



Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778  
Nº 5, volume 5, artigo nº 29, Julho/Dezembro 2019  
D.O.I: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v5n5a29>  
Edição Especial

## ANÁLISE COMPARATIVA DE JUNÇÕES PARA PERFIL DE VIGA PRINCIPAL PARA PONTES ROLANTES

**Marina Texeira Carvalho**<sup>1</sup>

Engenheira Mecânico

**Thaynara Ramos de Andrade**<sup>2</sup>

Engenheira Mecânico

**Victor Barbosa Souza**<sup>3</sup>

Doutor em Engenharia Mecânica

### Resumo

Atualmente, o transporte de carga, é grande importância dentro do setor industrial por um todo, otimizando condições de carregamento, e diminuindo o tempo de logística para manuseio de materiais. O presente projeto tem por finalidade desenvolver uma análise técnica de uma ponte rolante já usada, estabelecendo mudanças estruturais, seguindo critérios das normas da ABNT NBR 8800:2008 e NBR 8400:1984, buscando maior confiabilidade para o equipamento. Essas mudanças estruturais foram estabelecidas pelo proprietário, designando-se melhorias para adaptação dentro do campo industrial. A princípio essas alterações deverão ser feitas na ampliação do vão livre, inicialmente com 7 metros, passando a ter 10 metros de comprimento, e alteração da capacidade de carga, de 4 toneladas, para 7 toneladas. Para a análise é levantado métodos de estudo: aumento do vão livre com variações de situação de junção nas emendas sendo essas: soldadas e parafusadas. Desse modo, essas análises mostram como o comportamento do material e tipo de configuração dimensional dessas juntas podem influenciar nas condições levantadas em comparação do software SolidWorks pela norma vigente, resultando em pareceres técnicos de comportamento estrutural. Assim as condições de análise resultam numa possibilidade mais significativa para atender as especificações do proprietário.

**Palavras-chave:** Pontes Rolantes, Análise, Alteração Estrutural.

### Abstract

Currently, cargo transportation is of great importance within the industrial sector as a whole, optimizing loading conditions, and reducing the time of logistics for material handling. The present project aims to develop a technical analysis of an a used crane, establishing

<sup>1</sup>Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna – RJ, [prof.victorbsouza@gmail.com](mailto:prof.victorbsouza@gmail.com)

<sup>2</sup>Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna – RJ, [prof.victorbsouza@gmail.com](mailto:prof.victorbsouza@gmail.com)

<sup>3</sup>Centro Universitário Redentor, Engenharia Civil, Itaperuna – RJ, [prof.victorbsouza@gmail.com](mailto:prof.victorbsouza@gmail.com)

structural changes, following the criteria of ABNT NBR 8800: 2008 and NBR 8400: 1984, seeking greater reliability for the equipment. These structural changes were established by the owner, called improvements for adaptation within the industrial field. At first these changes should be made in the enlargement of the free span, initially with 7 meters, becoming 10 meters long, and changing the load capacity from 4 tons to 7 tons. For the analysis is raised study methods: increase free span with variations of joint situation in the seams being these: welded and screwed. Thus, these analyzes show how the behavior of the material and type of dimensional configuration of these joints can influence the conditions raised in comparison of the SolidWorks software by the current norm, resulting in technical opinions of structural behavior. So the analysis conditions result in a more significant possibility to meet the owner's specifications.

**Keywords:** Rolling Bridges, Analysis, Structural Change.

## 1.0 INTRODUÇÃO

O primeiro instrumento siderúrgico utilizado na construção de equipamentos mecânicos foi o ferro fundido. Entre 1780 e 1820 estruturaram pontes em arco ou treliçadas, com peças em ferro fundido funcionando em compressão. A primeira ponte em ferro fundido foi a de Coalbrookdale, sobre o rio Severn, situada na Inglaterra. Trata-se de um arco com vão de 30 metros, construído em 1779 (PFEIL, 2009). Com a evolução da ciência das construções e da metalurgia, as estruturas metálicas, obteve formas funcionais e simples, constituindo-se em verdadeiros trunfos da nova era tecnológica (PFEIL, 2009).

O setor industrial possui um campo que busca por qualidade dos serviços, e essa particularidade requer um período maior de produtividade e pesquisas, portanto o tempo é um dos seus principais problemas, com isso ao decorrer do âmbito industrial ideias surgem para a melhoria de um todo, para conseguir o melhor em menor período de produção. Segundo, Hobsbawm, a Revolução Industrial foi basicamente, a alteração do instrumento manual para novas tecnologias, gerando máquinas para auxiliar o homem na elaboração do trabalho. Devido a essas transformações produziram-se outros conceitos de equipamentos com objetivo de compor a carência na demanda produtiva (HOBSBAWM,1972).

O que levou essas mudanças para as indústrias, foi a necessidade da melhoria do tempo de serviço, e uma das atividades que tem influência nesse setor referente ao ato de maior duração de trabalho é a atividade de transporte de carga, sendo os carregamentos leves ou não. Atualmente o transporte de carga se faz presente no setor industrial, seja ela, pela utilização de empilhadeiras, guindastes ou pontes rolantes, capazes de levantar e transportar grandes pesos, promovendo a facilidade e praticidade (ABNT NBR NR 11,2004).

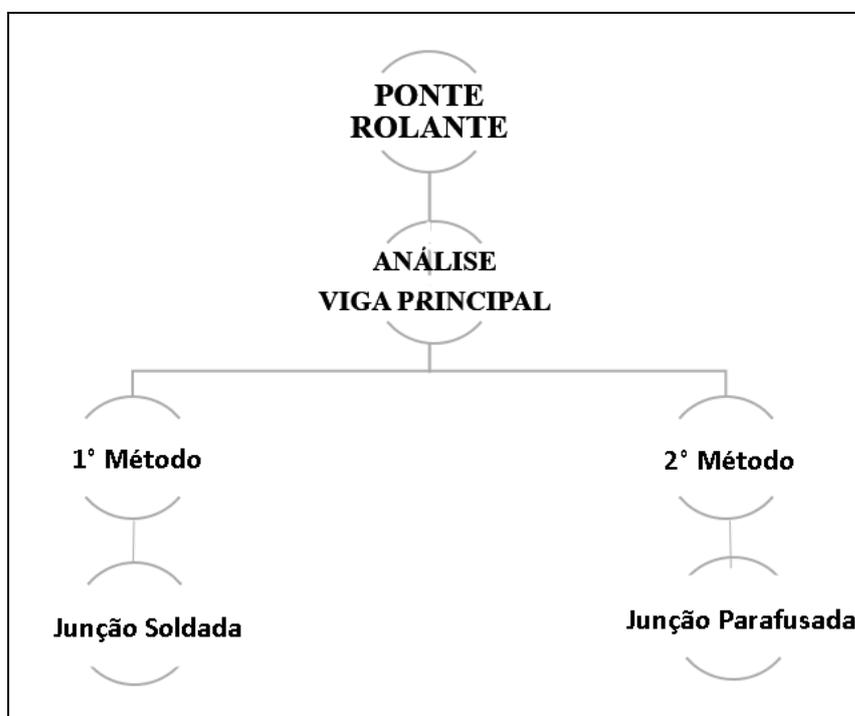
Nosso estudo é referente ao equipamento de transporte de carga conhecido como ponte rolante, sendo assim, sua concepção pode ser explicada como uma máquina que é capaz de funcionar como um guincho, e que transporta cargas elevadas na direção horizontal e também fazendo o içamento da carga na vertical (CORSINI, 2014). Não há modelos padrões para pontes rolantes, sendo cada uma projetada e montada nas especificações e necessidades de projeto, podendo ser pontes de viga simples ou vigas duplas, dependendo da capacidade de carga requerida sobre a situação do local e seguindo os padrões das normas atendidas pelo órgão responsável.

