



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS  
CURSO DE INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JOSÉ DE ANCHIETA MARCELINO DE SOUZA

**LIGAÇÕES PARAFUSADAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS E O  
COMPORTAMENTO DOS ESFORÇOS – UM ESTUDO NA LITERATURA**

ANGICOS

2022



JOSÉ DE ANCHIETA MARCELINO DE SOUZA

**LIGAÇÕES PARAFUSADAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS E O  
COMPORTAMENTO DOS ESFORÇOS – UM ESTUDO NA LITERATURA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marcilene Vieira da Nóbrega

ANGICOS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S725l Souza, José de Anchieta Marcelino de.  
Ligações parafusadas em estruturas metálicas e  
o comportamento dos esforços ? um estudo na  
literatura / José de Anchieta Marcelino de Souza.  
- 2022.  
46 f. : il.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e  
Tecnologia, 2022.

1. Parafusos comuns. 2. Parafusos de alta  
resistência. 3. Estruturas metálicas. 4. Tração.  
5. Cisalhamento. I. Nóbrega, Marcilene Vieira da ,  
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos  
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte  
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JOSÉ DE ANCHIETA MARCELINO DE SOUZA

**LIGAÇÕES PARAFUSADAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS E O  
COMPORTAMENTO DOS ESFORÇOS – UM ESTUDO NA LITERATURA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 23/11/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Marcilene Vieira da Nóbrega, Prof(a). Dra. (UFERSA/ANGICOS)  
Presidente

---

Igor José Nascimento de Medeiros, Prof. Me. (UFERSA/ANGICOS)  
Membro Examinador Interno

---

Wendell Rossine Medeiros de Souza, Prof. Dr. (UFERSA/ANGICOS)  
Membro Examinador Interno

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a minha orientadora Prof<sup>a</sup> Dra. Marcilene Viera da Nóbrega, pelo permanente apoio e disponibilidade demonstrada.

Agradeço, de uma forma geral, a todos os Professores que fizeram parte do meu percurso ao longo do Curso de Ciência e Tecnologia, que direta ou indiretamente contribuíram para o meu percurso acadêmico e me transmitiram um recurso valioso: o conhecimento.

Agradeço a minha esposa e fiel companheira Lais por estar ao meu lado me apoiando e incentivando a todo momento a trilhar meu trajeto acadêmico.

Aos meus amigos Alex Muller, Matheus Delgado e Daiana um muito obrigado por terem me acompanhado ao longo dos últimos anos.

Finalizo com um sublime agradecimento a quem sempre acreditou e tornou isto capaz: ao meu pai e minha mãe, meus maiores exemplos.

Não existe triunfo sem perda, não há vitória  
sem sofrimento, não há liberdade sem  
sacrifício.

(J. R. R. Tolkien)

## RESUMO

Mesmo que nas estruturas metálicas seja constante o uso de ligações soldadas e ligações parafusadas, estas são mais populares no meio pela sua facilidade de produção e montagem em obra. Com o propósito de entender e descrever os parafusos utilizados como conectores estruturais em estruturas metálicas e como se comportam teoricamente quando expostos a cargas, o presente trabalho através de estudo na literatura, busca entender o comportamento das ligações parafusadas em estruturas metálicas realizando um estudo teórico sobre os conceitos que envolvem os conectores estruturais, em particular os parafusos. Também será feito um estudo levantando pesquisas que tentem entender e melhorar o comportamento de tais ligações. Os resultados apontam discussões sobre trabalhos realizados ao redor do tema estudado, buscando relacionar o tipo de ligação estrutural por parafusos em diferentes âmbitos. Ao final é-se levado a acreditar que as ligações parafusadas são as mais buscadas pela sua facilidade de produção, execução e montagem em campo.

