

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO  
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA**

**Curso de Engenharia Civil**

**Cristiano Goecks**

**ANÁLISE DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS EM ESTRUTURAS  
METÁLICAS**

**Ijuí/RS**

**2011**

**Cristiano Goecks**

# **ANÁLISE DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, como requisito parcial à obtenção de aprovação para a realização do Trabalho de Conclusão de Curso.

**Orientador: Valdi Henrique Spohr**

**Ijuí/RS**

**2011**

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Trabalho de conclusão de curso definido e aprovado em sua  
forma final pelo professor orientador e pelos membros da  
banca examinadora.**

---

Prof. Valdi Henrique Spohr, MSc. Eng – Orientador  
UNIJUÍ/Detec

Banca Examinadora

---

Prof. Paulo César Rodrigues, MSc. Eng  
UNIJUÍ/DeTec

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfis de chapa dobrada conformados a frio.....	14
Figura 2: Perfil soldado com chapas.....	14
Figura 3: Perfis laminados nas indústrias siderúrgicas.....	15
Figura 4: Exemplos de tipo de solda.....	17
Figura 5: Conexão tipo atrito.....	19
Figura 6: Conexão tipo contato.....	19
Figura 7: Tipo de vínculos em ligações parafusadas.....	20
Figura 8: Tipos de furos e espaçamentos.....	20
Figura 9: Valor de $X$ em função do índice de esbeltez $\lambda_0$ .....	29
Figura 10: Modelos de vigas treliçadas que serão analisadas.....	36
Figura 11: Gráfico comparativo do quantitativo de nós e barras das vigas.....	37
Figura 12: Interface gráfica do software STRAP.....	38
Figura 13: Interface gráfica do software FTOOL.....	38
Figura 14: Perfis viga treliçada TIPO A - Tesoura banzo reto.....	40
Figura 15: Perfis viga treliçada TIPO B - Treliça Contraventada.....	40
Figura 16: Perfis viga treliçada TIPO C - Tesoura Warren (a).....	41
Figura 17: Perfis viga treliçada TIPO D - Tesoura Warren (b).....	41
Figura 18: Gráfico comparativo dos pesos próprios de cada modelo de viga.....	42
Figura 19: Deslocamentos lineares viga treliçada TIPO A - Tesoura Banzo Reto.....	45
Figura 20: Deslocamentos lineares viga treliçada TIPO B - Treliça Contraventada.....	45
Figura 21: Deslocamentos lineares viga treliçada TIPO C - Tesoura Warren (a).....	45
Figura 22: Deslocamentos lineares viga treliçada TIPO D - Tesoura Warren (b).....	46
Figura 23: Gráfico comparativo dos deslocamentos lineares das vigas.....	46
Figura 24: Deslocamentos dos nós viga treliçada TIPO A - Tesoura Banzo Reto.....	47
Figura 25: Deslocamentos dos nós viga treliçada TIPO B - Treliça Contraventada.....	47
Figura 26: Deslocamentos dos nós viga treliçada TIPO C - Tesoura Warren (a).....	47
Figura 27: Deslocamentos dos nós viga treliçada TIPO D - Tesoura Warren (b).....	47
Figura 28: Gráfico comparativo dos deslocamentos dos nós das vigas.....	48
Figura 29: Gráfico comparativo dos deslocamentos totais das vigas.....	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dimensões máximas de furos para parafusos e barras redondas rosqueadas.....	21
Quadro 2: Valores dos coeficientes de ponderação das ações $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$ .....	25
Quadro 3: Elementos de ligação $\psi_0$ e de redução $\psi_1$ e $\psi_2$ para as ações variáveis.....	26
Quadro 4: Valor de $X$ em função do índice de esbeltez $\lambda_0$ .....	29
Quadro 5: Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados.....	30
Quadro 6: Valores de $(b/t)_{lim}$ .....	33
Quadro 7: Resultados.....	50

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

E: módulo de elasticidade

ELU: estados-limites últimos

ELS: estados-limites de serviço

F: força

G: módulo de elasticidade transversal

K: coeficiente de flambagem

L: comprimento

Mpa: Mega Pascal

Q: fator de redução associado à flambagem local

d: diâmetro

$\lambda$  : índice de esbeltez

$\lambda_0$ : índice de esbeltez reduzido

$\gamma$ : coeficiente de ponderação das ações

$\psi$ : fator de redução das ações

$\nu$  : coeficiente de Poisson

$\beta$ : coeficiente de dilatação térmica

$\rho$  : massa específica

$R_d$ : resistência de cálculo

$R_u$ : resistência última

$S_d$ : solicitação de cálculo

$A_g$ : área bruta

$A_n$ : área líquida

$A_e$ : área líquida efetiva

$C_t$ : coeficiente de redução área líquida

$f_y$ : resistência ao escoamento do aço

$f_u$ : resistência à ruptura do aço à tração

$N_e$ : força axial da flambagem elástica

$h$ : altura da alma

$t_w$ : espessura da alma

$b$ : largura

$b_f$ : largura da mesa

$t$ : espessura

$t_f$ : espessura da mesa

$t_w$ : espessura da alma

$\sigma$ : tensão normal

$\Sigma$ : somatório

$X$ : fator de redução associado à resistência à compressão

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 TEMA DA PESQUISA .....	10
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	10
1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO .....	10
1.4 OBJETIVOS .....	10
1.4.1 <i>Objetivo geral</i> .....	10
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	10
1.5 JUSTIFICATIVAS .....	11
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
2.1 HISTÓRICO DO AÇO.....	12
2.2 VANTAGENS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS .....	12
2.3 O AÇO E SUAS PROPRIEDADES .....	13
2.4 LIGAÇÕES NAS ESTRUTURAS METÁLICAS.....	15
2.4.1 <i>Ligações Soldadas</i> .....	15
2.4.1.1 Vantagens .....	16
2.4.1.2 Desvantagens .....	16
2.4.1.3 Exemplos de Tipos de Soldas.....	17
2.4.2 <i>Ligações Parafusadas</i> .....	17
2.4.2.1 Vantagens .....	17
2.4.2.2 Desvantagens .....	18
2.4.2.3 Tipos de Parafusos Principais Utilizados em Ligações.....	18
2.4.2.4 Tipos de Vínculos em Ligações Parafusadas .....	20
2.4.2.5 Tipos de Furos e Espaçamentos.....	20
2.5 SEGURANÇA: MÉTODO DOS ESTADOS LIMITES.....	21
2.5.1 <i>Combinações</i> .....	22
2.5.2 <i>Coefficientes de Ponderação das Ações</i> .....	24
2.5.3 <i>Força de Tração Resistente de Cálculo</i> .....	26
2.5.4 <i>Força de Compressão Resistente de Cálculo</i> .....	27
2.5.5 <i>Limite do Índice de Esbeltez</i> .....	29



2.5.6	<i>Flambagem local de barras axialmente comprimidas</i> .....	30
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>35</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	35
3.2	PLANEJAMENTO DA PESQUISA .....	35
3.2.1	<i>Definição dos Modelos de Vigas Treliçadas a Serem Analisados</i> .....	36
3.2.2	<i>Determinação das Deformações Elásticas nos Elementos Da Estrutura</i> .....	37
3.2.3	<i>Determinação das Deformações Não Lineares</i> .....	38
3.2.4	<i>Comparativo e/ou Somatório das Deformações Lineares e Não Lineares</i> .....	39
3.2.5	<i>Materiais e Equipamentos</i> .....	39
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>40</b>
4.1	DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS DAS VIGAS TRELIÇADAS .....	40
4.2	DIMENSIONAMENTO DOS PARAFUSOS DAS VIGAS TRELIÇADAS .....	42
4.3	VERIFICAÇÃO DA ÁREA LÍQUIDA .....	44
4.4	DESLOCAMENTOS LINEARES .....	45
4.5	DESLOCAMENTOS NÃO LINEARES .....	47
4.6	DESLOCAMENTOS TOTAIS .....	49
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>52</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>53</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Tema da Pesquisa

O tema da pesquisa é análise de ligações parafusadas em estruturas metálicas.

## 1.2 Delimitação do Tema

O tema deste trabalho é a investigação, com utilização de software de análise e dimensionamento estrutural, do comportamento estrutural de estruturas metálicas com ligações parafusadas.

## 1.3 Formulação da questão de estudo

Qual a interferência das ligações parafusadas no deslocamento de uma estrutura metálica?

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é verificar o comportamento estrutural de algumas estruturas metálicas buscando identificar a interferência das ligações parafusadas no deslocamento das mesmas.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar os tipos de estruturas metálicas a serem analisadas;
- Identificar os deslocamentos nas estruturas metálicas devido às ligações das mesmas serem parafusadas.

## 1.5 Justificativas

Diversos são os segmentos de mercado onde se faz necessário o uso das estruturas metálicas parafusadas, estas executadas em diversos tipos de instalações para atendimento das mais variáveis atividades.

Algumas destas estruturas metálicas, destacando-se as passarelas parafusadas, as quais se espera um bom comportamento de utilização, e que permaneçam relativamente retas e uniformes para atendimento de suas necessidades e exigências, acabam por vezes, acarretando algumas imperfeições, podendo em campo, ficar de forma irregular e não uniforme, estas imperfeições podem ser atribuídas em função de deslocamentos não previstos, os quais podem ser atribuídos as folgas existentes nas uniões de ligações parafusadas, apesar de ser pequena a folga entre um furo e um parafuso para uma única ligação, quando tratando-se de vigas treliçadas parafusadas de maior comprimento por exemplo, estas pequenas folgas acabam-se somando devido ao maior número de ligações existentes necessárias para a composição da estrutura e podem acabar acarretando em deslocamentos consideráveis que prejudiquem o bom desempenho da estrutura, afetando consideravelmente seu fator de utilização.

Atualmente, quando feita a análise estrutural de uma viga treliçada metálica, em softwares de dimensionamento, consideram-se as ligações das mesmas como sendo perfeitamente engastadas, e o deslocamento esperado se dá devido as deformações dos materiais em função das cargas aplicadas nos elementos metálicos, porém, na prática, não ocorre apenas este deslocamento quando se tratando de estruturas metálicas com ligações parafusadas, pois estas ligações possuem folgas nos elementos parafusados e permitem certos deslocamentos que não são considerados, os quais são imensuráveis para análise, e acabam não sendo previstos no dimensionamento estrutural de elementos metálico, optou-se em analisar no trabalho em questão, este deslocamento gerado em uma estrutura de viga treliçada parafusada, a qual se faz uso em diversas estruturas, entre elas as passarelas metálicas.

Este estudo torna-se importante para que se possibilite ter uma idéia da importância e da magnitude dos deslocamentos não lineares em uma viga treliçada, com o intuito de que se consiga dimensionar o deslocamento das estruturas metálicas o mais próximo possível das condições reais presentes nos elementos metálicos parafusados.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Histórico do Aço**

Evidências indicam que a primeira obtenção do ferro aconteceu aproximadamente 6 mil anos a.C, em algumas civilizações como as do Egito, Babilônia e Índia. Devido a sua raridade, o ferro era considerado um material nobre, tendo sua utilização limitada a fins militares e adornos em construções.

Apenas em meados do século XIX a utilização do ferro passou a ser em escala industrial, devido aos processos de industrialização nos países mais desenvolvidos pela revolução industrial, como Inglaterra, França e Alemanha. Desenvolveram-se paralelamente progressos na elaboração e conformação do metal onde em 1830 se laminavam pranchas de ferro na Inglaterra, em 1844 trilhos para estradas de ferro primeiramente na França, os perfis de seção I de ferro forjável, peça fundamental da construção em aço.

No Brasil, foi na década de 20 que o país começou realmente a desenvolver sua incipiente indústria siderúrgica, com a criação da Companhia Siderúrgica Belo Mineira, que somando-se com a produção de outras pequenas fundições, a produção chegou a 35mil toneladas, e no final do decênio 96 toneladas.

### **2.2 Vantagens das Estruturas Metálicas**

- 1- Alta resistência do aço comparado com outros materiais.
- 2- O aço é um material homogêneo de produção controlada.
- 3- As estruturas são produzidas em fábricas por processos industrializados seriados, cujo efeito de escala favorece a menores prazos e menores custos.
- 4- Os elementos das estruturas metálicas podem ser desmontados e substituídos com facilidade e permitem também reforço quando necessário.
- 5- A possibilidade de reaproveitamento do material que não seja mais necessário à construção.
- 6- Menor prazo de execução se comparado com outros materiais.

### 2.3 O aço e suas propriedades

- a) Elasticidade: propriedade do material a retornar à forma original, uma vez removida a força externa atuante;
- b) Plasticidade: propriedade inversa à da elasticidade, do material não voltar à sua forma original;
- c) Ductilidade: capacidade do material de deformar antes que ocorra a ruptura do mesmo;
- d) Fragilidade: oposto a ductilidade, característica do material de romper bruscamente;
- e) Resiliência: capacidade do material de absorver a energia mecânica em regime elástico;
- f) Tenacidade: é a energia total, plástica ou elástica, que o material pode absorver até a ruptura;
- g) Fluência: ajustes plásticos que podem ocorrer em pontos de tensão, ao longo dos contornos dos grãos do material;
- h) Fadiga: a ruptura do material sob esforços repetitivos ou cíclicos;
- i) Dureza: resistência ao risco de abrasão.

Atualmente são vários os perfis disponíveis para o uso em estruturas metálicas, podendo os mesmos ser laminados, ou seja, obtidos no mercado com formato específico como perfil U, ou H, soldados, ou ainda de chapa dobrada, onde com chapa na espessura desejada, molda-se o perfil através do processo de conformação a frio, por meio de maquinário específico. Abaixo alguns perfis utilizados.

