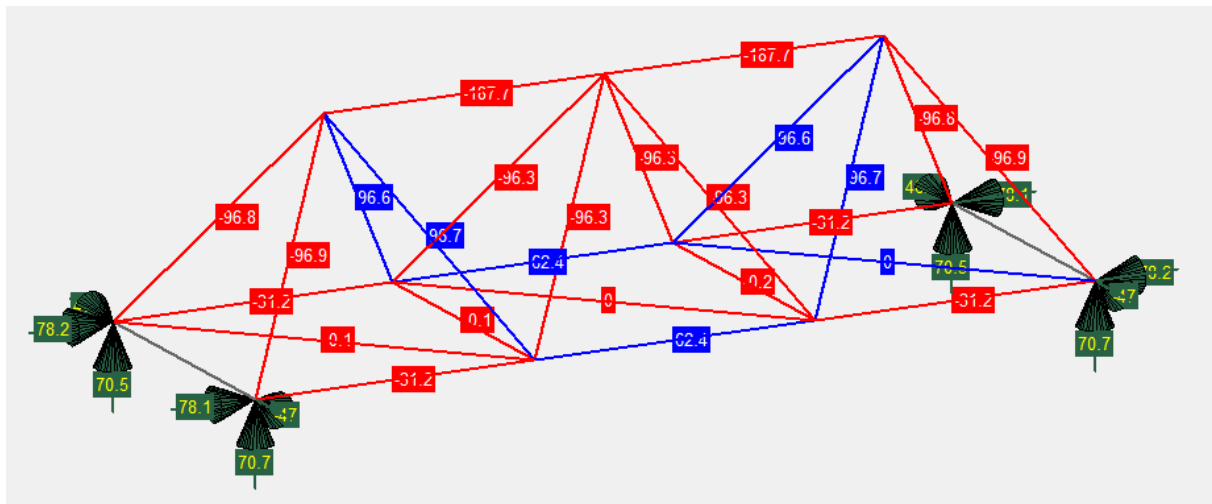


Figura 17. Esforços internos das barras da treliça espacial em kN

DimAgrupamento

Dimensionamento por Agrupamento

	Esf. Máx Tração (kN)	Esf. Máx Compressão (kN)	Área (cm ²)	d (mm)	h (mm)	b (mm)	t (mm)
Banzos Inferiores	62.5440	-31.3597	4.3700	42.2000			3.6000
Banzos Superiores	0	-188.5465	9.6500	88.9000			3.6000
Diagonais / Verticais	97.1570	-97.4242	7.0700	60.3000			4

Peso Total da Estrutura (kg): 265.2839

Figura 18. Dimensionamento por agrupamento da treliça espacial

A Tabela 3 apresenta a comparação entre os resultados de dimensionamento para três tipos de perfis utilizando-se o dimensionamento para todas as barras. Para o cálculo dos esforços internos nas barras foram utilizadas as seções transversais: circular (60,3x4,5mm), quadrada (50x50x4,5mm) e retangular (60x40x4,5mm).

Tabela 3. Tabela comparativa entre os tipos de perfis tubulares na treliça espacial utilizando dimensionamento para todas as barras

Barras	Circular		Quadrado		Retangular		
	d(mm)	t(mm)	b(mm)	t(mm)	h(mm)	b(mm)	t(mm)
1, 9, 23, 27	42,2	3,6	50	3,6	60	40	3,6
2, 6, 17, 19, 20, 21, 22, 24	60,3	4,0	60	3,6	70	50	3,6
3, 5, 7, 11, 12, 13, 25	33,4	3,2	50	3,6	60	40	3,6
4, 8	48,3	3,6	50	3,6	60	40	3,6
10, 14, 16, 26	38,1	3,6	50	3,6	60	40	3,6
15, 18	88,9	3,6	70	3,6	102	52	4,0
Peso(kg)	232,2357		316,6727		322,8327		

Como é possível se observar nos resultados da Tabela 3 o perfil circular aparece como mais vantajoso em relação ao quadrado e retangular, pois atente da mesma forma que aos outros aos critérios de resistência, porém com um peso consideravelmente menor cerca de 39%.

4.3 Treliça Espacial 2

O segundo exemplo de treliça espacial refere-se a um domo treliçado de 52 barras conforme Fig. 19 e Fig.20, e suas dimensões na Fig.21. Selecionou-se o aço VMB 250 com módulo de elasticidade $E = 200000$ MPa, resistência ao escoamento do aço $f_y = 250$ MPa e resistência à ruptura do aço $f_u = 400$ MPa. O perfil utilizado foi de seção transversal tubular circular de 48,3x4,5mm. Na Fig.22 são apresentados os esforços internos das barras.