**Palavras-chave:** Parafusos comuns. Parafusos de alta resistência. Estruturas metálicas. Tração. Cisalhamento.



## LISTA DE FIGURAS

|           |   |                                                                                                                                                  |    |
|-----------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | – | Corpo submetido a um sistema de forças externas em equilíbrio.....                                                                               | 17 |
| Figura 2  | – | Da esquerda para a direita: um corpo sob ação de forças externas com seção indicada e esforços internos contrários às forças $F_1$ e $F_2$ ..... | 18 |
| Figura 3  | – | Tensão normal causada por uma força $P$ e seção $A$ demonstrando reações internas.....                                                           | 18 |
| Figura 4  | – | Tensão de cisalhamento causada por uma força $P$ provocando o corte em um corpo.....                                                             | 19 |
| Figura 5  | – | Parafuso rompido por solicitação à tensão de tração e cisalhamento respectivamente.....                                                          | 19 |
| Figura 6  | – | Possíveis modos de falha em conexões parafusadas.....                                                                                            | 20 |
| Figura 7  | – | Fluxo de carga em uma estrutura.....                                                                                                             | 22 |
| Figura 8  | – | Componentes estruturais típicos de um edifício.....                                                                                              | 23 |
| Figura 9  | – | Parafuso de cabeça e porca sextavada com rosca parcial.....                                                                                      | 24 |
| Figura 10 | – | Tipos de cabeças de parafusos.....                                                                                                               | 25 |
| Figura 11 | – | Parafusos ASTM A307 com rosca parcial.....                                                                                                       | 26 |
| Figura 12 | – | Parafuso ASTM A490 galvanizado.....                                                                                                              | 29 |
| Figura 13 | – | Da esquerda para a direita: modelo ensaiado experimentalmente e modelo analisado numericamente.....                                              | 31 |
| Figura 14 | – | Da esquerda para a direita: modelo ensaiado experimentalmente e modelo analisado numericamente e suas respectivas vistas laterais.....           | 32 |
| Figura 15 | – | Tipos de parafusos ensaiados.....                                                                                                                | 37 |
| Figura 16 | – | Parafusos e plano de corte.....                                                                                                                  | 39 |
| Figura 17 | – | Mistura de ligações.....                                                                                                                         | 40 |
| Figura 18 | – | Deslocamentos verticais VREF.....                                                                                                                | 41 |
| Figura 19 | – | Deslocamentos verticais V1L.....                                                                                                                 | 42 |
| Figura 20 | – | Deslocamentos verticais V3L.....                                                                                                                 | 42 |

## **LISTA DE TABELAS**

|          |                                                                                          |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 | – Fases na construção de uma estrutura metálica e seus possíveis custos percentuais..... | 23 |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE QUADROS

|          |                                                                                                            |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 | – Comparação entre análises do modelo 1F-A-L50-E18.....                                                    | 32 |
| Quadro 2 | – Comparação entre análises do modelo 2F-A-L50-E60.....                                                    | 32 |
| Quadro 3 | – Dados geométricos, nomenclatura e alguns outros dados dos modelos em estudos de casos, para um furo..... | 33 |
| Quadro 4 | – Dados geométricos, nomenclatura e alguns outros dados dos modelos em estudos de casos, austenítico.....  | 35 |
| Quadro 5 | – Dados geométricos, nomenclatura e alguns outros dados dos modelos em estudos de casos, ferrítico.....    | 36 |
| Quadro 6 | – Resultados da resistência ao corte em parafusos correntes (corte na rosca)....                           | 38 |
| Quadro 7 | – Resultados da resistência ao corte em parafusos correntes (corte no liso).....                           | 39 |
| Quadro 8 | – Resultados da resistência ao corte em parafusos de pré-esforço.....                                      | 38 |

## **LISTA DE GRÁFICOS**

|           |                                                                                |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 | – Carga versus deslocamento dos estudos de caso austenítico com um furo.....   | 34 |
| Gráfico 2 | – Carga versus deslocamento dos estudos de caso ferrítico com um furo.....     | 34 |
| Gráfico 3 | – Carga versus deslocamento dos estudos de caso com dois furos, austenítico... | 35 |
| Gráfico 4 | – Carga versus deslocamento dos estudos de caso com dois furos, ferrítico..... | 36 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |                                                   |
|--------|---------------------------------------------------|
| ASTM   | <i>American Society for Testing and Materials</i> |
| ABNT   | Associação Brasileira de Normas Técnicas          |
| EN     | <i>Eurocode</i>                                   |
| NBR    | Norma Brasileira Regulamentadora                  |
| UFERSA | Universidade Federal Rural do Semiárido           |