-Perfis de Chapa Dobrada:

- a) U Simples,
- b) U Enrijecido
- c) Z Simples
- d) Z Enrijecido
- e) Cartola

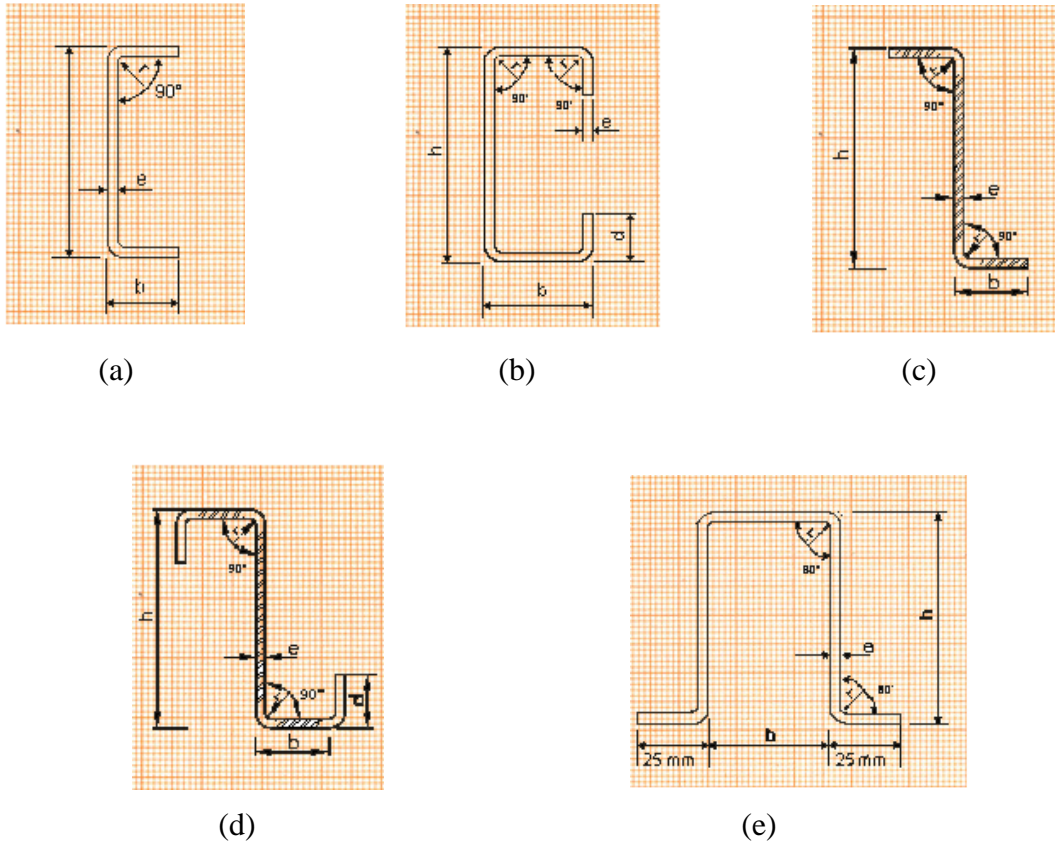


Figura 1: Perfis de chapa dobrada conformados a frio

-Perfis Soldados:

a) I e H

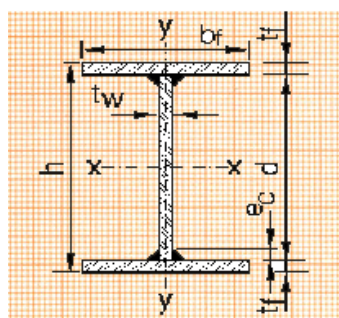


Figura 2: Perfil soldado com chapas

-Perfis Laminados:

- a) I e H
- b) U, ou canal
- c) Cantoneira L

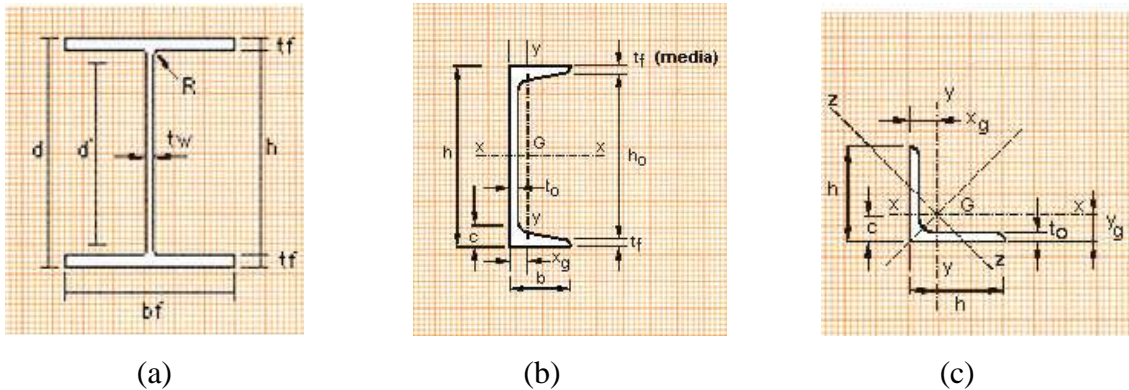


Figura 3: Perfis laminados nas indústrias siderúrgicas

## 2.4 Ligações nas Estruturas Metálicas

Ligação é a união entre duas ou mais peças e é de fundamental importância por representar a segurança na construção, e pode representar um custo elevado dependendo da sua complexidade, uma ligação complexa pode custar mais de três vezes o custo de uma ligação simples. O tipo de ligação deve ser elaborado levando em conta principalmente o tipo de montagem que será realizado, pois a dificuldade de ajuste em obra pode gerar atrasos e provocar acidentes durante o processo de união das partes.

Atualmente existem duas maneiras de se tornar as uniões seguras, por meio de solda e pela união por parafusos, ou até mesmo as duas em conjunto.

### 2.4.1 Ligações Soldadas

A soldagem trata-se de uma técnica capaz de unir duas ou mais partes constitutivas de uma estrutura, proporcionando entre elas a continuidade do material e conseqüentemente as características mecânicas e químicas, de mesma forma os esforços os quais a ligação está sujeita.

Existem hoje vários processos de soldagem, os quais foram aprimorados e/ou desenvolvidos, entre eles:

Análise de Ligações Parafusadas em Estruturas Metálicas

- Processo a arco submerso (SAW);
- Processo MIG, MAG, TIG ou soldagem em atmosfera gasosa (GMAW);
- Processo manual com eletrodo revestido (SMAW);
- Processo arame tubular (FCAW);
- Processo de soldagem eletro-escória.

As soldas classificam-se pela posição em:

- Planas, horizontais, verticais e sobre cabeça.

E classificam-se quanto ao tipo em:

- Filete, entalhe ou chanfro, ranhura e tampão.

#### **2.4.1.1 Vantagens**

- a) Economia de material, em algumas estruturas é possível economizar de 15% ou mais de peso do aço. (Fonte: BELLEI, Ildony H. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. p.103)
- b) Estruturas soldadas são mais rígidas, porque os membros estão geralmente soldados diretamente um no outro, ao contrário das ligações parafusadas que são invariavelmente feitas por chapas de ligação ou cantoneiras.
- c) Facilidade de se realizar modificações nos desenhos das peças e de corrigir erros durante a montagem.
- d) Usa uma quantidade menor de peças, e com isso utilizando de menor tempo de detalhe e fabricação.

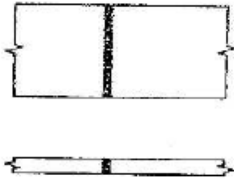
#### **2.4.1.2 Desvantagens**

- a) Redução que a mesma sofre no comprimento devido aos efeitos cumulativos de retração.
- b) Insuficiência de energia elétrica no local da montagem para acionar máquinas de solda.
- c) Exigência de maior análise de fadiga do que as estruturas parafusadas, podendo reduzir as tensões admissíveis a níveis muito baixos.
- d) Tempo maior de montagem das peças em obra.

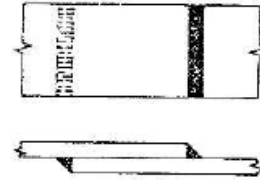


### 2.4.1.3 Exemplos de Tipos de Solda

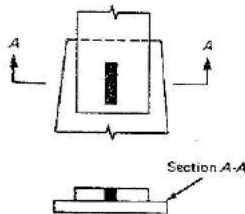
a) Solda de entalhe ou chanfro



b) Solda de filete



c) Solda de tampão em rasgo



d) Solda de tampão em furo

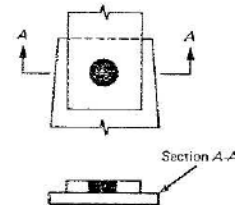


Figura 4: Exemplos de tipo de solda

## 2.4.2 Ligações Parafusadas

As ligações parafusadas são empregadas em grande escala em uniões de partes de estruturas, nas montagens finais de campo, os parafusos substituíram as ligações rebitadas que foram usadas durante muito tempo, até 1969 no Brasil.

### 2.4.2.1 Vantagens

- a) Economia no consumo de energia, pois não há a necessidade de equipamentos elétricos.
- b) Rapidez na fabricação das peças.
- c) Rapidez nas ligações no campo.
- d) Necessidade de poucos montadores sem grandes qualificações.
- e) Melhor resposta às tensões de fadiga.

### 2.4.2.2 Desvantagens

- a) Necessidade de previsão de parafusos com quantidade correta.
- b) Em alguns casos, necessidade de pré-montagens em fábrica.
- c) Maior dificuldade de realizar ajustes e modificações em campo.
- d) Necessidade de verificação de áreas líquidas e esmagamentos de peças.

### 2.4.2.3 Tipos de Parafusos Principais Utilizados em Ligações

- a) Comuns tipo ASTM A307.

São os parafusos feitos de aço-carbono e de mais baixo custo, porém podem produzir conexões não tão econômicas devido à baixa resistência. Utilizados em estruturas leves, elementos secundários, passadiços e plataformas, terças, treliças pequenas, vigas de tapamento, etc., onde as cargas aplicadas são baixas e de natureza estática.

- b) De Alta Resistência Tipo Atrito (fricção) e Contato, ASTM A325 e A490.

Os parafusos de alta resistência são produzidos em aços tratados termicamente, sendo o mais utilizado o ASTM A325, com aço carbono temperado. Substituíram os rebites, tendo uma resistência superior aos mesmos, tanto a tração quanto a cisalhamento. São empregados quando são grandes as cargas nas peças a ligar, e em ligações principais de estruturas sujeitas a cargas dinâmicas.

Os parafusos de alta resistência são apertados de forma a gerar uma alta tensão de tração, proporcionando uma força de atrito entre as peças na junta, onde o deslizamento da junta é baseado na sua resistência última, ou como tipo contato, onde o corpo do parafuso poderá fazer contato com a borda do furo, também baseado na resistência última. A diferença entre conexões de atrito e tipo contato é o fator de segurança previsto para o deslizamento, devido à sobrecarga.

- Conexões tipo atrito (fricção): nas conexões tipo atrito o aperto da porca controlado permite que se conheça o atrito presente na ligação, tornando possível que o mesmo seja considerado no cálculo das superfícies metálicas em contato. Onde a carga que tende a cortar o parafuso é sustentada pela fricção entre as superfícies em contato. Utiliza-se no objetivo de impedir qualquer movimento entre as peças de ligação.

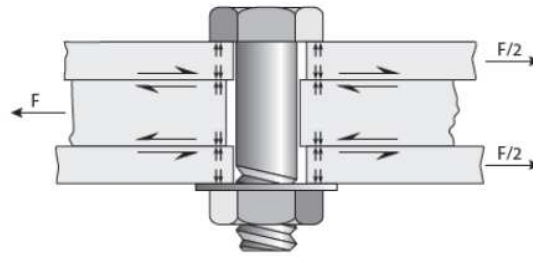


Figura 5: Conexão tipo atrito

- Conexões tipo contato (esmagamento): nas conexões tipo contato, a carga de cisalhamento é sustentada pela haste do parafuso de alta resistência que se apóia nos lados dos furos do material das conexões. O fator de segurança é baixo, e por isso esse tipo de ligação é somente empregado nas ligações sujeitas às cargas estáticas e não reversíveis, a resistência final da ligação depende da espessura dos materiais que compõem a ligação. Utiliza-se quando são permitidos pequenos deslizamentos.

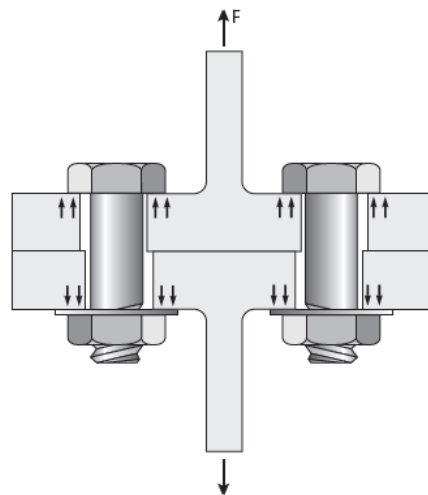
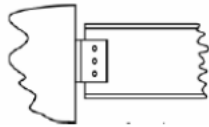


Figura 6: Conexão tipo contato

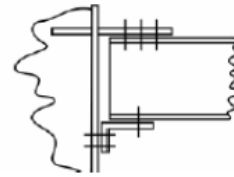
### 2.4.2.4 Tipos de Vínculos em Ligações Parafusadas

As ligações parafusadas dividem-se entre os seguintes tipos de vínculos:

a) Vínculo Articula Móvel – Permite giro e deslocamento.



b) Vínculo Articulado Fixo – Permite apenas giro relativo.



c) Vínculo Engastado – Não permite movimentação em qualquer direção.