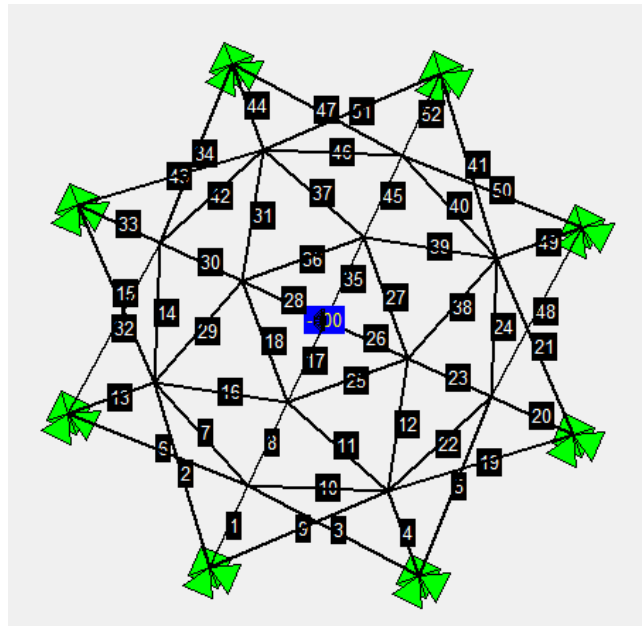


Figura 19. Projeção plana do domo treliçado

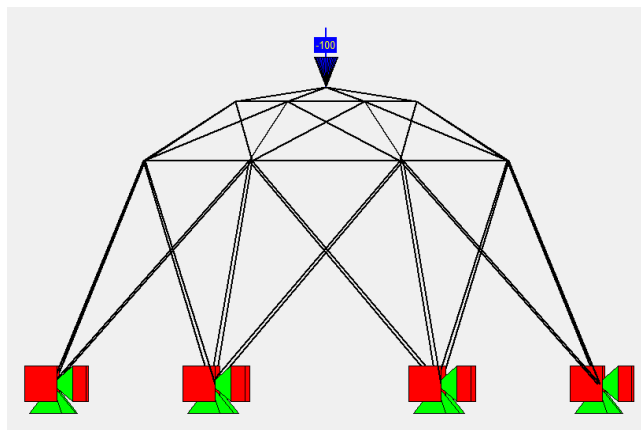


Figura 20. Vista frontal do domo treliçado

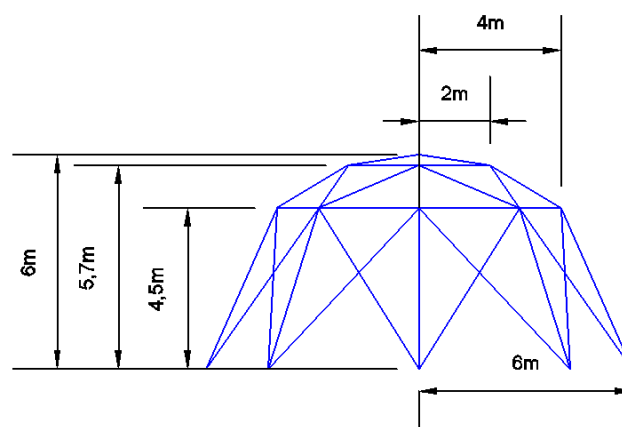


Figura 21. Dimensões da treliça em m

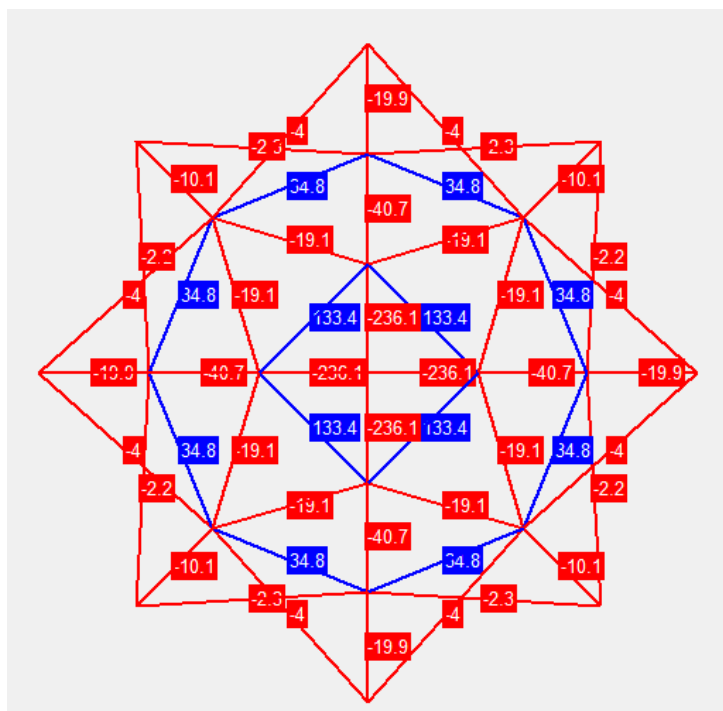


Figura 22. Esforços internos das barras do domo treliçado em kN

A Tabela 4 apresenta a comparação entre os resultados de dimensionamento para três tipos de perfis utilizando-se o dimensionamento para todas as barras. Para o cálculo dos esforços internos nas barras foram utilizadas as seções transversais: circular (48,3x4,5mm), quadrada (50x50x3,6mm) e retangular (60x40x3,6mm).

Tabela 4. Tabela comparativa entre os tipos de perfis tubulares na treliça espacial 2 utilizando dimensionamento para todas as barras

Barras	Circular		Quadrado		Retangular		
	d(mm)	t(mm)	b(mm)	t(mm)	h(mm)	b(mm)	t(mm)
1, 4, 13, 20, 33, 44, 49, 52	88,9	3,6	70	3,6	110,0	60,0	4,0
2, 3, 5, 6, 9, 15	101,6	4,0	80	3,6	100,0	80,0	4,0
7, 10, 14, 22, 24, 40, 42, 46	33,4	3,2	50	3,6	60,0	40,0	3,6
8, 23, 30, 45	48,3	4,0	50	3,6	60,0	40,0	3,6
11, 12, 16, 29, 31, 37, 38, 39	60,3	3,6	50	3,6	70,0	50,0	3,6
17, 26, 28, 35	88,9	4,5	80	4,0	120,0	60,0	4,0
18, 25, 27, 36	48,3	4,5	50	3,6	60,0	40,0	3,6
19, 21, 32, 34, 41, 43, 47, 48, 50, 51	101,6	4,0	80	3,6	100,0	80,0	4,0
Peso(kg)	1.609,7848		1.543,4070		1.866,5645		

5 CONCLUSÕES

Com a elaboração do programa de computador para o dimensionamento de estruturas tubulares tornou-se possível uma análise mais rápida e confiável do dimensionamento. Por ser um programa de fácil utilização pode ser adotado de forma didática e auxiliar em diversas disciplinas de análise estrutural.