## SUMÁRIO

|          |                                         |           |
|----------|-----------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                 | <b>15</b> |
| 1.1      | Objetivos.....                          | 16        |
| 1.1.1    | Objetivo geral.....                     | 16        |
| 1.1.2    | Objetivos específicos.....              | 16        |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>      | <b>17</b> |
| 2.1      | Esforços solicitantes .....             | 17        |
| 2.1.1    | Esforços solicitantes em parafusos..... | 19        |
| 2.1.1.1  | Tração.....                             | 20        |
| 2.1.1.2  | Cisalhamento.....                       | 21        |
| 2.2      | Estruturas metálicas .....              | 21        |
| 2.3      | Conectores estruturais .....            | 24        |
| 2.4      | Parafusos .....                         | 24        |
| 2.4.1    | Classificação .....                     | 25        |
| 2.4.2    | Parafuso comum .....                    | 26        |
| 2.4.3    | Parafuso de alta resistência .....      | 27        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA DA PESQUISA .....</b>    | <b>30</b> |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>    | <b>31</b> |
| 4.1      | Batista (2018).....                     | 31        |
| 4.2      | Sousa (2013).....                       | 37        |
| 4.3      | Peixoto (2012).....                     | 39        |
| 4.4      | Pereira <i>et al</i> (2015).....        | 40        |
| 4.5      | Silva <i>et al</i> (2021).....          | 43        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>        | <b>44</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                | <b>45</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Estrutura metálica é um tipo de suporte utilizado na construção civil constituída por materiais metálicos, principalmente o aço. Pinheiro (2005) retrata que as estruturas metálicas têm indicadores de sua utilização em escala industrial no ano de 1750 e deu-se início a sua fabricação no Brasil no ano de 1812. A partir da implantação das grandes siderúrgicas, como a Companhia Siderúrgica Nacional, obteve-se um grande avanço na fabricação de perfis em larga escala.

Os dispositivos de ligação são de extrema importância para as estruturas, eles estão intrinsicamente ligados ao comportamento estrutural, pois são os responsáveis por vincular e transmitir os esforços entre os elementos da edificação. Segundo Sousa (2013), pode-se entender que nas estruturas metálicas, o termo ligação é utilizado a todos os detalhes construtivos que propiciam a junção de partes da estrutura dita, ou a junção da estrutura à elementos externos a ela.

Os parafusos por sua vez é uma das opções mais utilizadas para cumprir o papel citado anteriormente, pois propiciam mais rapidez nas ligações em campo, economia em relação ao consumo de energia, quantidade reduzida de profissionais não muito qualificados e melhor resposta às tensões de fadiga (BELLEI, 1998).

Nesse contexto, ou seja, no estudo de ligação em estruturas por meio de parafusos, é que o presente trabalho se insere, abordando os conceitos baseado em trabalhos realizados acerca do tema e das normas ASTM A307, ASTM A490 e NBR 8800 buscando evidenciar os seguintes aspectos:

- Tipos de parafusos estruturais. Nessa abordagem são discutidas as seguintes individualidades relacionadas a esses componentes: são apresentados as classificações, especificações, esforços sofridos por cada tipo, reutilização de parafusos, tratamento superficial.
- Discussão a respeito de trabalhos em que estão inseridos este tipo de conector. Nessa perspectiva são apresentados trabalhos envolvendo estudos experimentais, comparativos e estudos de literatura que foram julgados importantes.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Pretende-se com este trabalho realizar um estudo na literatura buscando entender o comportamento das ligações parafusadas em estruturas metálicas.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Realizar um estudo teórico sobre os conceitos que envolvem conectores estruturais.
- Entender e descrever os parafusos utilizados como conectores estruturais em estruturas metálicas.
- Estudar os esforços atuantes nos parafusos e sua ligação com o comportamento do conector.
- Fazer um levantamento sobre pesquisas que estudaram esse tipo de conector e suas melhorias.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

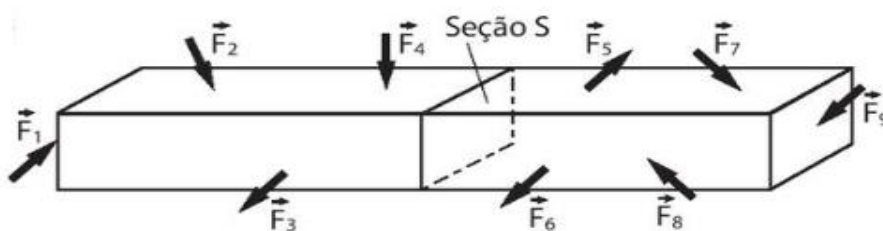
### 2.1 Esforços solicitantes

Em regra, todo corpo deformável exposto a cargas externas cria relações com as forças que reagem no seu interior, a resistência dos materiais é o ramo da mecânica que estuda essas relações. Para cada ação haverá sempre uma reação de sentido oposto com igual intensidade; ou as ações mútuas de dois corpos uns sobre os outros são sempre iguais e dirigidos a partes opostas (Newton, 1686).