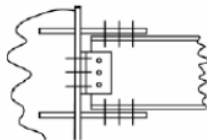
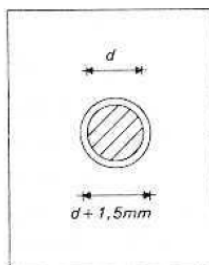


Figura 7: Tipo de vínculos em ligações parafusadas

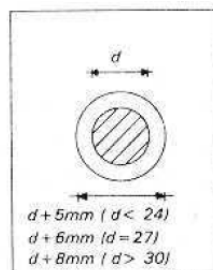
### 2.4.2.5 Tipos de Furos e Espaçamentos

Abaixo tipos de furos e espaçamentos em relação ao diâmetro nominal do parafuso

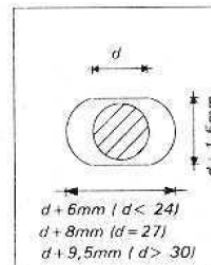
a) Padrão



b) Alargado



c) Pouco alongado



d) Muito alongado

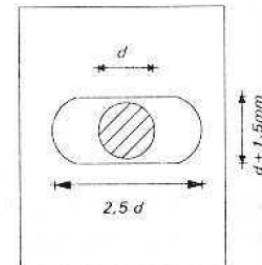


Figura 8: Tipos de furos e espaçamentos

A seguir apresentamos o quadro com os diâmetros necessários de furos, de acordo com o parafuso e o formato do furo.

	Diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada $d_b$	Diâmetro do furo-padrão	Diâmetro do furo alargado	Dimensões do furo pouco alongado	Dimensões do furo muito alongado
Dimensões em milímetros	$\leq 24$	$d_b + 1,5$	$d_b + 5$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 6)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
	27	28,5	33	28,5 $\times$ 35	28,5 $\times$ 67,5
	$\geq 30$	$d_b + 1,5$	$d_b + 8$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 9,5)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
Dimensões em polegadas	$\leq 7/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 3/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 1/4)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$
	1	1 1/16	1 1/4	1 1/16 $\times$ 1 5/16	1 1/16 $\times$ 2 1/2
	$\geq 11/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 5/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 3/8)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$

Fonte: NBR 8800 (ABNT), 2008, p.83

Quadro 1: Dimensões máximas de furos para parafusos e barras redondas rosqueadas

## 2.5 Segurança: Método dos Estados Limites

Para dimensionamentos de estruturas metálicas utiliza-se o método dos estados limites, o qual é adotado pela NBR 8800 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios), considerando:

Estados Limites Últimos (ELU): considera a resistência da estrutura levando em consideração a ruína da mesma, fenômenos comportamentais como resistência dúctil, máxima flambagem, fadiga, fratura, torção e deslizamento.

Estados Limites de Serviço (ELS): considera os fatores de utilização da estrutura, com a ocorrência de deformações ou vibrações excessivas, provocando efeitos incompatíveis com as condições de uso da estrutura.

Utiliza-se a seguinte expressão para verificação da segurança estrutural:

$$R_d \geq S_d$$

Onde:

$$R_d = R_u / \gamma_m$$

$R_d$  é o valor de cálculo dos esforços resistentes

$R_u$  é a resistência última dos esforços resistentes

$\gamma_m$  é o coeficiente de ponderação que leva em conta as incertezas das resistências

$$S_d = \gamma_f \cdot S$$

$S_d$  é o valor de cálculo dos esforços atuantes

$S$  é o esforço atuante, fator de carga

$\gamma_f$  é o coeficiente de ponderação que leva em conta as incertezas das solicitações

### 2.5.1 Combinações

- As combinações últimas de ações devem determinar os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura e classificam-se em:

**Combinações últimas normais:** decorrem do uso previsto para a estrutura;

$$S_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi}) + \gamma_{q1} \cdot F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \cdot \Psi_{0j} \cdot F_{Qj})$$

**Combinações últimas especiais:** decorrem da atuação de ações variáveis de natureza ou intensidade especial;

$$S_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi}) + \gamma_{q1} \cdot F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \cdot \Psi_{0j,ef} \cdot F_{Qj})$$

**Combinações últimas de construção:** decorrem de estados limites últimos já na fase da construção;

$$S_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi}) + \gamma_{q1} \cdot F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \cdot \Psi_{0j,ef} \cdot F_{Qj})$$

**Combinações últimas excepcionais:** decorrem da atuação de ações excepcionais que podem provocar efeitos catastróficos.

$$S_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi}) + F_{Qexc} + \sum_{j=1}^n (\gamma_{qj} \cdot \Psi_{0j,ef} \cdot F_{Qj})$$

Onde:

$F_{Gi}$  são os valores característicos das ações permanentes.

$F_{Q1}$  é o valor característico da ação variável considerada como principal para a combinação, ação variável especial ou ação variável de construção

$F_{Qj}$  são os valores característicos das ações variáveis das ações variáveis que podem atuar junto com a ação variável principal.

$F_{Qexc}$  é o valor da ação transitória excepcional.

$\psi_{0,jef}$  são iguais aos fatores  $\psi_{0j}$  das combinações normais, salvo quando a ação variável  $F_{Q1}$  tiver um tempo de atuação muito pequeno, caso em que  $\psi_{0,jef}$  podem ser tomados com os correspondentes  $\psi_{2j}$ .

-As combinações de serviço classificam-se de acordo com a sua permanência na estrutura:

**Combinações quase permanentes:** são as que podem atuar durante grande parte da vida da estrutura, aproximadamente a metade, e são utilizadas para a aparência da construção e efeitos de longa duração.

$$S_{ser} = \sum_{i=1}^m (F_{Gi}) + \sum_{j=1}^n (\psi_{2j} \cdot F_{Qj})$$

**Combinações freqüentes:** são aquelas que se repetem muitas vezes durante a vida da estrutura, aproximadamente 5% e são utilizadas para os estados limites reversíveis ou que não causem danos permanentes à estrutura ou outros componentes da construção, como conforto dos usuários, tais como vibrações excessivas e abertura de fissuras.

$$S_{ser} = \sum_{i=1}^m (F_{Gi}) + \psi_1 \cdot F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} \cdot F_{Qj})$$

**Combinações raras:** são aquelas que podem atuar no máximo em algumas horas durante a vida da estrutura e são utilizadas para os estados limites irreversíveis ou que causam danos permanentes à estrutura ou outros componentes da construção, como funcionamento adequado da estrutura, formação de fissuras e danos aos fechamentos.

$$S_{ser} = \sum_{i=1}^m (F_{Gi}) + F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} \cdot F_{Qj})$$

**Ações permanentes diretas:** Constituídas pelo peso próprio da estrutura e pesos próprios dos elementos construtivos fixos das instalações permanentes.

- Pesos específicos dos materiais podem ser adotados os valores da ABNT. NBR 6120.
- Componentes industrializados, considera-se valores indicados pelos fornecedores.

**Ações variáveis:** As que ocorrem com valores que apresentam variações significativas durante a vida útil da estrutura, como as cargas acidentais:

- Para cargas acidentais (CA) usa-se valores da ABNT, NBR 6120, valores do anexo B da ABNT, NBR 8800.
- Para cargas em passarelas de pedestres usa-se a ABNT, NBR 7188.
- Para esforços causados pelo vento usa-se as cargas determinadas de acordo com a ABNT, NBR 6123.

Os valores de cálculo das ações são obtidos a partir dos valores representativos,  $F_r$ , que são multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação  $\gamma_f$ .

## 2.5.2 Coeficientes de ponderação das ações

### Coeficientes de ponderação das ações no estado limite último (ELU)

Os valores-base para verificação dos estados limites últimos,  $\gamma_g$  ou  $\gamma_q$  encontram-se no quadro 2.



Combinações	Ações permanentes ( $\gamma_g$ ) <sup>a,c</sup>					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis ( $\gamma_a$ ) <sup>a,d</sup>					
	Efeito da temperatura <sup>b</sup>	Ação do vento	Ações truncadas <sup>e</sup>	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

a Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

b O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação.

c Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m<sup>2</sup>, ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20.

d Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança foram agrupadas, as ações variáveis que não favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m, ou 1,4 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,30 e 1,20 e nas combinações excepcionais, sempre 1,00.

e Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a este valor-limite.

Fonte: NBR 8800 (ABNT), 2008, p.18

Quadro 2: Valores dos coeficientes de ponderação das ações  $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$

### Coefficientes de ponderação e fatores de redução das ações no estado limite de serviço (ELS)

Em geral o coeficiente de ponderação das ações para os estados de limite de serviço,  $\gamma_f$ , é igual a 1,0.

Nas combinações de serviço são utilizados fatores de redução  $\psi_1$  e  $\psi_2$ , para obtenção dos valores freqüentes e quase permanentes das ações variáveis, conforme tabela abaixo, onde  $\psi_0$  é fator de combinação.

Ações		$\gamma_f$ <sup>a</sup>		
		$\psi_0$	$\psi_1$ <sup>d</sup>	$\psi_2$ <sup>e</sup>
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b)</sup>	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas <sup>c</sup>	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4
<sup>a</sup> Ver alínea c) de 4.7.5.3. <sup>b</sup> Edificações residenciais de acesso restrito. <sup>c</sup> Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público. <sup>d</sup> Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar $\psi_1$ igual a 1,0. <sup>e</sup> Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para $\psi_2$ o valor zero.				

Fonte: NBR 8800 (ABNT), 2008, p.19

Quadro 3: Elementos de ligação  $\psi_0$  e de redução  $\psi_1$  e  $\psi_2$  para as ações variáveis

### 2.5.3 Força de tração resistente de cálculo

A força de tração resistente de cálculo de elementos de ligação tracionados deve ser o menor valor obtido conforme segue:

a) Para estado-limite último de escoamento:

$$F_{Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{a1}}$$

b) Para o estado-limite último de ruptura:

$$F_{Rd} = \frac{f_u A_e}{\gamma_{a2}}$$

Para chapas de emendas parafusadas utiliza-se:

$$A_e = A_n \leq 0,85 A_g$$

Onde:

$A_g$  = Área bruta da seção transversal da barra

$A_e$  = área líquida efetiva =  $A_e = C_t \cdot N_a$

$A_n$  = área líquida da barra

$C_t$  = coeficiente de redução da área líquida

$f_y$  = resistência ao escoamento

$f_u$  = resistência à ruptura

$\gamma_{a1}$  = coeficiente de ponderação no escoamento

$\gamma_{a2}$  = coeficiente de ponderação na ruptura

$F_{Rd}$  = força resistente de cálculo

#### 2.5.4 Força de compressão resistente de cálculo

A força de compressão resistente de cálculo de elementos de ligação comprimidos deve ser o menor valor obtido, conforme segue:

a) Para o estado-limite último de escoamento, aplicável quando  $KL/r \leq 25$

$$F_{Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

$KL/r$  = limite do índice de esbeltez, conforme página 30

b) Para o estado-limite último de flambagem, aplicável quando  $KL/r > 25$  conforme:

$$N_{c,Rd} = \frac{xQ A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

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

$X$  = fator de redução associado à resistência à compressão

$Q$  = fator de redução associado à flambagem local

$A_g$  = Área bruta da seção transversal da barra

Fator de redução  $X$

O fator de redução associado à resistência à compressão,  $X$ , é dado por:

-para  $\lambda_0 \leq 1,5$ :  $X = 0,658^{\lambda_0^2}$

-para  $\lambda_0 > 1,5$ :  $X = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}}$$

Onde:

$\lambda_0$  é o índice de esbeltez reduzido,

$N_e$  é a força axial de flambagem elástica.

O valor de  $X$  pode ser também obtido da figura ou da tabela abaixo, para casos em que  $\lambda_0$  não supere 3,0

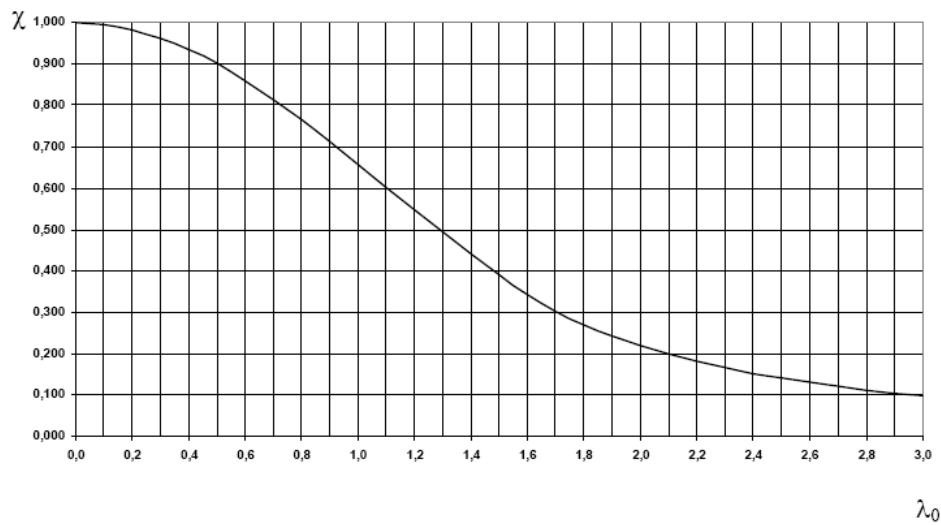


Figura 9: Valor de  $X$  em função do índice de esbeltez  $\lambda_0$

$\lambda_0$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	$\lambda_0$
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0

Fonte: NBR 8800 (ABNT), 2008, p.45

Quadro 4: Valor de  $X$  em função do índice de esbeltez  $\lambda_0$

### 2.5.5 Limite do índice de esbeltez











O índice de esbeltez das barras comprimidas é tomado como a maior relação entre  $KL/r$

Onde:

$r$  = raio de giração

$L$  = comprimento destravado, não deve ser superior a 200.