Por possuir tabelas comerciais existentes no mercado das estruturas de aço tubulares ocorre uma facilidade na utilização pelo usuário e garante que as dimensões resultantes estejam disponíveis para sua aplicação na construção.

Como os perfis são divididos em três tipos de seções transversais, circular, quadrado e retangular, é possível fazer uma análise para as diferentes seções e comparar qual é a mais viável para se construir. Outro fato que facilita, para fins construtivos, é o dimensionamento por agrupamento, que reduz o número de perfis diferentes, o que facilita na hora da execução da estrutura e pode deixá-la mais bonita esteticamente.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 8800, 2008. *Projeto de estruturas de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro/ RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 16239, 2013. *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares*. Rio de Janeiro, RJ.

Catálogo. *Tubos estruturais: Seção circular, quadrada e retangular*. Vallourec. Disponível em: <<http://www.vallourec.com/COUNTRIES/BRAZIL/PT/Products-and-services/automotive-industrial-tubes/Documents/Catalogo%20Estruturais.pdf>>. Acesso em: 26 fevereiro 2015.

Filho, H. G.; Garozi, M. J. P, 2014. *Desenvolvimento de rotina em MatLab para análise de treliças espaciais*. Projeto de Graduação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

Imagem. *Arena Corinthians*. Disponível em: <<http://www.estruturastubulares.com/Obras/SitePages/Arena%20Corinthians%20-%20S%C3%A3o%20Paulo,%20SP.aspx>>. Acesso em: 26 maio 2015.

Imagem. *Ponte Ironbridge*. Disponível em: <<http://www.ironbridge.org.uk/about-us/>>. Acesso em: 26 maio 2015.