Devido a importância que o transporte de carga traz para as indústrias, o assunto a ser tratado pelo presente trabalho é referente a ponte rolante monoviga de perfil I para a empresa Aço Fácil – Ferro e Aço Ltda – ME que utiliza máquinas desse tipo, de forma abrangente. A produção dessa empresa requer a movimentação de peças de grande porte, o que dificulta o deslocamento de cargas, por isso a necessidade desses equipamentos.

O projeto busca analisar detalhadamente a real situação estrutural da ponte rolante, já existente no chão de fábrica, acompanhando todos os procedimentos das normas regulamentadoras vigentes e levando em consideração especialmente a análise da viga principal, que nas exigências do projeto, deve ter modificação no vão livre de sete para dez metros e na capacidade de carga de serviço de quatro para sete toneladas, porém antes de qualquer mudança da viga, serão analisados os tipos de junção da viga, podendo ser parafusadas ou soldadas.

## 2.0 DESENVOLVIMENTO

Os parâmetros empregados foram baseados na proposta que proprietário necessita na ponte rolante do monoviga. Essas configurações serão realizadas em uma viga principal de perfil I W 410 X 38,8 já utilizada, no qual o cliente nos pediu uma nova configuração para mudança do vão livre e carga de serviço. A figura 1, é um organograma dos métodos aplicados para melhor atender as especificações do projeto estabelecido pelo proprietário:



**Figura 1:** Organograma da configuração da análise da viga principal.

Cada método segue parâmetros diferentes, o primeiro para verificar as condições da viga se a junção for soldada e o segundo se for parafusada, para atender as especificações pedidas de um modo viável e de confiabilidade:

**1º Método** – Estender viga principal, inicialmente com vão de sete metros com a junção sendo soldada. Passando sua capacidade de carga para 7 toneladas e vão livre de 10 metros;

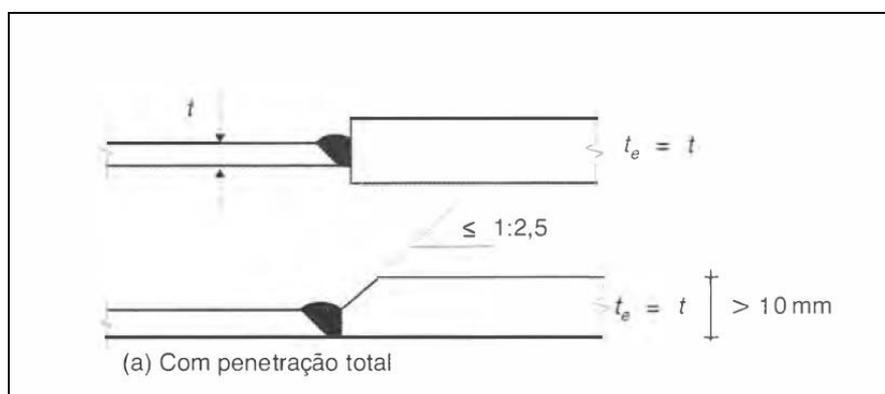
**2º Método** – Estender viga principal, inicialmente vão de sete metros com a junção sendo parafusada. Passando sua capacidade de carga para 7 toneladas e vão livre de 10 metros;

### 3.0 DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES SOLDADAS PELA NORMA 8800:2008

Para esse método de ampliação da viga terá junções soldadas, com isso é preciso fazer o dimensionamento da solda para concretização da análise no software. Para o dimensionamento dessa junção foi utilizada a norma NBR 8800:2008, pois a solda estará sofrendo flexão, assim sendo, que a norma NBR 8400:1984 não consta cálculo de solda para esse tipo de esforço.

#### 3.1 Elementos construtivos para o projeto

Segundo Pfeil, as soldas de entalhe são, em geral, previstas para total enchimento do espaço das peças ligadas (penetração total). Utiliza-se então, nos cálculos, a seção do metal-base de menor espessura como mostrado na figura 2 (PFEIL, 2009):



**Figura 2:** Espessuras efetivas de solda por penetração.

Fonte: Pfeil, 2009.

Conforme Pfeil, as soldas de entalhe com penetração parcial não podem ser usadas em ligações de peças submetidas a flexão (PFEIL, 2009). O que não é indicado para o dimensionamento da junção soldada para o projeto. As soldas são assimiladas, para efeito de cálculo, a triângulos retângulos. As pernas são designadas pelos comprimentos de seus lados. Na maioria dos casos, os lados das pernas são iguais. Denominam-se “garganta” a espessura desfavorável ( $t$ ) e “perna” o menor lado ( $b$ ) e “raiz” a interseção das faces de fusão (PFEIL, 2009).

#### Área efetiva de solda

A área efetiva para cálculo de um cordão de solda de lados iguais ( $b$ ) e comprimento efetivo ( $l$ ), vale:

$$t.l = 0,7.b.l \quad (3.1)$$

Onde:

- $b$  = Dimensões mínimas do lado do cordão de solda;
- $l$  = Comprimento efetivo para a junta soldada.

De acordo com a norma NBR 8800:2008, a área efetiva das soldas de penetração total deve ser calculada como o produto do comprimento efetivo da solda pela espessura da garganta efetiva (ABNT NBR 8800:2008). Os cordões de solda devem ser tomados com certas dimensões mínimas para evitar o resfriamento brusco da solda por condução de calor e assim garantir a fusão dos materiais, evitando a ocorrência de fraturas a frio e minimizar distorções. A dimensão mínima da perna do cordão é determinada em função da chapa mais fina, conforme indicado na tabela 1, como a norma NBR 8800:2008 cita, a espessura da garganta efetiva de uma solda de penetração total deve ser tomada igual a menor das espessuras das partes soldadas (ABNT NBR 8800:2008). Entretanto, a perna não precisa exceder a espessura da chapa mais fina, a não ser por necessidade de cálculo (PFEIL,2009). A referida tabela 1 faz esse questionamento sobre a dimensão mínima de cordão de solda:

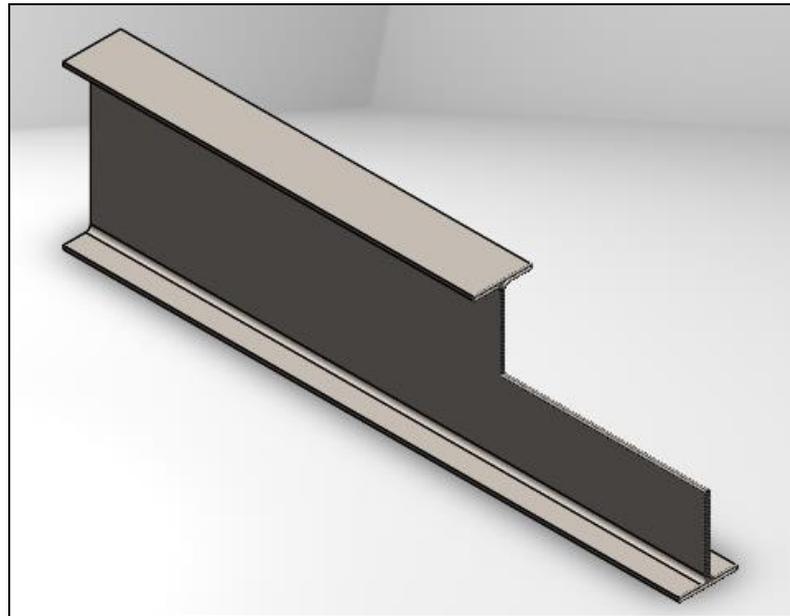
**Tabela 1:** Dimensões mínimas de cordões de solda

Dimensões mínimas de cordões de solda (AISC, NB)	
Espessura da chapa mais grossa	Lado da Perna (b)
Até 1/4"	1/8" ≈ 3mm
1/2"	3/16" ≈ 5mm
1/2" – 3/4"	1/4" ≈ 6mm
>3/4"	5/16" ≈ 8mm

Fonte: Livro Estruturas de Aço, PFEIL, 2009.