$K$  = coeficiente de flambagem, obtido na tabela abaixo.

A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
Valores teóricos de $K_x$ ou $K_y$	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	 Rotação e translação impedidas  Rotação livre, translação impedida  Rotação impedida, translação livre  Rotação e translação livres					

Fonte: NBR 8800 (ABNT), 2008, p.125

Quadro 5: Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

### 2.5.6 Flambagem local de barras axialmente comprimidas:

Os elementos que fazem parte das seções transversais usuais, exceto as seções tubulares circulares, para efeito de flambagem local são classificados em AA (duas bordas longitudinais vinculadas) e AL (apenas uma borda longitudinal vinculada).

As barras submetidas à força axial de compressão, nas quais todos os elementos componente da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (relações  $b/t$ ) que não superam os valores  $(b/t)_{lim}$ , tem fator de redução total  $Q$  igual a 1.00

As barras submetidas à força axial de compressão, nas quais os elementos componente da seção transversal possuem relações  $b/t$  maiores que os valores  $(b/t)_{lim}$  (elementos esbeltos), tem o fator de redução total  $Q$  dado por:

$$Q = Q_s Q_a$$

Onde:

$Q_s$  e  $Q_a$  são fatores de redução que levam em conta a flambagem local dos elementos AL e AA, cujos valores devem ser determinados conforme abaixo. Deve considerar que:

a) Se a seção possuir apenas elementos AL:

$$Q = Q_s$$

b) Se a seção possuir apenas elementos AA:

$$Q = Q_a$$

### **Elementos comprimidos AL:**

Os valores de  $Q_s$  a serem usados para elementos comprimidos AL são os seguintes:

a) Elementos do grupo 3 do quadro 6:

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,53E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

b) Elementos do grupo 4 do quadro 6:

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,69E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

c) Elementos do grupo 5 do quadro 6:

$$Q_s = 1,415 - 0,65 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{k_c E}}, \text{ para } 0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}} < \frac{b}{t} \leq 1,17 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$$

$$Q_s = \frac{0,90E k_c}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,17 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$$

Com o coeficiente  $K_c$  dado por

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}, \text{ sendo } 0,35 \leq k_c \leq 0,76$$

d) Elementos do grupo 6 do quadro 6:

$$Q_s = 1,908 - 1,22 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,69E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Onde:

$h$  = altura da alma;

$t_w$  = espessura da alma;

$b$  e  $t$  = largura e a espessura do elemento, respectivamente.



Existindo dois ou mais elementos AL com fatores de redução  $Q_s$  diferentes, adota-se o menor destes fatores.

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de $b$ e $t$	$(b/t)_{lim}$
AA	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesas ou almas de seções tubulares retangulares</li> <li>Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas</li> </ul>		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almas de seções I, H ou U</li> <li>Mesas ou almas de seção-caixão</li> <li>Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1</li> </ul>		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento</li> </ul>		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesas de seções I, H, T ou U laminadas</li> <li>Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas</li> <li>Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas</li> </ul>		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesas de seções I, H, T ou U soldadas<sup>a</sup></li> </ul>		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almas de seções T</li> </ul>		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

<sup>a</sup> O coeficiente  $k_c$  é dado em F.2.

Fonte: NBR 8800 (ABNT), 2008, p.128

Quadro 6: Valores de  $(b/t)_{lim}$

### Elementos comprimidos AA:

O fator de redução  $Q_a$  das seções transversais com elementos comprimidos AA, cuja relação entre largura e espessura ultrapassa os valores indicados no quadro 6, é definido como:

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

Onde:

$A_g$  = área bruta

$A_{ef}$  = área efetiva da seção transversal  $A_{ef} = A_g - \sum(b - b_{ef})t$

Largura efetiva dos elementos AA:

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

Onde  $c_a$  é um coeficiente, igual a 0,38 para mesas ou almas de seções tubulares retangulares e 0,34 para todos os outros elementos e  $\sigma$  é a tensão que pode atuar no elemento analisado, tomada igual a:

$$\sigma = Xf_y$$

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Classificações da Pesquisa

Este estudo pode ser classificado como exploratório, pois trata de analisar a influência das ligações parafusadas no deslocamento de uma estrutura.

#### 3.2 Planejamento da Pesquisa

O estudo será desenvolvido da seguinte forma:

- Optou-se em analisar o modelo de estrutura viga treliçada parafusada, devido a este tipo de estrutura apresentar muitos nós, ou seja, ligações e conseqüentemente maior influência das mesmas na deformação da estrutura.
- Definir os modelos de vigas treliçadas a serem analisados;
- Utilizado para este estudo uma carga permanente uniforme de 1KN/m e uma carga acidental de 3KN/m;
- Determinar as deformações elásticas nos elementos da estrutura.
- Determinar as deformações não lineares pertinentes às ligações parafusadas.
- Traçar um comparativo e/ou somatório das deformações lineares e não lineares e verificar os resultados da análise.

### 3.2.1 Definição dos modelos de vigas treliçadas a serem analisados

Com a escolha de estrutura de viga treliçada, definiu-se 4 topologias comuns, na figura 10 estão os modelos de vigas treliçadas que serão analisados, cada uma com 20m de comprimento e 1m de altura.

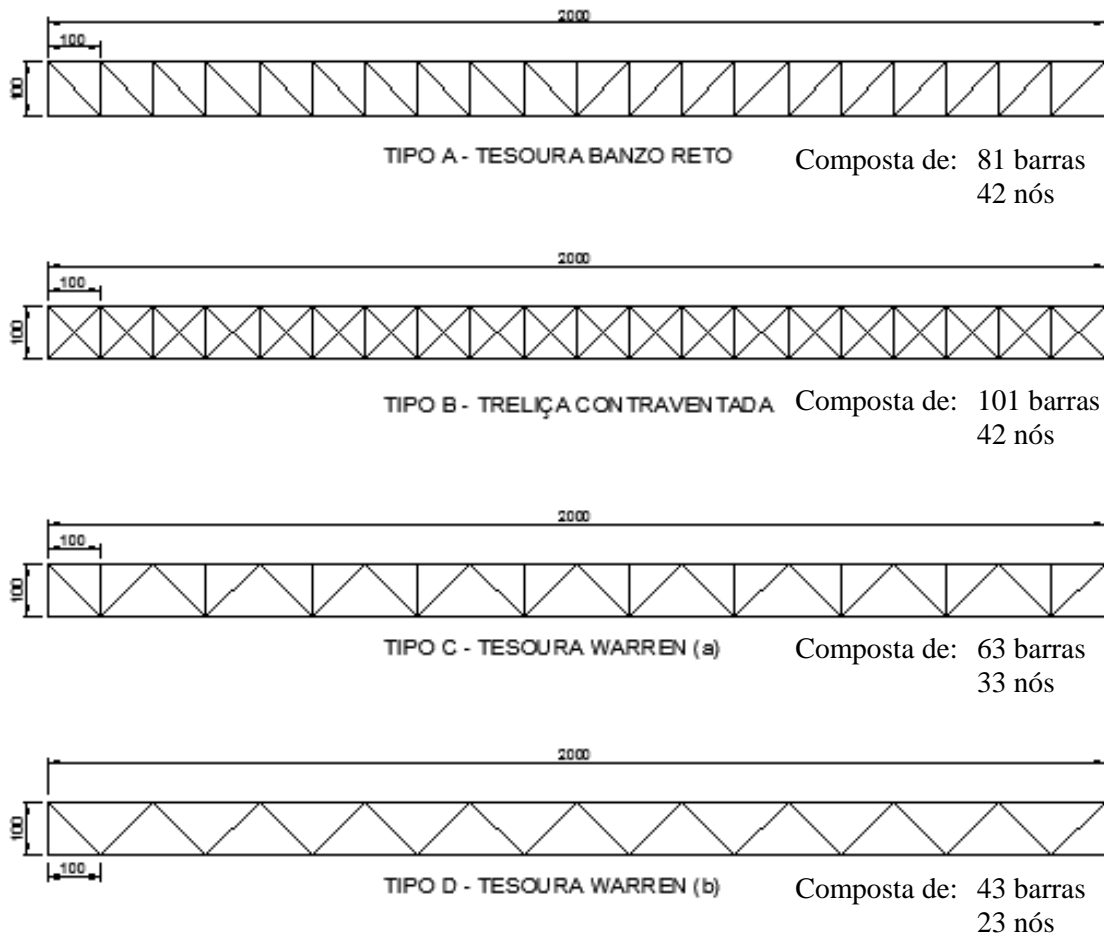


Figura 10: Modelos de vigas treliçadas que serão analisadas

A seguir segue gráfico comparativo do quantitativo de nós e barras de cada modelo de viga.

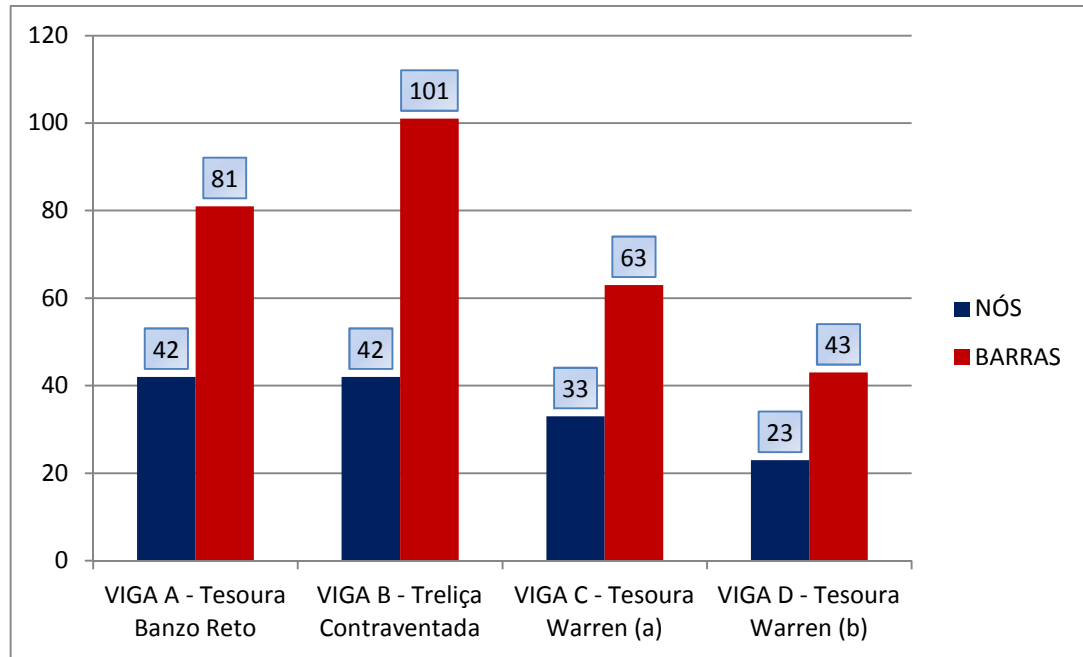


Figura 11: Gráfico comparativo do quantitativo de nós e barras das vigas

Observa-se que as vigas que apresentam geometria com maior número de nós são as vigas A – Tesoura Banzo Reto e viga B - Treliça Contraventada, a viga que apresenta maior número de barras é a viga B – Treliça Contraventada a qual tem a possibilidade de distribuir os esforços para um maior número de elementos, porém aumentando o peso próprio da estrutura. O que não ocorre com as demais vigas, principalmente as vigas C – Tesoura Warren (a) e viga D – Tesoura Warren (b), que possuem menos elementos em sua estrutura, exigindo com que cada elemento tenha uma importância maior em resistir os esforços atuantes.

### 3.2.2 Determinação das deformações elásticas nos elementos da estrutura

Lançando as vigas treliçadas no STRAP e/ou FTOOL e fazendo o lançamento das cargas, será possível determinar as deformações elásticas em cada viga treliçada.

O STRAP e o FTOOL são softwares de análise estrutural com uma interface gráfica onde é possível fazer o lançamento da estrutura, aplicam-se as cargas definidas e se encontra a deformação linear da estrutura. A figura 11 mostra a interface do software STRAP, a figura 12 mostra a interface do FTOOL.