A relação de um corpo com os corpos que o rodeiam e que se encontram fora dos seus limites se caracteriza pelas forças externas. Hibeller (2010) entende que um corpo pode ser submetido a vários tipos de cargas externas; todavia, qualquer uma delas pode ser classificada como uma força de superfície ou uma força de corpo.

O conjunto das forças externas é constituído pelas forças aplicadas, ditas forças ativas, e pelas forças reativas. Para Leggerini (2007) as cargas externas ativas são a razão de ser de uma estrutura, e complementa, forças externas podem ser de superfície, quando há contato direto entre os corpos, e de volume, quando não há contato direto entre os corpos (ação remota).

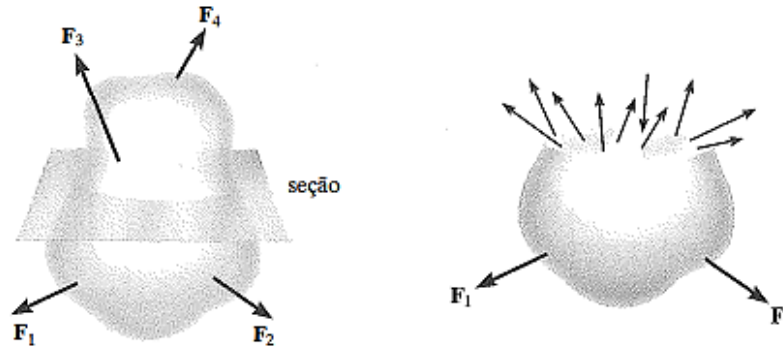
**Figura 1** – Corpo submetido a um sistema de forças externas em equilíbrio.



**Fonte:** Adaptada de Almeida, 2009.

Segundo Almeida (2009), pode-se entender que a ação da gravidade sobre os corpos é uma força de volume e que muitas vezes é considerada concentrada no centro de gravidade de cada corpo analisado. O equilíbrio exige que estas forças externas formem um sistema em equilíbrio. As forças internas é o que permite a interação entre as partes do corpo em análise e todas as seções contíguas de um corpo submetido à ação de um sistema de forças estão sujeitas a essas.

**Figura 2** – Da esquerda para a direita: um corpo sob ação de forças externas com seção indicada e esforços internos contrários às forças  $F_1$  e  $F_2$ .

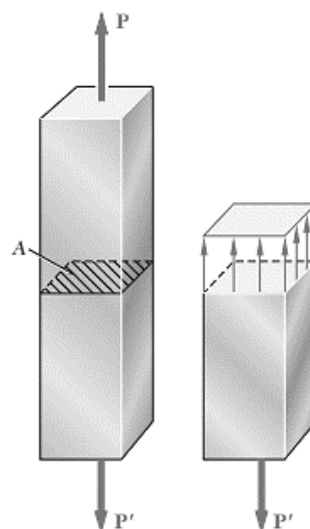


**Fonte:** Adaptado de Hibbeler, 2010.

Segundo Beer (2011) pode-se entender que uma força axial pode produzir tensões de cisalhamento e tensões normais dependendo da seção considerada e pode-se conceituar tensão como sendo a força por unidade de área, ou intensidade das forças distribuídas sobre uma determinada seção.

Gere (2003) conceitua tensão normal como sendo uma força axial direcionada ao longo do eixo do membro que pode resultar em tração ou compressão da mesma.

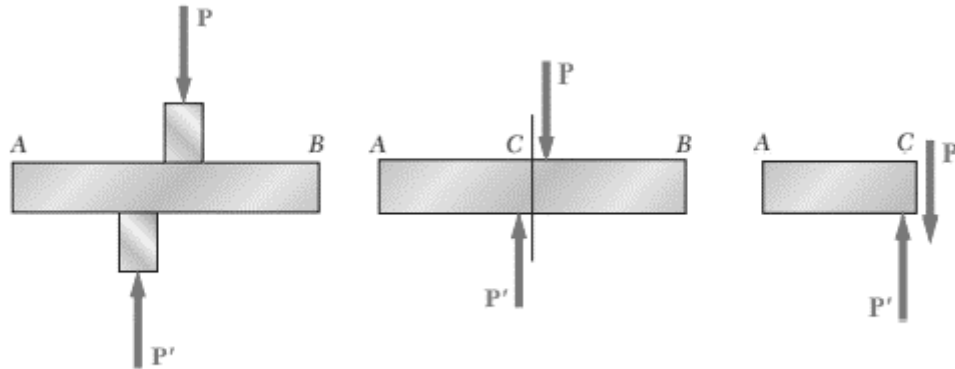
**Figura 3** – Tensão normal causada por uma força  $P$  e seção  $A$  demonstrando reações internas.