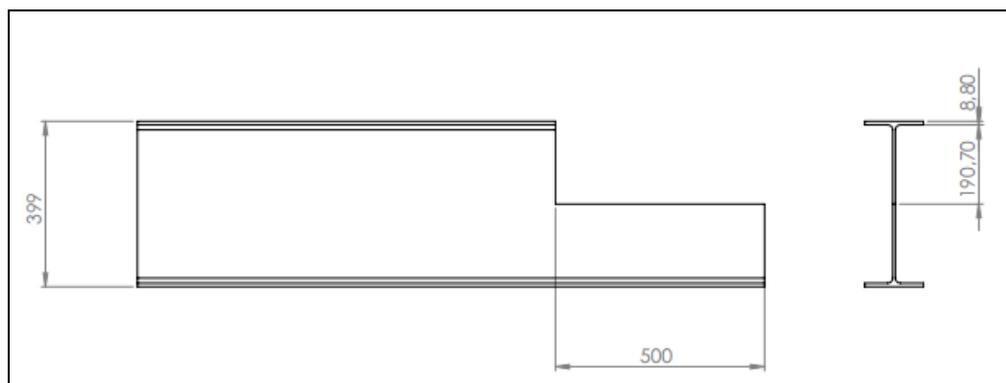
Para o comprimento efetivo de uma solda, de acordo com a norma NBR 8800:2008, deve ser igual ao comprimento total de dimensão uniforme que explica que o comprimento efetivo de uma solda de penetração total é igual ao seu comprimento real, o que deve ser igual à largura da parte ligada (ABNT NBR 8800:2008).

Nesse caso visto que o perfil é de seção em formato I, e que a solda utilizada será perimetral, designa assim o comprimento efetivo para a junta soldada, como mostrado na figura 3:



**Figura 3:** Considerações de corte para o perfil ser soldado.

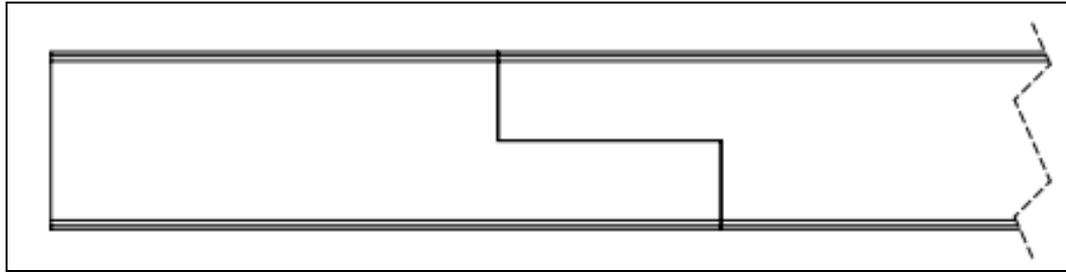
A figura 4, é mostrado as dimensões do perfil, para o conhecimento do comprimento efetivo do cordão de solda para determinação do mesmo:



**Figura 1:** Dimensões lineares do perfil cortado.

$$l = [2 \cdot (\text{larg. aba}) + 4 \cdot (\text{esp. aba}) + 4 \cdot (\text{larg. aba} - \text{esp. alma}) + 4 \cdot (\text{metade da alt. alma}) + 2 \cdot (\text{comprimento de corte})] \quad (3.2)$$

A figura 5, é uma representação de montagem dos perfis cortados, para colocação e posicionamento afim de percorrer a junção soldada:



**Figura 5:** Considerações de montagem dos perfis cortados.

Sendo assim pode-se calcular a área efetiva de consideração na viga onde será soldada:

$$A_w = 0,7.b.l; \quad (3.3)$$

$$A_w = t.l$$

$$t.l = 0,7.b.l \quad (3.4)$$

### 3.2 Definições para o tipo de eletrodo

As solicitações ocorrem em soldas de topo que ligam as chapas componentes de perfis soldados submetidos a momento fletor. Entretanto deve ser considerada a transferência de esforços de uma chapa à outra por cisalhamento através da garganta de solda; o estado limite é o de ruptura do metal de solda (PFEIL,2009). Os eletrodos utilizados nas soldas por arco voltaico são varas de aço-carbono ou aço de baixa liga. Os eletrodos com revestimento são designados, segundo a ASTM, por expressões do tipo E70XY (PFEIL,2009).

Onde:

- $E =$  eletrodo;
- $70 =$  resistência à ruptura  $f_w$  da solda em ksi;
- $X =$  número que se refere à posição de soldagem satisfatória ( 1 – qualquer posição; 2 – somente posição horizontal;
- $Y =$  número que indica tipo de corrente e de revestimento do eletrodo.

Os principais tipos de eletrodos empregados na indústria são:

$$E60 = f_w = 60 \text{ ksi} = 415 \text{ Mpa}$$

$$E70 = f_w = 70 \text{ ksi} = 485 \text{ Mpa}$$

Os eletrodos sem revestimento, utilizados nas soldas com arco submerso, recebem também denominações numéricas convencionais indicativas de resistência (em geral 60 e 70 ksi) e outras propriedades, indicadas pela letra F (PFEIL, 2009). Segundo especificações dos tipos de eletrodos mais utilizados e pela especificação do fabricante da viga principal, ficou assim designado a escolha do eletrodo, E 7018. Desse modo, segundo a norma NBR 8800:2008, a resistência a ruptura da solda,  $f_w = 70 \text{ ksi} = 485 \text{ MPa}$ , como mostrado na figura 6:

SOLDAGEM					
Processo Aço	Eletrodo Revestido	MIG / MAG	Arco Submerso	Eletrodo Tubular	Parafusos
ASTM A 572	E 7018	ER 70 S6	F7A0 EM 12K	E70T-1 E71T-1 E70T-4	ASTM A 325 TIPO 1
AÇO COR 500 (**)	E 7018 W E 7018 G	ER 8018 S-G	F7A0 EW	E80T1 W E71T8 Ni1	ASTM A 325 TIPO 3 GRAU A (*)

**Figura 6:** Recomendações do fabricante.

Fonte: Catálogo Gerdau, *online*.

### 3.3 Força cortante no cordão da solda

Segundo a norma NBR 8800:2008, para consideração da força resistente nas juntas soldadas, o cálculo de  $F_w, R_d$ , dos diversos tipos de solda está indicado na tabela 2 complementando com a tabela 3, devido as considerações, na qual  $A_w$  é a área efetiva de solda,  $AMB$  é a área do metal de base (produto do comprimento da solda pela espessura ao metal-base menos espesso),  $F_y$  é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e  $F_w$ , a resistência mínima à tração do metal da solda (ABNT NBR 8800:2008).