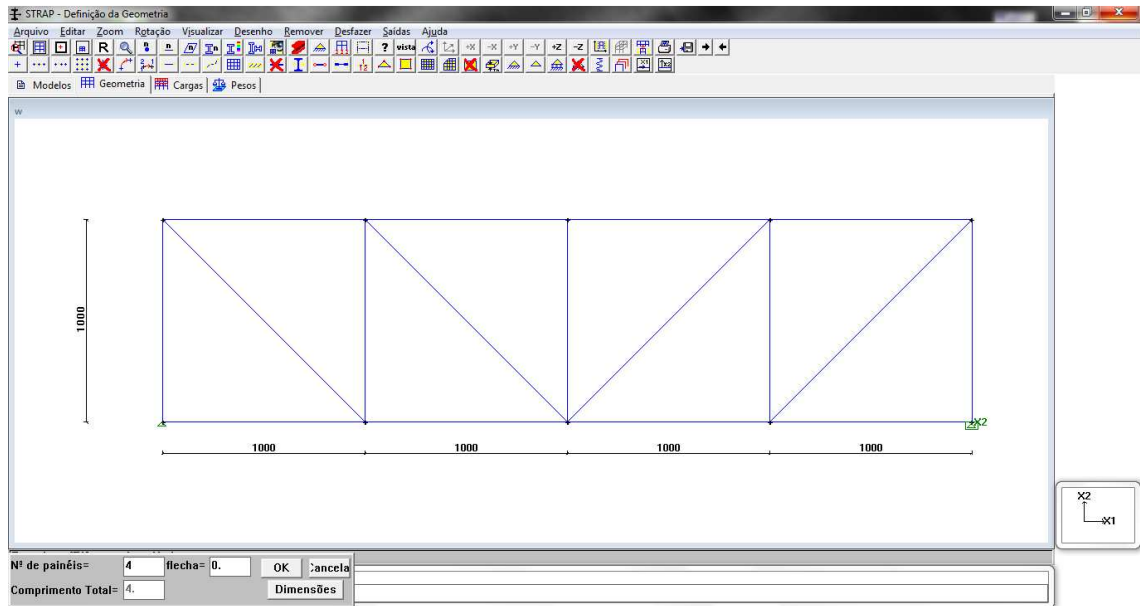


Figura 12: Interface gráfica do software STRAP

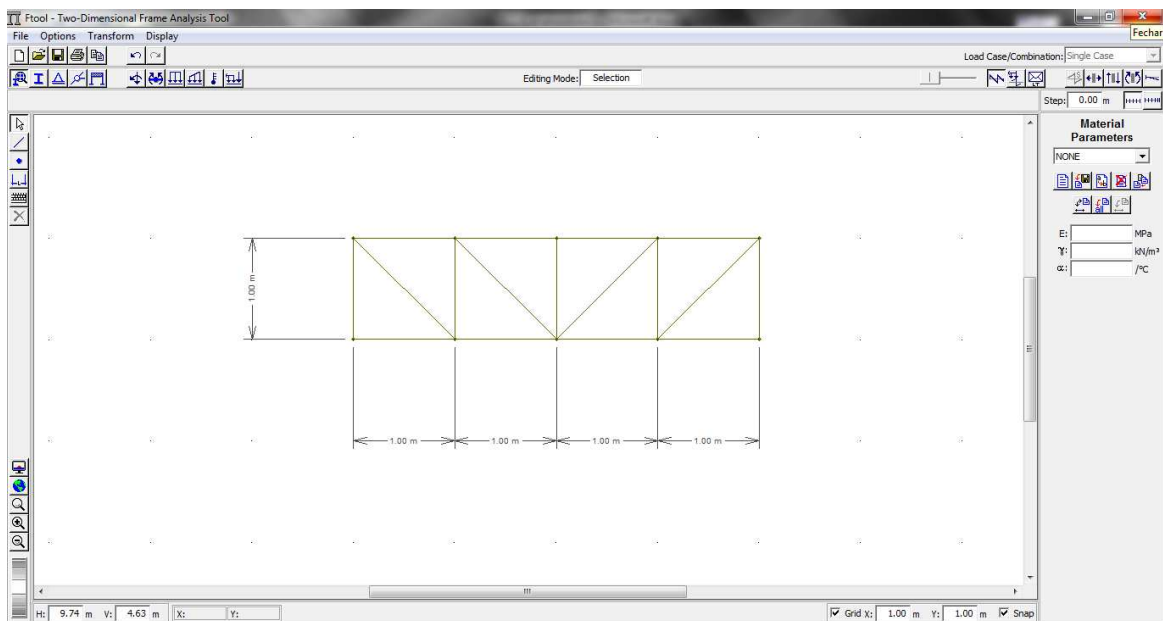


Figura 13: Interface gráfica do software FTOOL

### 3.2.3 Determinação das deformações não lineares

A definição das deformações não lineares nas estruturas de vigas treliçadas será possível através do lançamento no software AUTOCAD.

### **3.2.4 Comparativo e/ou somatório das deformações lineares e não lineares**

Para o comparativo e/ou somatório das deformações encontradas, serão usados os resultados das deformações lineares e das deformações não lineares, e feito o comparativo e somatório no EXCEL.

### **3.2.5 Materiais e equipamentos**

Durante a execução do estudo serão utilizados os seguintes programas, normas e equipamentos:

- NBR 8800 (ABNT 2008) – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios
- Livro – BELLEI, Ildony H. Edifícios de múltiplos andares em aço
- Software Auto Cad 2010;
- Software STRAP;
- Software Microsoft WORD 2007 e EXCELL 2007;
- Software SOLID EDGE;
- Notebook DELL – 4 Giga memória RAM.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Dimensionamento dos perfis das vigas treliçadas

Inicialmente realizou-se com auxílio do software STRAP, o dimensionamento dos perfis das vigas treliçadas, analisando a resistência dos mesmos com relação aos esforços solicitados, levando em consideração para a análise o fator de ELU (Estado Limite Último) e o aço ASTM A-36 com resistência de 250 Mpa, obtêm-se seguintes perfis.

Tipo A: Tesoura Banzo Reto

- Banzo Superior: Perfil L4"x1/2", equivalente à L102mm x 12,7mm
- Banzo Inferior: Perfil L4" x 3/8", equivalente à L102mm x 9,53mm
- Diagonais: Perfil L2" x 5/16", equivalente à L51mm x 7,94mm
- Montantes: Perfil L2.5" x 3/16", equivalente à L64mm x 4,75mm

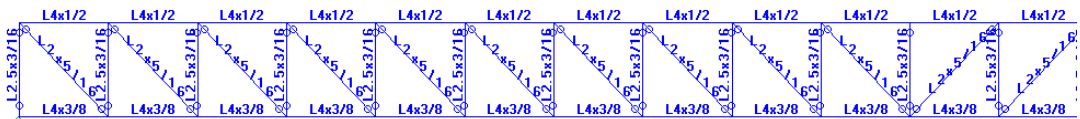


Figura 14: Perfis viga treliçada TIPO A – Tesoura banzo reto

Tipo B: Treliça Contraventada

- Banzo Superior: Perfil L5" x 3/8", equivalente à L127mm x 9,53mm
- Banzo Inferior: Perfil L3" x 1/2", equivalente à L76mm x 12,7mm
- Diagonais: Perfil L3" x 1/4", equivalente à L76mm x 6,35mm
- Montantes: Perfil L2" x 3/16", equivalente à L51mm x 4,75mm

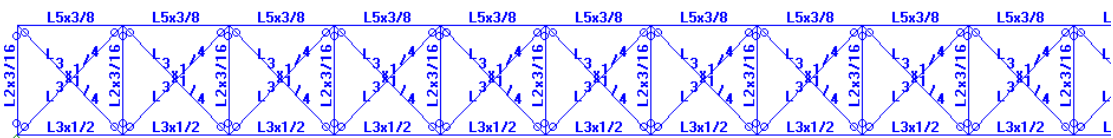


Figura 15: Perfis viga treliçada TIPO B – Treliça Contraventada



### Tipo C: Tesoura Warren (a)

- Banzo Superior: Perfil L4" x 1/2", equivalente à L102mm x 12,7mm
- Banzo Inferior: Perfil L3" x 1/2", equivalente à L76mm x 12,7mm
- Diagonais: Perfil L3" x 3/16", equivalente à L76mm x 4,75mm
- Montantes: Perfil L3" x 3/16", equivalente à L76mm x 4,75mm

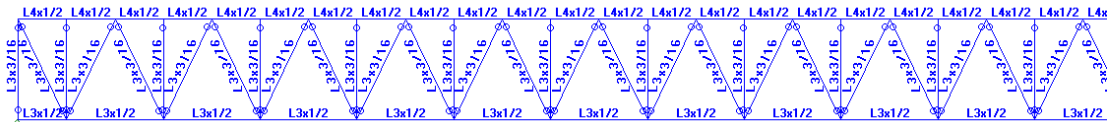


Figura 16: Perfis viga treliçada TIPO C – Tesoura Warren (a)

### Tipo D: Tesoura Warren (b)

- Banzo Superior: Perfil L4" x 3/8", equivalente à L102mm x 9,53mm
- Banzo Inferior: Perfil L3" x 1/2", equivalente à L76mm x 12,7mm
- Diagonais: Perfil L3" x 3/16", equivalente à L76mm x 4,75mm
- Montantes: Perfil L3" x 3/16", equivalente à L76mm x 4,75mm

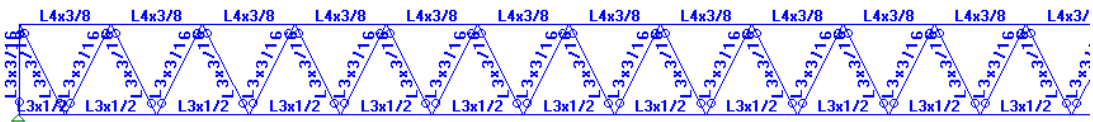


Figura 17: Perfis viga treliçada TIPO D – Tesoura Warren (b)

A seguir gráfico de comparativo dos pesos resultantes do dimensionamento necessário para cada modelo de viga.

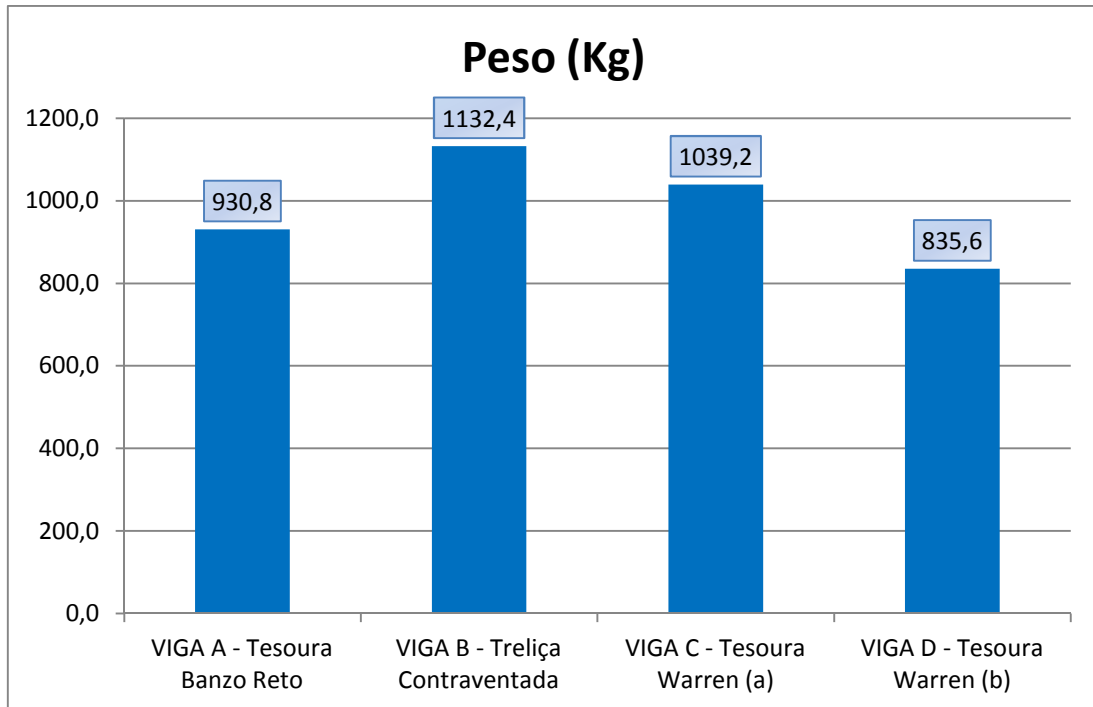


Figura 18: Gráfico comparativo dos pesos próprio de cada modelo de viga.

Percebe-se no gráfico, que a viga que apresentou o maior peso próprio foi a viga B – Treliça Contraventada, pois a mesma apresenta maior número de barras em comparação com as demais vigas, outro fator que também afeta o peso das vigas é a necessidade de se utilizar perfis mais pesados para que se atenda a norma de acordo com os estados limites últimos e de serviço, no caso da viga B, as bitolas nos perfis foram determinadas pelo ELU, já no caso das vigas A, C e D, alguns dos perfis tiveram de ser aumentados para atender os estados limites de serviço, o que leva a entender que os perfis da viga B foram considerados maiores já na análise de limites últimos em função de sua geometria apresentar mais peso próprio.

#### 4.2 Dimensionamento dos parafusos das vigas treliçadas

Através dos esforços solicitados nos perfis, partiu-se para o dimensionamento dos parafusos necessários para os nós.

Considerou-se para análise o parafuso estrutural A325, com resistência de 82,5 kN/cm<sup>2</sup>

Tipo A: Tesoura Banzo Reto (Anexo “A”)

$$\text{Diagonais} = F_{sd} (86,2 \text{ kN}) \div F_{V,rd} (48,36 \text{ kN}) = 1,783$$

- Necessários 2 parafusos diâmetro 5/8” para a ligação das diagonais

$$\text{Montantes} = F_{sd} (64,1 \text{ kN}) \div F_{V,rd} (48,36 \text{ kN}) = 1,326$$

- Necessários 2 parafusos diâmetro 5/8" para a ligação dos montantes

#### Tipo B: Treliza Contraventada (Anexo "B")

$$\text{Diagonais} = F_{sd} (52,3 \text{ kN}) \div F_{V,rd} (30,95 \text{ kN}) = 1,69$$

- Necessários 2 parafusos diâmetro 1/2" para a ligação das diagonais

$$\text{Montantes} = F_{sd} (25,9 \text{ kN}) \div F_{V,rd} (30,95 \text{ kN}) = 0,837$$

- Necessários 2 parafusos diâmetro 1/2" para a ligação dos montantes

#### Tipo C: Tesoura Warren (a) (Anexo "C")

$$\text{Diagonais} = F_{sd} (70,2 \text{ kN}) \div F_{V,rd} (48,36 \text{ kN}) = 1,452$$

- Necessários 2 parafusos diâmetro 5/8" para a ligação das diagonais

$$\text{Montantes} = F_{sd} (63,2 \text{ kN}) \div F_{V,rd} (48,36 \text{ kN}) = 1,307$$

- Necessários 2 parafusos diâmetro 5/8" para a ligação dos montantes

#### Tipo D: Tesoura Warren (b) (Anexo "D")

$$\text{Diagonais} = F_{sd} (68,6 \text{ kN}) \div F_{V,rd} (48,36 \text{ kN}) = 1,419$$

- Necessários 2 parafusos diâmetro 5/8" para a ligação das diagonais

$$\text{Montantes} = F_{sd} (61,7 \text{ kN}) \div F_{V,rd} (48,36 \text{ kN}) = 1,276$$

- Necessários 2 parafusos diâmetro 5/8" para a ligação dos montantes

### 4.3 Verificação da área líquida

Posteriormente a definição dos parafusos à serem utilizados nas ligações dos nós, parte-se para a verificação da área líquida, analisando se a área de aço na ligação é o suficiente para suportar o esforço solicitado.