Tabela 2: Forças resistentes de cálculo de solda

TIPO DE SOLDA	TIPO DE SOLICITAÇÃO E ORIENTAÇÃO	FORÇA RESISTENTE DE CÁLCULO $F_w R_d abc$
Penetração total	Tração ou compressão paralelas ao eixo solda	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à secção efetiva da solda	Metal-Base: $AMB f_y / \gamma_{al} e f_i$
	Cisalhamento (soma	Metal-Base: $0,60 AMB f_y / \gamma_{al} e f_i$

	vetorial) na seção efetiva <sup>c</sup>	
Penetração parcial	Tração ou compressão paralelas ao eixo solda	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à secção efetiva da solda	Menor dos valores: $AMBfy/\gamma l^{e fi}$ e $0,60AMBfy/\gamma l^{e fi}$
	Cisalhamento paralelo ao eixo da solda, na seção efetiva	Metal-base deve atender 6.5  Metal da solda: $0,60AMBfy/\gamma l^{e fi}$
Filete e Topo	Tração ou compressão paralelas ao eixo solda <sup>c</sup>	Não precisa ser considerado
	Cisalhamento na área efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzem tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas)	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60AWfw/\gamma w2$
Tampão em furos ou rasgos	Cisalhamento paralelo as superfícies em contato, na seção efetiva.	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60AWfw/\gamma w2$

Fonte: Norma Técnica ABNT NBR 8800:2008

Especificações para completar a tabela 2 encontra-se na tabela 3:

Tabela 3: Complementação da Tabela 2.

<sup>a</sup> Para definição de áreas efetivas de soldas, ver 6.2.2 da norma ABNT NBR 8800:2008

<sup>b</sup> O metal da solda a ser usado para cada metal-base é dado na Tabela 7.

---

c Soldas de filete e soldas de penetração parcial, ligando os elementos componentes de perfis soldados (mesas e almas), podem ser calculados sem considerar as tensões de tração ou de compressão nesses elementos, paralelas ao eixo de solda; devem ser consideradas, entretanto, as tensões de cisalhamento causadas pelas forças cortantes e os efeitos locais.

d Em soldas sujeitas as tensões não-uniformes, as forças solicitante e resistente de cálculo são determinadas com base em comprimentos efetivos unitários.

e Nesse caso, quando houver duas classes de resistência de metal da solda na Tabela 7, só pode ser usada a classe de maior resistência.

f Para juntas de canto e em T, com chapa de espera não retirada do local da solda, o metal da solda deve ter uma tenacidade mínima de 27 J a 4 °C, no ensaio de Charpy com entalhe em V. Pode-se dispensar essa exigência de tenacidade, desde que a junta seja dimensionada usando-se o coeficiente de ponderação da resistência e a resistência nominal de uma solda de penetração parcial. A mesma exigência de tenacidade é aplicável a emendas soldadas de perfis soldados em espessura de mesa ou alma superior a 50 mm e de perfis laminados com mesa de espessura superior a 44 mm (nesse caso não há alternativa para dispensar tal exigência).

g Em emendas soldadas de perfis soldados com espessura de mesa ou alma superior a 50 mm e de perfis laminados com mesas de espessura superior a 44 mm, deve ser aplicado um preaquecimento igual ou superior a 175 °C.

h Ver também 6.2.5.2 na norma ABNT NBR 8800:2008.

i O valor de  $\gamma_{a1}$  é dado em 4.8.2 na norma ABNT NBR 8800:2008.

j O valor de  $\gamma_{w1}$  é igual a 1,25 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,05 para combinações excepcionais.

k O valor de  $\gamma_{w2}$  é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.

---

Fonte: Norma Técnica ABNT NBR 8800:2008

Nas soldas, qualquer que seja a direção do esforço aplicado, admite-se, para efeito de cálculo, que as tensões na solda sejam de cisalhamento na seção da garganta. A tensão de corte na garganta de solda é calculada com a equações 3.5 (PFEIL, 2009):

$$F_y = \frac{\tau(\text{metal da solda})}{A_w} \quad (3.5)$$

### 3.4 DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES PARAFUSADAS PELA NORMA NBR 8800:2008

Nesse método da estruturação da viga como no método anterior, será utilizado outro tipo de junção para ampliar os perfis, sendo essa junção parafusada. Assim para verificar qual o melhor método de junção e atender as cargas limites, é necessário o dimensionamento para achar a força cisalhante encontrada na junção parafusada para atender a força cortante do projeto com modificações.

#### 3.4.1 Determinação das dimensões nominais da chapa

Como já se sabe o tipo do perfil a ser usado, considerando suas propriedades mecânicas, a chapa a ser usada para fazer a união, segue o mesmo tipo do material usado nos perfis, sendo essa chapa de aço ASTM A-572 Gr 50, com dimensões de 355x400x8mm, como mostra a figura 7:

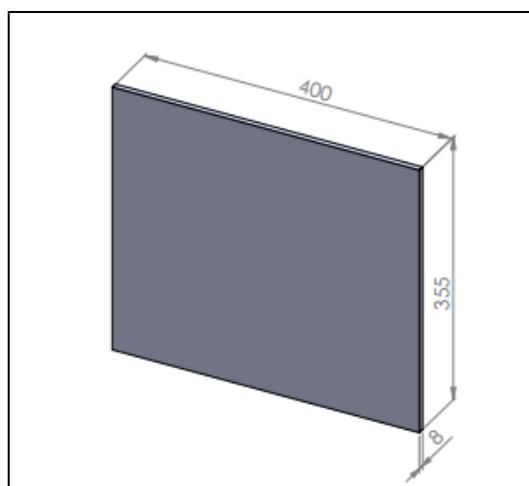


Figura 7: Chapa de aço.

Para determinar das dimensões da chapa a ser usada como emenda, segundo a norma 8800:2008, deve-se adotar as dimensões com variações menores que a peça que servirá como apoio, sendo assim, como a alma do perfil (altura interna da alma), tem 357 mm, a chapa considerada possui 355mm, devido a essa consideração, possuindo um canto vivo de 1 mm nas extremidades, entre a chapa e a aba do perfil, desse modo a chapa ao ser realocada, entra em contato com as superfícies com maior facilidade.

#### 3.4.2 Determinação do diâmetro nominal dos parafusos

Para a determinação do diâmetro nominal do parafuso a ser aplicado, deve-se considerar os diâmetros normalizados a ser seguidos pela norma NBR 8800:2008, que pode ser considerado na tabela 4:

Tabela 4: Diâmetro nominal do parafuso.

	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 (mm)	$\leq 24$	$d_b + 1,5$	$d_b + 5$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 6)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
	27	28,5	33	28,5x35	28,5x67,5
	$\geq 30$	$d_b + 1,5$	$d_b + 8$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 9,5)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
Dimensões (in)	$\leq 7/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 3/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 1/4)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$
	1	1 1/16	1 1/4	1 1/16 x 1 5/16	1 1/16 x 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: Norma Técnica ABNT NBR 8800:2008

### 3.5 Critérios para dimensionamento

#### 3.5.1 Resistência da área bruta

Segundo Pfeil, para dimensionamento da junção parafusada deve-se considerar a resistência da área bruta, verifica-se quem resiste “menos”, as duas peças a serem unidas chapa ou a alma. Observa-se primeiro a configuração de montagem da junção parafusada, para melhores compreensões, na figura 8:

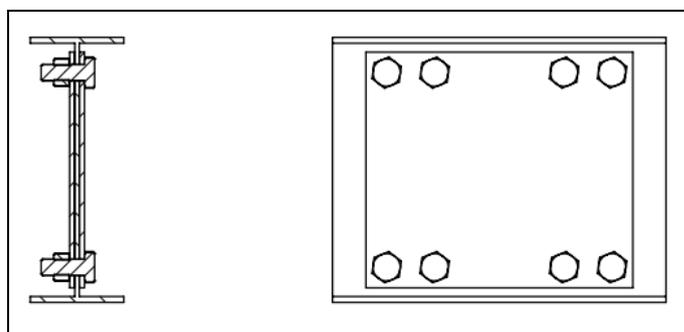


Figura 8: Montagem da junção.

Desse modo, a figura 9, determina qual peça resiste menos para considerações de cálculo:

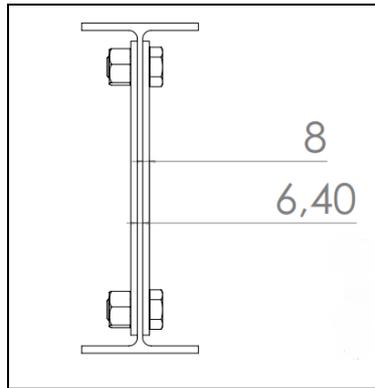


Figura 9: Especificação da chapa junto ao perfil.

$$alma < 2 \times \text{espessura da chapa}$$

Após a análise superficial de qual peça provavelmente resiste menos, basta-se calcular a área bruta ( $A_g$ ) em cima das dimensões da peça, mostrada na fórmula:

$$A_g = \text{altura da alma} \times \text{espessura} \quad (3.6)$$

Os critérios de dimensionamento são verificados ao escoamento da seção bruta, que é responsável pelas deformações excessivas da peça, que é mostrado na tabela 5, com condições normais:

Tabela 5: Fatores de Combinações de Ações.

Material	COMBINAÇÕES DE AÇÕES			
	$\gamma_m$	Normais	Especiais ou de construção	Excepcionais
Aço estrutural, pinos e parafusos - Estados limites de escoamento e flambagem.	$\gamma_{a1}$	1,10	1,10	1,00
Aço estrutural, pinos e parafusos - Estados limites de ruptura.	$\gamma_{a2}$	1,35	1,35	1,15
Concreto	$\gamma_c$	1,40	1,20	1,20
Aço de armadura de concreto armado.	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,00

Fonte: Norma Técnica ABNT NBR 8800:2008

Para o cálculo da resistência na área bruta, deve seguir a fórmula abaixo:

$$\sigma_{adm}(\text{escoamento}) = \frac{f_y}{\gamma(\text{escoamento})} \quad (3.7)$$

$$R_d = \sigma_{adm}(\text{escoamento}) \cdot A_g \quad (3.8)$$

### 3.5.2 Resistência da área líquida

Além da resistência da área bruta, deve-se considerar a resistência da área líquida ( $A_n$ ) e para isso deve-se analisar os espaçamentos entre os furos, que pode ser descrito na tabela 6 e 7, seguindo a figura 10, sabendo que o tipo do corte da chapa é com bordas laminadas ou cortadas com maçarico, leva-se a seguinte consideração:

Tabela 6: Espaçamentos entre furos para bordas laminadas ou cortadas com maçarico.

Valor de "a" para bordas laminadas ou cortadas com maçarico	$d + 6 \text{ mm} (d \leq 19 \text{ mm})$
[	$d + 7 \text{ mm} (19 \leq d < 26 \text{ mm})$
	$d + 9 \text{ mm} (26 \leq d < 30 \text{ mm})$
	$d + 10 \text{ mm} (30 \leq d \leq 36 \text{ mm})$
	$1,25 d (d > 36 \text{ mm})$

Fonte: Norma Técnica ABNT NBR 8800:2008

Tabela 7: Espaçamentos entre furos para bordas cortadas com serra ou tesoura

$1,75 d$	<b>Bordas cortadas com serra ou tesoura</b>
----------	---

Fonte: Norma Técnica ABNT NBR 8800:2008

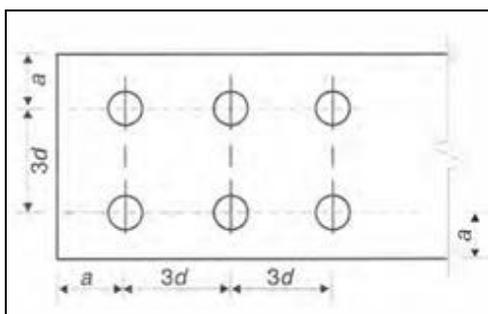


Figura 9: Dimensões segundo a norma para espaçamento entre furos.

Fonte: Livro Estruturas de Aço, PFEIL, 2009.

Como o diâmetro do parafuso estipulado, e estando entre a faixa de variação, deve-se acrescentar os milímetros necessários das condições para achar o espaçamento mínimo recomendado, que pode ser encontrado na tabela 8:

Tabela 8: Espaçamentos entre furos definidos para os tipos de cortes de bordas.

Diâmetro $d_b$		Borda cortada com serra ou tesoura (mm)	Borda laminada ou cortada a maçarico <sup>b</sup> (mm)
Pol	mm		
$\frac{1}{2}$		22	19

5/8	16	29	22
¾		32	26
	20	35	27
7/8	22	38 <sup>c</sup>	29
	24	42 <sup>c</sup>	31
1		44	32
1 1/8	27	50	38
	30	53	39
1 ¼		57	42
	36	64	26
> 1 1/4	>36	1,75 d <sub>b</sub>	1,25 d <sub>b</sub>

<sup>a</sup> São permitidas distâncias inferiores às desta Tabela, desde que a equação aplicável de 6.3.3.3 seja satisfeita.

<sup>b</sup> Nesta coluna, as distâncias podem ser reduzidas de 3 mm, quando o furo está em um ponto onde a força solicitante de cálculo não exceda 25 % da força resistente de cálculo.

<sup>c</sup> Nas extremidades de cantoneiras de ligação de vigas e de chapas de extremidade para ligações flexíveis, esta distância pode ser igual a 32 mm.

Fonte: Norma Técnica ABNT NBR 8800:2008

Caso o tipo de furação da chapa for padrão, sendo esse o mais usual como mostrado na tabela 10, deve-se considerar também a furação para chapas mais grossas, o que podemos chamar de diâmetro fictício, segundo Pfeil, com valor de 2 mm, sendo assim, assume-se:

$$dfictício = d \text{ padrão} + 2mm \quad (3.9)$$

$$dfictício = (db + 1,5) + 2 \quad (3.10)$$

$$dfictício = db + 3,5 \quad (3.11)$$

Dessa forma para cálculo da área líquida, com furações concêntricas, é usado a fórmula:

$$An = \left[ b - \Sigma'(d + 3,5) + \Sigma'' \frac{s^2}{4.g} \right] . t \quad (3.12)$$

Desse modo, calcula-se a área líquida efetiva para projeto, levando em consideração as condições expressas na fórmula:

$$A_{n,ef} = C_t \cdot A_n \quad (3.13)$$

Para o coeficiente  $C_t$ , basta atender as especificações das variações expressas na tabela 9:

Tabela 9: Fator redutor aplicado à área líquida

$C_t = 1,00$	para $l_w \geq 2b$
$C_t = 0,87$	para $1,5b \leq l_w < 2b$
$C_t = 0,75$	para $b \leq l_w \leq 1,5b$

Fonte: Livro Estruturas de Aço, PFEIL, 2009.

Os critérios de dimensionamento são verificados a ruptura da seção líquida efetiva, que é responsável pelo colapso total da peça, que é mostrado na tabela 5 de combinações de ações descrita anteriormente, com condições normais.

$$\sigma_{adm}(ruptura) = \frac{f_u}{\gamma(ruptura)} \quad (3.14)$$

Para cálculo da resistência da seção líquida, é demonstrado:

$$R_d = \sigma_{adm}(ruptura) \cdot A_{n,ef} \quad (3.15)$$

### 3.5.3 Corte nos parafusos

Para a continuação do dimensionamento da junção dos perfis, deve-se considerar também o corte dos parafusos, nesse caso, devido ser parafusos de alta resistência, segundo Pfeil, para esse tipo de parafusos, é encontrado tabelado as propriedades do seu material, as tensões admissíveis e tensões de ruptura, segue na tabela 10:

Tabela 10: Propriedades Mecânicas dos Aços para Conectores.