Tipo A: Tesoura Banzo Reto (Anexo “E”)

$$\text{Diagonais} = F_{sd} (86,2 \text{ kN}) \leq N_{t,rd} (104,56 \text{ kN}) = \text{OK}$$

- Perfil L51x7,94 atende a área líquida necessária para as diagonais

$$\text{Montantes} = F_{sd} (64,1 \text{ kN}) \leq N_{t,rd} (86,75 \text{ kN}) = \text{OK}$$

- Perfil L64x4,75 atende a área líquida necessária para os montantes

Tipo B: Treliça Contraventada (Anexo “F”)

$$\text{Diagonais} = F_{sd} (52,3 \text{ kN}) \leq N_{t,rd} (146,86 \text{ kN}) = \text{OK}$$

- Perfil L76x6,35 atende a área líquida necessária para as diagonais

$$\text{Montantes} = F_{sd} (25,9 \text{ kN}) \leq N_{t,rd} (64,74 \text{ kN}) = \text{OK}$$

- Perfil L51x4,75 atende a área líquida necessária para os montantes

Tipo C: Tesoura Warren (a) (Anexo “G”)

$$\text{Diagonais} = F_{sd} (70,2 \text{ kN}) \leq N_{t,rd} (108,62 \text{ kN}) = \text{OK}$$

- Perfil L76x4,75 atende a área líquida necessária para as diagonais

$$\text{Montantes} = F_{sd} (63,2 \text{ kN}) \leq N_{t,rd} (108,62 \text{ kN}) = \text{OK}$$

- Perfil L76x4,75 atende a área líquida necessária para os montantes

Tipo D: Tesoura Warren (b) (Anexo “H”)

$$\text{Diagonais} = F_{sd} (68,6 \text{ kN}) \leq N_{t,rd} (108,62 \text{ kN}) = \text{OK}$$

- Perfil L76x4,75 atende a área líquida necessária para as diagonais

Montantes =  $F_{sd} (61,7 \text{ kN}) \leq N_{t,rd} (108,62 \text{ kN}) = \text{OK}$

- Perfil L76x4,75 atende a área líquida necessária para os montantes.

#### 4.4 Deslocamentos Lineares

Podemos determinar com auxílio do software STRAP o deslocamento linear que ocorrerá na estrutura devido à deformação dos elementos metálicos, em função das cargas aplicadas nas vigas, deslocamento este que determina o fator de utilização das vigas, através do ELS (Estados Limites de Serviço), considerando um deslocamento máximo permitido para as vigas em estudo de 5,71 cm, este último encontra-se dividindo o comprimento do vão por 350, abaixo seguem os desenhos esquemáticos obtidos referentes aos deslocamentos.

##### Tipo A: Tesoura Banzo Reto

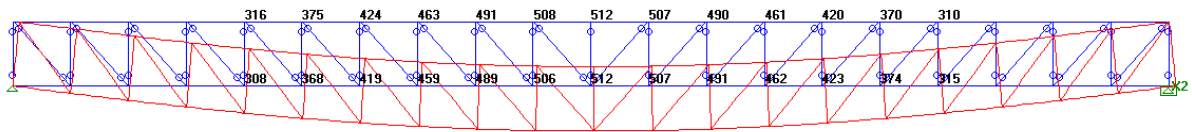


Figura 19: Deslocamentos lineares viga treliçada TIPO A – Tesoura Banzo Reto

Resultado: Deslocamento máximo de 5,12 cm.

##### Tipo B: Treliça Contraventada



Figura 20: Deslocamentos lineares viga treliçada TIPO B – Treliça Contraventada

Resultado: Deslocamento máximo de 5,03 cm.

##### Tipo C: Tesoura Warren (a)



Figura 21: Deslocamentos lineares viga treliçada TIPO C – Tesoura Warren (a)

Resultado: Deslocamento máximo de 5,21 cm.

Tipo D: Tesoura Warren (b)

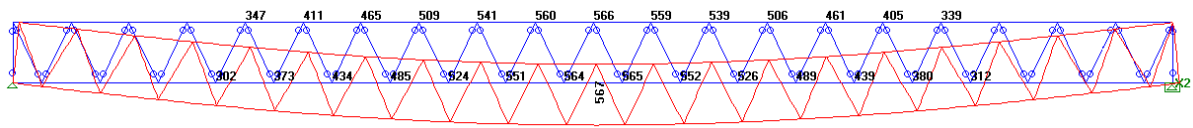


Figura 22: Deslocamentos lineares viga treliçada TIPO D – Tesoura Warren (b)

Resultado: Deslocamento máximo de 5,67 cm.

A seguir segue gráfico comparativo dos deslocamentos máximos lineares de cada um dos modelos de viga.

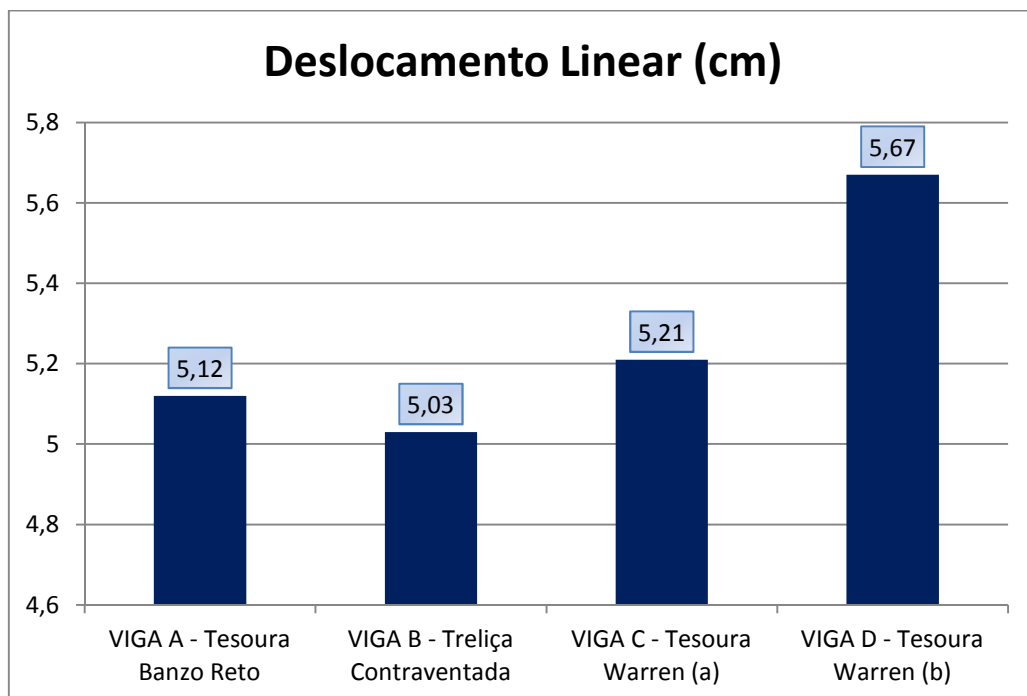


Figura 23: Gráfico comparativo dos deslocamentos lineares considerados das vigas

Sabendo-se que o deslocamento máximo permitido por norma para uma viga com comprimento de 2000 cm é de 5,71cm, nas vigas tipo A, C e D, alguns perfis das vigas treliçadas tiveram de ser aumentados para que seu deslocamento máximo não ultrapassasse o máximo estipulado pela norma, as vigas foram dimensionadas de modo a ser mais econômicas possíveis, percebe-se que todos os deslocamentos acabaram ficando próximos ao limite, principalmente a viga D, a qual teve um deslocamento máximo de 5,67cm, o qual, teoricamente ainda atende a norma.

## 4.5 Deslocamentos Não Lineares

Com auxílio do software AutoCAD podemos determinar qual o deslocamento que ocorre nas vigas treliçadas em função das folgas existentes nas ligações parafusadas, e analisando toda a estrutura podemos encontrar o deslocamento máximo que ocorre nas vigas.

Tipo A: Tesoura Banzo Reto

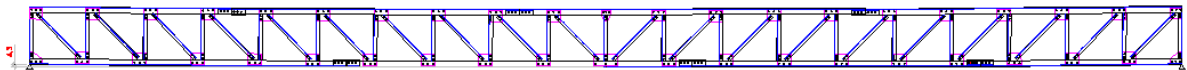


Figura 24: Deslocamentos dos nós viga treliçada TIPO A – Tesoura Banzo Reto  
Resultado: Deslocamento máximo de 4,33 cm.

Tipo B: Trelça Contraventada

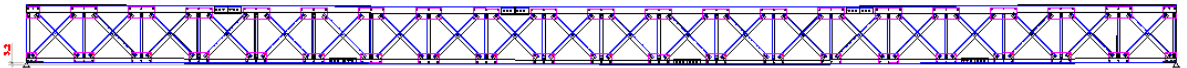


Figura 25: Deslocamentos dos nós viga treliçada TIPO B – Trelça Contraventada  
Resultado: Deslocamento máximo de 3,24 cm.

Tipo C: Tesoura Warren (a)

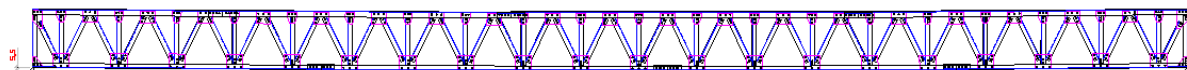


Figura 26 Deslocamentos dos nós viga treliçada TIPO C – Tesoura Warren (a)  
Resultado: Deslocamento máximo de 5,52 cm.

Tipo D: Tesoura Warren (b)



Figura 27: Deslocamentos dos nós viga treliçada TIPO D – Tesoura Warren (b)  
Resultado: Deslocamento máximo de 5,06 cm.

A seguir segue gráfico comparativo dos deslocamentos máximos dos nós de cada um dos modelos de viga.

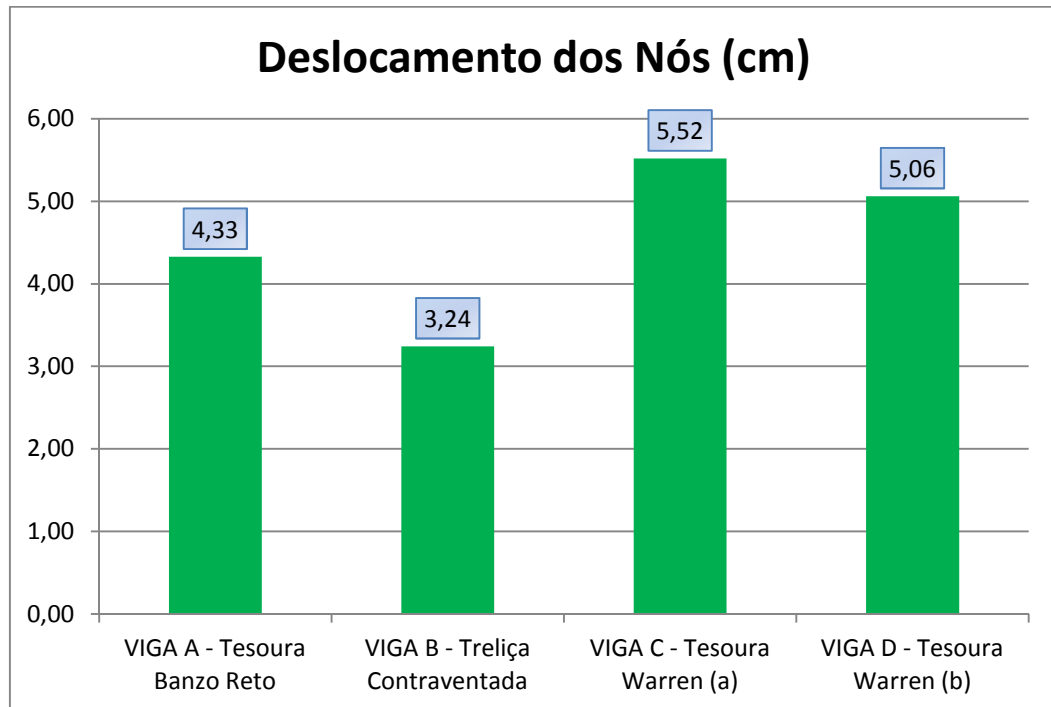


Figura 28: Gráfico comparativo dos deslocamentos dos nós das vigas

Os deslocamentos máximos dos nós gerados nas vigas são devido as folgas existentes entre parafusos e furos, considerando na análise ligações por contato.

A viga que apresentou menor deslocamento foi a viga B, tanto para os deslocamentos dos nós quanto para os deslocamentos lineares, a segunda viga que apresentou menor deslocamento dos nós foi a viga A, que também foi a segunda menor nos deslocamento linear, as viga C e D foram as que apresentaram maior deslocamento dos nós, as quais também apresentaram mais deslocamento linear.