TIPO DE CONECTOR		<i>Fy (Mpa)</i>	<i>Fu (Mpa)</i>
<b>Rebites ASTM A502 ou EB-49</b>	Grau 1		415
	Grau 2		525
<b>Parafusos comuns ASTM A307</b>	$d \leq 102 \text{ mm (4'')}$		415
Parafusos de alta resistência ASTM A325	$12,7 \text{ mm (1/2'')} \leq d \leq 25,4 \text{ mm (1'')}$	635	825
	$25,4 \text{ mm (1'')} \leq d \leq 38,1 \text{ mm (1 1/2'')}$	560	725
Parafusos de alta resistência ASTM A490	$12,7 \text{ mm (1/2'')} \leq d \leq 38,1 \text{ mm (1 1/2'')}$	895	1035
<b>Barras rosqueadas</b>	ASTM A36	250	400
	ASTM A588	345	485

Fonte: Livro Estruturas de Aço, PFEIL, 2009.

Desse modo calcula-se a área da seção transversal do parafuso, dado pela fórmula:

$$A, \text{parafuso} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (3.16)$$

Assim, pode-se calcular a resistência nos parafusos, pela fórmula:

$$Rd = 0,6 \times (0,7 \cdot A, \text{par}) \times (0,6 \cdot fu) \times N, \text{par} \times N, \text{pc} \quad (3.17)$$

O plano de corte nos parafusos, é a área de contato capaz de cisalhar, para isso, a figura 11, ajuda a explicar, a quantidades desses planos:

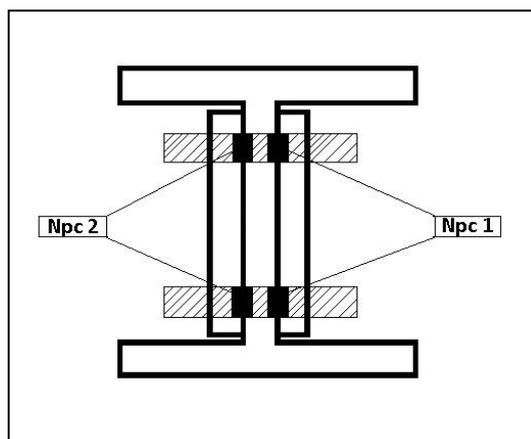


Figura 11: Plano de corte.

Essa quantidade pode ser explicada pelo contato da chapa com o perfil, não considerando a cabeça do parafuso, nem a área de contato com a porca.

### 3.5.4 Rasgamento e esmagamento da chapa

Dando continuidade ao dimensionamento, deve-se considerar também o rasgamento e esmagamento da chapa. Para melhor entendimento a figura 12, mostra a situação da possível condição desses fatores:

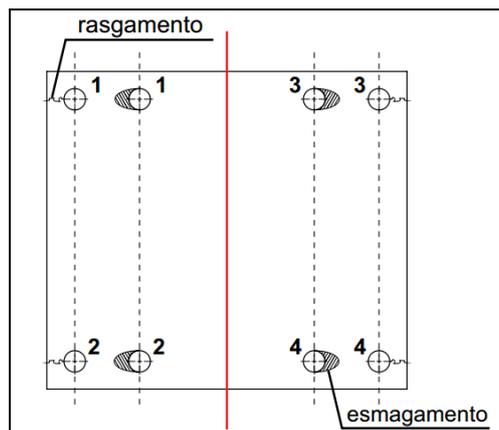


Figura 12: Condições de esmagamento e rasgamento.

Nota-se que pela separação de junta pelas forças aplicadas dos critérios de dimensionamento, a intenção da junção é seguir sentidos opostos.

➤ **Cálculo para rasgamento da peça:**

$$R_d = 0,75 \cdot a \cdot t \cdot f_u \cdot N_{par.rasg} \quad (3.18)$$

➤ **Cálculo para esmagamento da chapa:**

$$R_d = 0,75 \cdot 3 \cdot d_{furo} \cdot t \cdot f_u \cdot N_{par.esmag} \quad (3.19)$$

Desse modo, sabendo-se as resistências pelos tipos de condições, deve-se somar essas resistências, afim de garantir uma resistência total.

$$R_d = R_{d,rasg} + R_{d,esmag} \quad (3.20)$$

### 3.5.5 Cisalhamento do bloco

Ainda verificando as condições da junta estudada, deve-se levar em consideração também o cisalhamento de blocos, na qual a intenção da peça é cisalhar onde a espessura for menor, para isso, a figura 13, ajuda a identificar o possível rompimento:

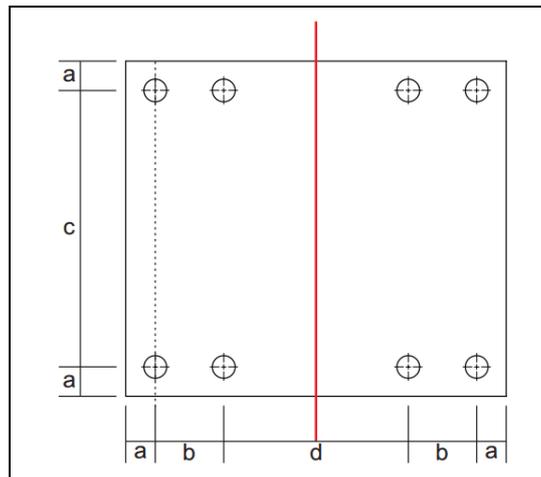


Figura 13: Espaçamento entre furos recomendado ao projeto.

Para isso, deve-se comparar qual espessura para cisalhamento da peça, desse modo temos:

$$a + a < b + d + b$$

$$2a < 2b + d$$

Após a verificação da menor espessura, possivelmente onde ocorrerá a fratura da peça, deve-se identificar as áreas que foram cisalhadas e as áreas que foram tracionadas, desse modo, pode-se ser analisado na figura 14:

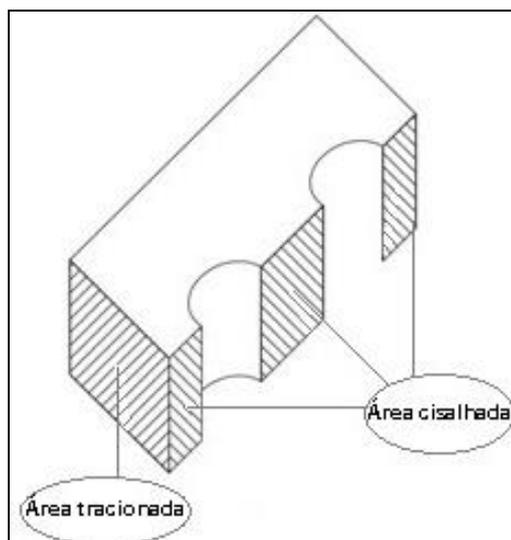


Figura 14: Especificação das Áreas tracionada e cisalhada.

Partindo da análise feita acima, encontra-se e calcula-se primeiramente as áreas tracionadas, levando em consideração a área bruta e área líquida na região que foi tracionada.

➤ **Cálculo da área bruta tracionada ( $A_{gt}$ ):**

$$A_{gt} = b, \text{trac} \times t \quad (3.21)$$

Como a área tracionada não possui nenhum furo, não tem área líquida a ser considerada, então pode-se dizer que ( $A_{nt}$ ) na região tracionada é igual a zero. Logo após identificar e calcular a área tracionada, deve-se levar consideração também a área cisalhada, indo no mesmo princípio da condição anterior, área bruta e área líquida.

➤ **Cálculo da área bruta cisalhada ( $A_{gv}$ ):**

$$A_{gv} = b, \text{cisal} \times t \quad (3.22)$$

Como mostrado na figura, a área cisalhada possui dois furos com rasgo total do diâmetro na seção, então o cálculo da área líquida cisalhada ( $A_{nv}$ ), pode ser calculado na fórmula abaixo:

$$A_{nv} = b, \text{cisal} \times t \quad (3.23)$$

$$A_{nv} = (b, \text{cisal} - \Sigma. d, \text{furos}). t \quad (3.24)$$

Seguindo todos os procedimentos, conforme a norma NBR 8800:2008, é preciso encontrar a maior resistência das áreas líquidas, mas como vimos, não temos a área líquida na região tracionada, então a maior é da área cisalhada, e com isso pode-se calcular a maior resistência nas áreas usando a área  $A_{nv}$ , calculada logo:

$$A_{nv}. (0,6. f_u) \quad (3.25)$$

Pode-se calcular a resistência da peça, usando a área bruta tracionada, pelo escoamento da chapa, pela fórmula:

$$R_d = 0,75 \cdot [(A_{nv} \cdot 0,6 \cdot f_u) + (A_{gt} \cdot f_y)] \quad (3.26)$$

Então conclui-se que para haver rasgamento, a resistência nos furos tem que ser menor que a resistência da peça, calculado anteriormente, dado pela igualdade:

$R_d \text{ da peça} > R_d \text{ dos furos}$

Onde:

- $R_{d \text{ da peça}} =$  a resistência calculada na equação 3.26;
- $R_{d \text{ dos furos}} =$  a resistência calculada na equação 3.17.

#### 4.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração, os resultados dos cálculos levantados são apresentados, pela tabela 11, para junção soldada:

Tabela 11: Cálculos para junção soldada.

	Resultados	Equação
<b>Comprimento efetivo do cordão de solda</b>	$l = 2611,6 \text{ mm}$	3.2
<b>Área efetiva de solda</b>	$A_w = 9140,6 \text{ mm}^2$	3.3
<b>Força máxima do cordão de solda</b>	$F_y = 4433,19 \text{ KN}$	3.5

Levando em consideração da mesma forma, os resultados dos cálculos levantados são apresentados, pela tabela 12, para junção parafusada:

Tabela 12: Resultados para junção parafusada.

	Resultados	Equação
<b>Área bruta</b>	$A_g = 2,2848 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	3.6
<b>Resistência da área bruta</b>	$R_d = 719,71 \text{ KN}$	3.8
<b>Diâmetro fictício</b>	$d_{\text{fictício}} = 27,5 \text{ mm}$	3.11
<b>Área líquida</b>	$A_n = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$	3.12
<b>Área líquida efetiva</b>	$A_{n,ef} = 0,0018 \text{ m}^2$	3.13
<b>Resistência da área líquida</b>	$R_d = 607,5 \text{ KN}$	3.15
<b>Área do parafuso</b>	$A = 4,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$	3.16
<b>Resistência dos furos</b>	$R_d = 1503,53 \text{ KN}$	3.17
<b>Resistência ao rasgamento</b>	$R_d = 334,8 \text{ KN}$	3.18

<b>Resistência ao esmagamento</b>	Rd = 891 KN	3.19
<b>Resistência total de corte</b>	Rd = 1225,8 KN	3.20
<b>Área bruta tracionada</b>	$A_{gt} = 2,48 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	3.21
<b>Área bruta cisalhada</b>	$A_{gv} = 2,84 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	3.22
<b>Área líquida cisalhada</b>	$A_{nv} = 2,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	3.24
<b>Resistência da peça</b>	Rd = 1137 KN	3.26

Como já dito anteriormente, para haver rasgamento, a resistência nos furos tem que ser menor que a resistência da peça, dessa forma pode ser analisado pela tabela 13:

Tabela 13: Resultados para junção parafusada.

<b>Rd da peça &gt; Rd dos furos</b>	<b>Para haver rasgamento</b>
1137 KN > 1503,53 KN	NÃO HAVERÁ

### **Análise via Software SolidWorks para o método de junção soldada**

Sabendo as condições já calculadas para esse tipo de junção, é modelado o perfil no software, exercendo suas características reais, como dimensões e tipo de material, como pode ser visto na figura 15:

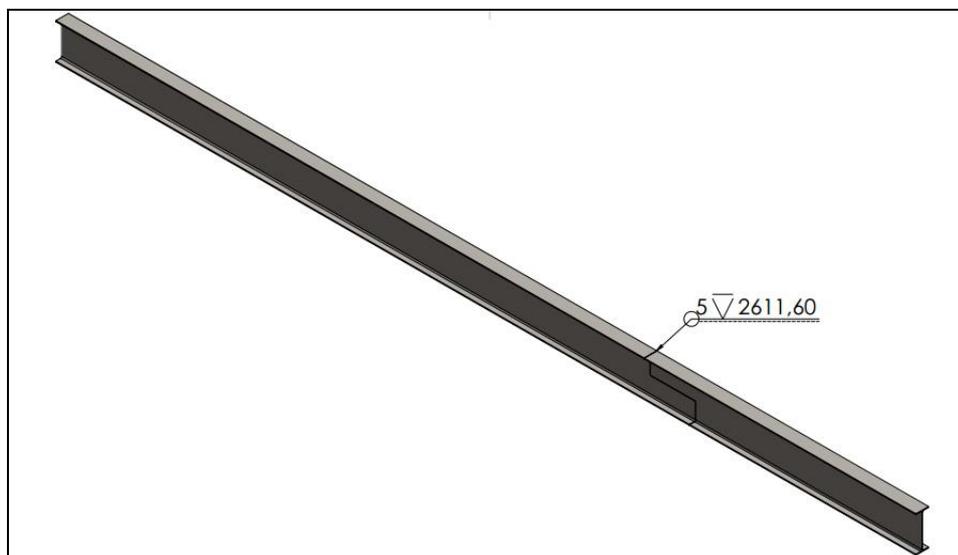
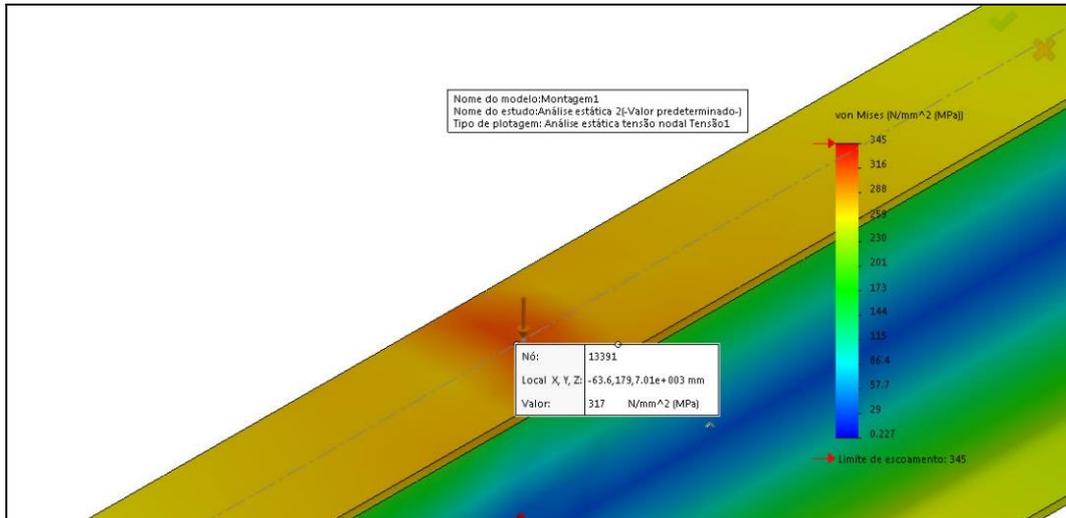


Figura 15: Viga de 10 metros com ampliação apenas em uma extremidade com junção soldada.