## 4.6 Deslocamentos Totais

Podemos mediante destas informações apresentadas, realizar um somatório dos deslocamentos e analisar de quanto seria o deslocamento total de cada viga.

A seguir segue gráfico comparativo dos deslocamentos totais de cada um dos modelos de viga.

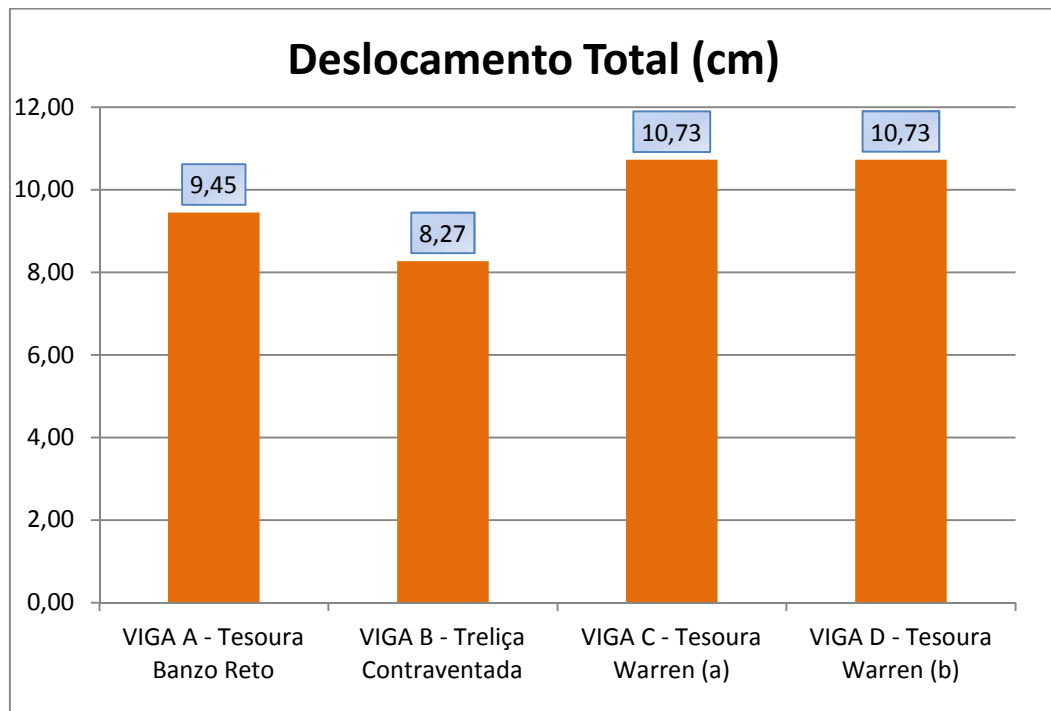


Figura 29: Gráfico comparativo dos deslocamentos totais das vigas

Verifica-se que somando os deslocamentos lineares e os deslocamentos dos nós, todas as vigas acabam por ultrapassar o deslocamento máximo permitido pela norma, que é de 5,71 cm. Pode-se interpretar tal resultado como existindo a necessidade de se deixar uma folga de segurança no dimensionamento de uma viga entre o deslocamento linear previsto e o máximo permitido por norma e também da necessidade de haver um bom aperto dos parafusos em campo evitando ao máximo os deslocamentos das folgas.

## 5. CONCLUSÕES

O estudo criou a oportunidade de uma análise mais apurada no que diz respeito a estruturas metálicas, principalmente quanto as uniões por ligações parafusadas e sua interferência no comportamento das mesmas, bem como a possibilidade da realização do dimensionamento de vigas metálicas, cálculos de ligações e o conhecimento da utilização do software de dimensionamento STRAP.

Devido aos tipos de geometrias diferentes analisados, foi possível constatar as diferenças no dimensionamento de cada tipo de estrutura e em alguns casos, faz-se necessária a alteração do perfil dimensionado pelo STRAP devido à área líquida do perfil calculado não atender o exigido pela norma, fazendo-se necessário reavaliar o cálculo da estrutura com os perfis ajustados.

Foi possível perceber que o deslocamento máximo gerado na prática devido as folgas dos nós não está necessariamente relacionado com o números de nós existentes nas estruturas, mas pode-se verificar estar mais relacionado com o tipo de geometria da estrutura e o diâmetro dos parafusos utilizados nas ligações da estrutura.

MODELO DA VIGA	NÓS	BARRAS	Peso (Kg)	Diâmetro Parafusos	Deslocamento Linear (cm)	Deslocamento dos Nós (cm)	Deslocamento Total (cm)
<b>VIGA A - Tesoura Banzo Reto</b>	42	81	930,8	5/8"	5,12	4,33	9,45
<b>VIGA B - Treliça Contraventada</b>	42	101	1132,4	1/2"	5,03	3,24	8,27
<b>VIGA C - Tesoura Warren (a)</b>	33	63	1039,2	5/8"	5,21	5,52	10,73
<b>VIGA D - Tesoura Warren (b)</b>	23	43	835,6	5/8"	5,67	5,06	10,73

Quadro 7: Resultados

Também verificou-se que o posicionamento das talas de união dos banzos, principalmente o banzo superior, também interfere no deslocamento máximo da estrutura, sendo ideal executar o posicionamento das talas o mais distante possível do centro da viga.

Lembrando que nesse trabalho foi utilizado no dimensionamento de ligações por contato, foi possível ter ainda a consciência de que quando se tratando do dimensionamento de uma estrutura de ligações parafusadas, deve haver uma folga entre a flecha máxima considerada no cálculo e a flecha máxima permitida por norma, pois verificou-se que o deslocamento máximo na estrutura, na prática, poderá ser maior do que a calculada ou

apresentada pelo software STRAP, pois podem ocorrer deslocamentos devido as ligações parafusadas que não são considerados no momento do dimensionamento da estrutura.

Pode-se também, como sugestão para trabalhos futuros, ser realizada esta análise para diferentes tipos de modelos estruturais, como por exemplo pórticos, tesouras, ou até mesmo para vigas com os mesmos modelos geométricos porém com dimensões diferenciadas, verificando a importância dos deslocamentos dos nós nestas estruturas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. - elaboração. Rio de Janeiro, 2008, 237 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: **Cargas para cálculo de estruturas de edificações**. - elaboração. Rio de Janeiro, 1980, 5 p.

BELLEI, Ildony H. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. São Paulo: Pini, 2008

BREUNIG, Marcio Nelson. **Análise do desempenho das diferentes topologias de estruturas treliçadas utilizadas em coberturas de pavilhões industriais**. 2008. 143 p. Trabalho de conclusão de curso- graduação em engenharia civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

BREUNIG, Simone. **Estudo do desempenho de diferentes concepções geométricas utilizadas em pilares metálicos para edifícios industriais**. 2010. 74 p. Trabalho de conclusão de curso- graduação em engenharia civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

FERRAZ, Henrique, O aço na construção civil. – São Paulo: Revista Eletrônica de Ciências – N° 22. 2003. Disponível em < [http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art\\_22/aco.html](http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_22/aco.html)>. Acesso em: 07 maio 2011.

MACHADO, Everton Silveira. **Otimização de projeto estrutural com utilização de elementos metálicos e cobertura autoportante**. 2007. 70 p. Trabalho de conclusão de curso- graduação em engenharia civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

MESQUITA FILHO, Júlio de. Elementos de ligação. – Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, Engenharia Civil. Disponível em < [http://www.dec.feis.unesp.br/rbj/03-ligacoes\\_civ0237.pdf](http://www.dec.feis.unesp.br/rbj/03-ligacoes_civ0237.pdf)>. Acesso em: 07 maio 2011.

## **ANEXOS**

## Anexo "A"

Tipo A: Tesoura Banzo Reto

- Parafusos das diagonais

Força solicitante			
FSD=	86,2	KN	
Cálculo da força resistente a cisalhamento			
$F_v, R_d = (0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}) / \alpha_2$			
FV,Rd=	48,359	KN	
Paraf=	5/8"		
d=	1,5875		
Ab=	1,978323	cm <sup>2</sup>	
Resistência Parafuso fu=	82,5	KN/cm <sup>2</sup>	A325
$\alpha_2$ =	1,35		
n=Fsd/Fv,Rd	1,782502		
n=	2		

- Parafusos dos montantes

Força solicitante			
FSD=	64,1	KN	
Cálculo da força resistente a cisalhamento			
$F_v, R_d = (0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}) / \alpha_2$			
FV,Rd=	48,359	KN	
Paraf=	5/8"		
d=	1,5875		
Ab=	1,978323	cm <sup>2</sup>	
Resistência Parafuso fu=	82,5	KN/cm <sup>2</sup>	A325
$\alpha_2$ =	1,35		
n=Fsd/Fv,Rd	1,325503		
n=	2		

## Anexo "B"

## Tipo B: Treliça Contraventada

## - Parafusos das diagonais

Força solicitante			
	FSD=	52,3	KN
Cálculo da força resistente a cisalhamento			
$F_v, R_d = (0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}) / \alpha_2$			
	FV,Rd=	30,94976	KN
	<b>Paraf=</b>	<b>1/2"</b>	
	d=	1,27	
	Ab=	1,266127	cm <sup>2</sup>
	Resistência Parafuso fu=	82,5	KN/cm <sup>2</sup> A325
	$\alpha_2$ =	1,35	
n=Fsd/Fv,Rd		1,689835	
	<b>n=</b>	<b>2</b>	

## - Parafusos dos montantes

Força solicitante			
	FSD=	25,9	KN
Cálculo da força resistente a cisalhamento			
$F_v, R_d = (0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}) / \alpha_2$			
	FV,Rd=	30,94976	KN
	<b>Paraf=</b>	<b>1/2"</b>	
	d=	1,27	
	Ab=	1,266127	cm <sup>2</sup>
	Resistência Parafuso fu=	82,5	KN/cm <sup>2</sup> A325
	$\alpha_2$ =	1,35	
n=Fsd/Fv,Rd		0,83684	
	<b>n=</b>	<b>2</b>	

## Anexo "C"

Tipo C: Tesoura Warren (a)

- Parafusos das diagonais

Força solicitante			
	FSD=	70,2	KN
Cálculo da força resistente a cisalhamento			
$F_v, R_d = (0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}) / \alpha_2$			
	FV,Rd=	48,359	KN
	<b>Paraf=</b>	<b>5/8"</b>	
	d=	1,5875	
	Ab=	1,978323	cm <sup>2</sup>
	Resistência Parafuso fu=	82,5	KN/cm <sup>2</sup> A325
	$\alpha_2$ =	1,35	
n=Fsd/Fv,Rd		1,452	
	<b>n=</b>	<b>2</b>	

- Parafusos dos montantes

Força solicitante			
	FSD=	63,2	KN
Cálculo da força resistente a cisalhamento			
$F_v, R_d = (0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}) / \alpha_2$			
	FV,Rd=	48,359	KN
	<b>Paraf=</b>	<b>5/8"</b>	
	d=	1,5875	
	Ab=	1,978323	cm <sup>2</sup>
	Resistência Parafuso fu=	82,5	KN/cm <sup>2</sup> A325
	$\alpha_2$ =	1,35	
n=Fsd/Fv,Rd		1,307	
	<b>n=</b>	<b>2</b>	



## Anexo "D"

Tipo D: Tesoura Warren (b)

- Parafusos das diagonais

Força solicitante			
	FSD=	68,6	KN
Cálculo da força resistente a cisalhamento			
$F_v, R_d = (0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}) / \sqrt{a_2}$			
	FV,Rd=	48,359	KN
	<b>Paraf=</b>	<b>5/8"</b>	
	d=	1,5875	
	Ab=	1,978323	cm <sup>2</sup>
	Resistência Parafuso fu=	82,5	KN/cm <sup>2</sup> A325
	$\sqrt{a_2}$ =	1,35	
n=Fsd/Fv,Rd		1,418557	
	<b>n=</b>	<b>2</b>	

- Parafusos dos montantes

Força solicitante			
	FSD=	61,7	KN
Cálculo da força resistente a cisalhamento			
$F_v, R_d = (0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}) / \sqrt{a_2}$			
	FV,Rd=	48,359	KN
	<b>Paraf=</b>	<b>5/8"</b>	
	d=	1,5875	
	Ab=	1,978323	cm <sup>2</sup>
	Resistência Parafuso fu=	82,5	KN/cm <sup>2</sup> A325
	$\sqrt{a_2}$ =	1,35	
n=Fsd/Fv,Rd		1,275874	
	<b>n=</b>	<b>2</b>	

## Anexo "E"

Tipo A: Tesoura Banzo Reto

- Área líquida das diagonais

Força solicitante					
	FSD=	86,2	kN		
Verificação da ruptura da seção líquida					
$C_t=0,6 \leq 1 - e_c/l_c \leq 0,9$					
	$e_c=$	1,55	excentricidade da ligação (tabela perfis)		
	$l_c=$	0,5	comprimento efetivo da ligação (cm)		
	$C_t=$	0,600	$0,6 \leq C_t \leq 0,9$		-2,1
$A_n=A_g - 1(d+0,35) * e$					
	Perfil=	L51x7,94	=	2x5/16	
	$A_g=$	7,42	área bruta do perfil (tabela perfis)		
	$d=$	5/8"	diâmetro parafuso		
		1,5875			
	$e=$	7,94	espessura (cm)		
		0,794			
	$A_n=$	5,881625			
$A_e=A_n * C_t$					
	$A_e=$	3,528975			
$N_{tsd}=(A_e * f_u) / \phi_a^2$					
	$f_u=$	40	kN/cm <sup>2</sup>		
	$\phi_a^2=$	1,35			
	$N_{t,Rd}=$	104,5622	$\geq$	86,2	OK

- Área líquida dos montantes

Força solicitante				
	FSD=	64,1	kN	
Verificação da ruptura da seção líquida				
Ct=0,6≤1-ec/lc≤0,9				
	ec=	1,75	excentricidade da ligação (tabela perfis)	
	lc=	0,5	comprimento efetivo da ligação (cm)	
	Ct=	0,600	0,6≤ Ct ≤0,9	-2,5
An=Ag-1(d+0,35)*e				
	Perfil=	L64x4,75	=	2.5x3/16
	Ag=	5,8	área bruta do perfil (tabela perfis)	
	d=	5/8"	diâmetro parafuso	
		1,5875		
	e=	4,75	espessura (cm)	
		0,475		
	An=	4,879688		
Ae=An*Ct				
	Ae=	2,927813		
Ntsd=(Ae*fu)/ϕa2				
	fu=	40	kN/cm <sup>2</sup>	
	ϕa2=	1,35		
	<b>Nt,Rd=</b>	<b>86,75</b>	<b>≥</b>	<b>64,1</b> <b>OK</b>

Resultado: Área líquida suficiente

## Anexo "F"

## Tipo B: Treliza Contraventada

- Área líquida das diagonais

Força solicitante					
	FSD=	52,3	kN		
Verificação da ruptura da seção líquida					
$C_t=0,6 \leq 1-e_c/l_c \leq 0,9$					
	$e_c=$	2,13	excentricidade da ligação (tabela perfis)		
	$l_c=$	0,4	comprimento efetivo da ligação (cm)		
	$C_t=$	0,600	$0,6 \leq C_t \leq 0,9$		-4,325
$A_n=A_g-1(d+0,35)*e$					
	Perfil=	L76x6,35	=	3x1/4	
	$A_g=$	9,29	área bruta do perfil (tabela perfis)		
	$d=$	1/2"	diâmetro parafuso		
		1,27			
	$e=$	6,35	espessura (cm)		
		0,635			
	$A_n=$	8,2613			
$A_e=A_n*C_t$					
	$A_e=$	4,95678			
$N_{tsd}=(A_e*f_u)/\phi_a^2$					
	$f_u=$	40	kN/cm <sup>2</sup>		
	$\phi_a^2=$	1,35			
	<b><math>N_{t,Rd}=</math></b>	<b>146,8676</b>	<b><math>\geq</math></b>	<b>52,3</b>	<b>OK</b>

- Área líquida dos montantes

Força solicitante					
	FSD=	25,9	kN		
Verificação da ruptura da seção líquida					
$Ct=0,6 \leq 1 - e_c/l_c \leq 0,9$					
	$e_c=$	1,45	excentricidade da ligação (tabela perfis)		
	$l_c=$	0,4	comprimento efetivo da ligação (cm)		
	$Ct=$	0,600	$0,6 \leq Ct \leq 0,9$		-2,625
$A_n = A_g - 1(d + 0,35) * e$					
	Perfil=	L51x4,75	=	2x3/16	
	$A_g=$	4,58	área bruta do perfil (tabela perfis)		
	$d=$	1/2"	diâmetro parafuso		
		1,27			
	$e=$	4,75	espessura (cm)		
		0,475			
	$A_n=$	3,8105			
$A_e = A_n * C_t$					
	$A_e=$	2,2863			
$N_{t,sd} = (A_e * f_u) / \gamma_a^2$					
	$f_u=$	40	kN/cm <sup>2</sup>		
	$\gamma_a^2=$	1,35			
	<b><math>N_{t,Rd}=</math></b>	<b>67,74222</b>	<b><math>\geq</math></b>	<b>25,9</b>	<b>OK</b>

## Anexo "G"

Tipo C: Tesoura Warren (a)

- Área líquida das diagonais

Força solicitante					
	FSD=	70,2	kN		
Verificação da ruptura da seção líquida					
$C_t=0,6 \leq 1-e_c/l_c \leq 0,9$					
	$e_c=$	2,08	excentricidade da ligação (tabela perfis)		
$1/2''=2x; 5/8''=2x; 3/4=2x$	$l_c=$	0,5	comprimento efetivo da ligação (cm)		
	$C_t=$	0,600	$0,6 \leq C_t \leq 0,9$		-3,16
$A_n=A_g-1(d+0,35)*e$					
	Perfil=	L76x4,75	=	3x3/16	
	$A_g=$	7,03	área bruta do perfil (tabela perfis)		
	$d=$	5/8"	diâmetro parafuso		
		1,5875			
	$e=$	4,75	espessura (cm)		
		0,475			
	$A_n=$	6,109688			
$A_e=A_n*C_t$					
	$A_e=$	3,665813			
$N_{tsd}=(A_e*f_u)/\phi_a^2$					
	$f_u=$	40	kN/cm <sup>2</sup>		
	$\phi_a^2=$	1,35			
	<b><math>N_{t,Rd}=</math></b>	<b>108,6167</b>	<b><math>\geq</math></b>	<b>70,2</b>	<b>OK</b>

## - Área líquida dos montantes

Força solicitante					
	FSD=	63,2	kN		
Verificação da ruptura da seção líquida					
$Ct=0,6 \leq 1-ec/lc \leq 0,9$					
	ec=	2,08	excentricidade da ligação (tabela perfis)		
	lc=	0,5	comprimento efetivo da ligação (cm)		
	Ct=	0,600	$0,6 \leq Ct \leq 0,9$		-3,16
$An=Ag-1(d+0,35)*e$					
	Perfil=	L76x4,75	=	3x3/16	
	Ag=	7,03	área bruta do perfil (tabela perfis)		
	d=	5/8"	diâmetro parafuso		
		1,5875			
	e=	4,75	espessura (cm)		
		0,475			
	An=	6,109688			
$Ae=An*Ct$					
	Ae=	3,665813			
$Ntsd=(Ae*fu)/\phi a2$					
	fu=	40	kN/cm <sup>2</sup>		
	$\phi a2=$	1,35			
	<b>Nt,Rd=</b>	<b>108,6167</b>	<b>≥</b>	<b>63,2</b>	<b>OK</b>

## Anexo "H"

Tipo D: Tesoura Warren (b)

- Área líquida das diagonais

Força solicitante					
	FSD=	68,6	kN		
Verificação da ruptura da seção líquida					
$C_t=0,6 \leq 1-e_c/l_c \leq 0,9$					
	$e_c=$	2,08	excentricidade da ligação (tabela perfis)		
	$l_c=$	0,5	comprimento efetivo da ligação (cm)		
	$C_t=$	0,600	$0,6 \leq C_t \leq 0,9$		-3,16
$A_n=A_g-1(d+0,35)*e$					
	Perfil=	L76x4,75	=	3x3/16	
	$A_g=$	7,03	área bruta do perfil (tabela perfis)		
	$d=$	5/8"	diâmetro parafuso		
		1,5875			
	$e=$	4,75	espessura (cm)		
		0,475			
	$A_n=$	6,109688			
$A_e=A_n*C_t$					
	$A_e=$	3,665813			
$N_{tsd}=(A_e*f_u)/\phi_a^2$					
	$f_u=$	40	kN/cm <sup>2</sup>		
	$\phi_a^2=$	1,35			
	<b><math>N_t, R_d=</math></b>	<b>108,6167</b>	<b><math>\geq</math></b>	<b>68,6</b>	<b>OK</b>

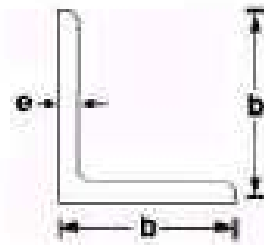


## - Área líquida dos montantes

Força solicitante					
	FSD=	61,7	kN		
Verificação da ruptura da seção líquida					
$Ct=0,6 \leq 1-ec/lc \leq 0,9$					
	ec=	2,08	excentricidade da ligação (tabela perfis)		
	lc=	0,5	comprimento efetivo da ligação (cm)		
	Ct=	0,600	$0,6 \leq Ct \leq 0,9$		-3,16
$An=Ag-1(d+0,35)*e$					
	Perfil=	L76x4,75	=	3x3/16	
	Ag=	7,03	área bruta do perfil (tabela perfis)		
	d=	5/8"	diâmetro parafuso		
		1,5875			
	e=	4,75	espessura (cm)		
		0,475			
	An=	6,109688			
$Ae=An*Ct$					
	Ae=	3,665813			
$Ntsd=(Ae*fu)/\alpha^2$					
	fu=	40	kN/cm <sup>2</sup>		
	$\alpha^2=$	1,35			
	<b>Nt,Rd=</b>	<b>108,6167</b>	<b>≥</b>	<b>61,7</b>	<b>OK</b>

## Anexo "I"

Tabela de perfis catálogo Belgo.

**Bitolas x Massa Linear (kg/m)**

Série Métrica (NBR 6109/94)

Espessura (e)	Largura (b)							
	40	45	50	60	65	75	90	100
mm								
3	1,84	2,09	2,33					
4	2,42	2,74	3,06	3,70	4,03			
5	2,97	3,38	3,77	4,57	4,98	5,71		
6			4,47	5,42	5,91	6,87	8,30	9,30
7						7,92	9,60	10,70
8					7,73	8,95	10,90	12,20
9						10,03	12,20	
10						11,00	13,40	15,00
12								17,80
13						14,00		19,20

As cantoneiras com dimensões 55 x 55 mm, 70 x 70 mm, 80 x 80 mm e 125 x 125 mm podem ser produzidas sob consulta.

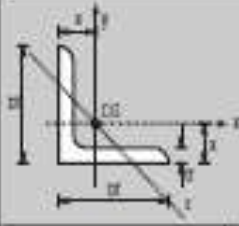
**Bitolas x Massa Linear (kg/m)**

Série em Polegadas

Espessura	Largura (pol)													
	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1.1/4	1.1/2	1.3/4	2	2.1/2	3	3.1/2	4	5
2,5 mm		0,57	0,70											
1/8"	0,55	0,71	0,87	1,03	1,19	1,50	1,83	2,14	2,46					
3/16"					1,73	2,20	2,68	3,15	3,63	4,57	5,52			
1/4"					2,20	2,86	3,48	4,12	4,75	6,10	7,29	8,63	9,82	
5/16"									5,83	7,44	9,08	10,70	12,20	15,33
3/8"									6,99	8,78	10,70	12,50	14,60	18,30
7/16"											12,40		16,60	21,30
1/2"											14,00		19,00	24,10
5/8"													23,40	

\* Sob consulta.

Especificações: NBR 7007 graus: MR 250, AR 350, AR 350 COR e AR 415.  
ASTM A-36, ASTM A-372 Gr50, ASTM A-372 Gr60, ASTM A-388 Gr8.



**Tabela E.1 — Cantoneiras de abas iguais**  
Propriedades para dimensionamento

D		P	A	t		$I_x = I_y$	$W_x = W_y$	$r_x = r_y$	$r_{x\min}$	X
pol	cm	kg/m	cm <sup>2</sup>	pol	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm
1/2"	1,270	0,55	0,70	1/8"	0,317	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	1,588	0,71	0,90	1/8"	0,317	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	1,905	0,87	1,11	1/8"	0,317	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	2,220	1,04	1,32	1/8"	0,317	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,49	1,90	3/16"	0,476	0,79	0,54	0,66	0,48	0,74
1"	2,540	1,19	1,48	1/8"	0,317	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	2,19	3/16"	0,476	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	2,84	1/4"	0,635	1,66	0,96	0,76	0,48	0,86
1 1/4"	3,175	1,50	1,93	1/8"	0,317	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	2,77	3/16"	0,476	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	3,62	1/4"	0,635	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1 1/2"	3,810	1,83	2,32	1/8"	0,317	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3,42	3/16"	0,476	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	4,45	1/4"	0,635	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1 3/4"	4,445	2,14	2,71	1/8"	0,317	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	4,00	3/16"	0,476	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	5,22	1/4"	0,635	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		5,04	6,45	5/16"	0,794	11,20	3,77	1,32	0,86	1,41
2"	5,080	2,46	3,10	1/8"	0,317	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	4,58	3/16"	0,476	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	6,06	1/4"	0,635	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	7,42	5/16"	0,794	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	8,76	3/8"	0,952	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2 1/2"	6,350	4,57	5,80	3/16"	0,476	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	7,67	1/4"	0,635	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	9,48	5/16"	0,794	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	11,16	3/8"	0,952	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	7,620	5,52	7,03	3/16"	0,476	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	9,29	1/4"	0,635	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	11,48	5/16"	0,794	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	13,61	3/8"	0,952	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		12,34	15,67	7/16"	1,111	83,00	15,60	2,31	1,47	2,31
		14,00	17,74	1/2"	1,270	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
4"	10,160	9,81	12,51	1/4"	0,635	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	15,48	5/16"	0,794	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	18,45	3/8"	0,952	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	21,35	7/16"	1,111	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	24,19	1/2"	1,270	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
		21,26	26,96	9/16"	1,429	254,00	36,10	3,07	1,98	3,07
		23,35	29,73	5/8"	1,588	279,00	39,40	3,05	1,96	3,12
5"	12,700	18,30	23,29	3/8"	0,952	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	30,64	1/2"	1,270	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	37,8	5/8"	1,588	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		35,10	44,75	3/4"	1,905	653,00	73,80	3,81	2,46	3,86
6"	15,240	22,22	28,12	3/8"	0,952	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	37,09	1/2"	1,270	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	45,86	5/8"	1,588	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	54,44	3/4"	1,905	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		49,30	62,75	7/8"	2,222	1.327,00	124,60	4,60	2,97	4,62