A figura 16 é a visualização mais detalhada do comportamento da peça na simulação do Solidworks:



**Figura 16:** Mostrando com detalhe a parte no qual concentra a máxima tensão.

Sabendo que o software segue os princípios da teoria de Von Mises, as condições da junção soldada, a carga aplicada na viga de 81,7 KN e peso próprio do material que o software já considera quando escolhe o perfil e o material da viga, se fez o resultado ilustrado na figura 16, no qual as tensões máximas ficaram entre 316 e 345 MPa, pelas tonalidades laranjadas, perto do limite máximo com que o material escoe, regime plástico, sendo a maior tensão de 317MPa.

O software certifique que as junções estão rígidas, fazendo assim ser uma única viga de 10 metros, sem junções, por isso se as junções estiverem colocadas em posições certas e dimensionada corretamente as tensões dos métodos com dez metros e com o mesmo material e carregamento serão praticamente iguais. Como o software foi utilizado com teoria de Von Mises utiliza-se a fórmula de coeficiente de segurança desta teoria:

$$Cs = \frac{\sigma_y}{\sigma'}$$

$$Cs = \frac{345}{317}$$

A tabela 14 faz referência ao coeficiente gerado via a simulação do SolidWorks:

Tabela 14: Coeficiente de segurança do método

Coeficiente de Segurança (Cs)	SolidWorks
1º Método	1,09

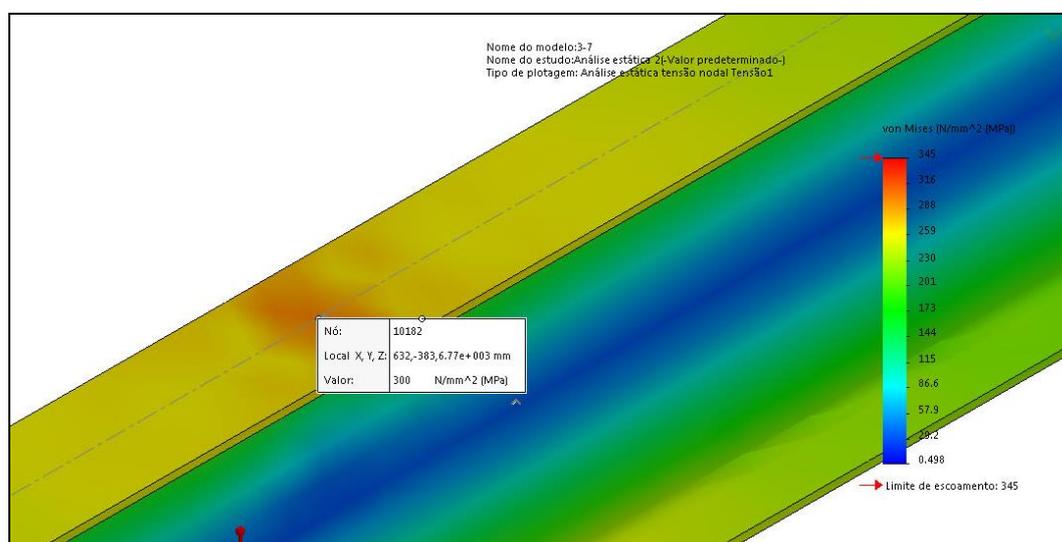
#### 4.1 Análise via Software SolidWorks para o método de junção parafusada

Da mesma forma que o método anterior, sabendo as condições já calculadas para esse tipo de junção, é modelado o perfil no software, exercendo suas características reais, como dimensões e tipo de material, como pode ser visto na figura 18:



**Figura 17:** Viga de 10 metros com as junções parafusadas por uma extremidade.

A figura 19 é a visualização do comportamento do método na simulação do Solidworks:



**Figura 19:** Simulação da viga de 10 metros com as junções parafusadas por uma extremidade.

Da mesma forma vista no método anterior da figura 16, dentro da análise os conceitos que o software utiliza para essa simulação são as condições das junções parafusadas, carga aplicada na viga de 81,7 KN e a carga referente ao peso próprio do material. Esse estudo como o outro não escoava novamente, regime elástico, mas a margem para um limite de segurança é bem próximo da ocorrência de escoamento do material, 345 MPa. A máxima tensão analisando as cores ficou localizada na cor laranja ao vermelho entre 300 a 345 MPa, essa margem de não entrar para o regime plástico pode ser considerada devido o software SolidWorks, não levar as considerações de forças horizontais

como já falado anteriormente, como a norma exige. Porém mesmo assim aproxima-se da tensão de escoamento do material, e da mesma forma como o método anterior, devido ser o tipo de junção parafusada, o software determina as condições nos conectores, detalhando as condições em cada parafuso.

$$Cs = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

$$Cs = \frac{345}{300}$$

A tabela 15 faz referência ao coeficiente gerado via a simulação do SolidWorks:

Tabela 15: Coeficiente de segurança do método.

Coeficiente de Segurança (Cs)	SolidWorks
2º Método	1,15

## CONCLUSÃO

O referente projeto, busca analisar possíveis formas de otimização para extensão da viga de uma ponte rolante, que almeja alterar o tamanho dimensional e sua capacidade de carga, dentro dos tramites legais da norma vigente. Dessa forma, os métodos levantados para essa análise, verifica-se qual a melhor hipótese de alteração sem que interfira as estabilidades mecânicas desta e garantindo segurança para seu processo de operação.

A princípio, as condições para o primeiro método, analisam a viga principal do equipamento ampliada em uma única extremidade com um tipo de ligação fixa, junção soldada. Já com a alteração designada, houve a intervenção de analisar o aumento de carga como solicitado, afim de averiguar as condições críticas de estado último do perfil, o que possibilitou analisar que dentro dessa condição, foi que no software Solidworks considerando critério de falha por Von Mises, o perfil atende à necessidade imposta, só que bem próxima das condições de falha, no qual o estudo levou em consideração as junções sendo rígidas, que assim apenas observou o dimensionamento das junções para saber quais são as forças cisalhantes máximas de cada junção.

No segundo método, as condições de alteração designada continuam a mesma já vista no primeiro método, porém altera-se o tipo de ligação, para junção parafusada, buscando diferentes reações de estado das junções, e acontece o mesmo caso da análise anterior, porém nessa simulação, o software SolidWorks designa-se a margem de condições de esmagamento e rasgamento dos parafusos, resultando o comportamento deles. Da mesma forma como no primeiro método, o perfil analisado no solidworks fica próximo da tensão de escoamento, sendo próximo das condições de falha, o que não é viável executar tais funções com considerações mínimas de segurança.

Comparando os coeficientes de seguranças impostos pelo software, não houve grande modificação, para rotular uma melhor adequação de junção, mas em comparação das forças de resistência devidamente calculadas pela norma NBR 8800:2008, a força

resistente de junções soldadas, mostrou-se bem mais significativa do que a carga aplicada, o que pode transparecer uma melhor opção.

## REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Regulamentadora **NR 11 - Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais. (2004).** Rio de Janeiro: ABNT. **Disponível em:**  
<[http://www.totalsegmg.com.br/downloads/leis\\_normas/006.pdf](http://www.totalsegmg.com.br/downloads/leis_normas/006.pdf). Acesso em 25 de maio 2017.

CORSINI, Rodnei. Infraestrutura. **Disponível em:**  
<[infraestruturaurbana.pini.com.br/soluções-tecnicas/37/ponte-rolante-308775-1.aspx](http://infraestruturaurbana.pini.com.br/soluções-tecnicas/37/ponte-rolante-308775-1.aspx) Acesso em 2 de abril de 2017.

GERDAU, Considerações para os Perfis do fabricante. **Disponível em:**  
<<http://www.soufer.com.br/arquivos/laminados/1.pdf> Acesso em 31 de outubro de 2017.

HOBBSAWM, Eric. **A era das revoluções.** Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1972.

PFEIL, Walter. **Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a Norma 8800:2008,** 8ª Edição, 2009.