**Fonte:** Adaptada de Beer, 2011.

Para entender um pouco sobre a tensão de cisalhamento, Hibbeler (2010) explica que a força de cisalhamento ocorre quando cargas externas a um corpo tendem a provocar deslizamento de um dos segmentos do corpo sobre o outro.

**Figura 4** – Tensão de cisalhamento causada por uma força  $P$  provocando o corte em um corpo.



**Fonte:** Adaptada de Beer, 2011.

### 2.1.1 Esforços solicitantes em parafusos

Quando se trata de conexões em estruturas metálicas por parafusos, pode-se desprezar a flexão nos conectores devido ao caráter estrutural. Valenciani (1997) explana que para o caso de parafusos apresenta-se o comportamento destes sob solicitação de tração, cortante e dos dois esforços combinados. Todavia, quando a relação comprimento/diâmetro do parafuso é grande, a flexão pode ser determinante.

**Figura 5** – Parafuso rompido por solicitação à tensão de tração e cisalhamento respectivamente.

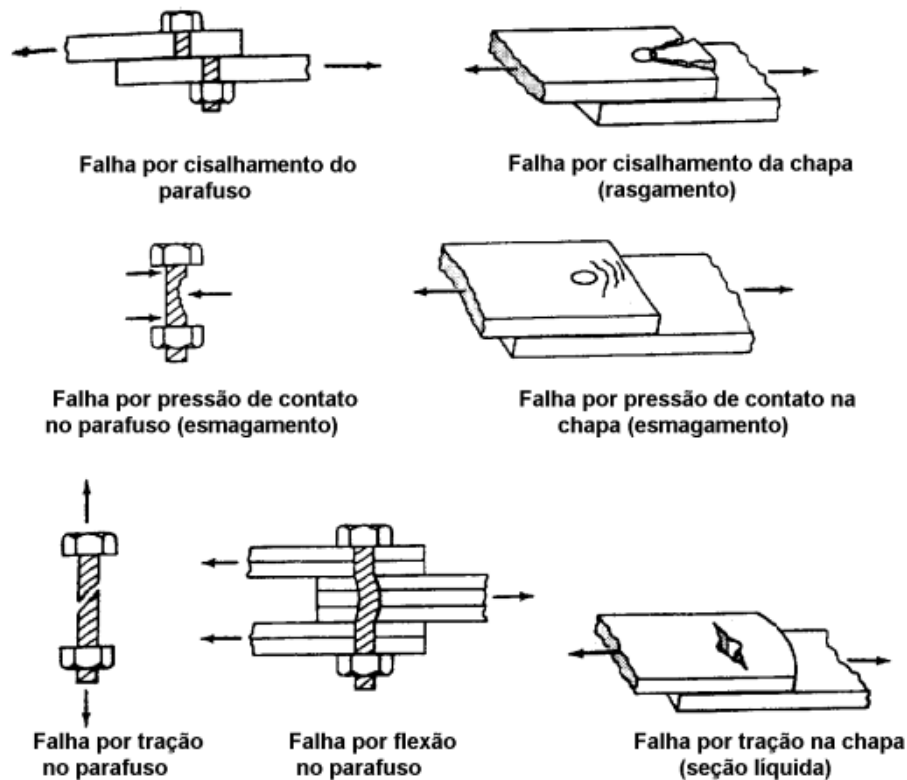


**Fonte:** ENSUS, 2016.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Disponível em <[www.ensus.com.br/analise-de-tensoes/](http://www.ensus.com.br/analise-de-tensoes/)>

Os possíveis estados limites últimos ou modos de falha que podem controlar a resistência de uma conexão parafusada é ilustrado por Salmon, Johnson e Malhas (2009) em seu livro.

**Figura 6** - Possíveis modos de falha em conexões parafusadas.



**Fonte:** Adaptada de Salmon, Johnson e Malhas, 2011.

Segundo a NBR 8800, as forças resistentes à tração e cisalhamento de cálculo de um parafuso são dadas pelas seguintes expressões:

#### 2.1.1.1 Tração

$$F_{t,Rd} = \frac{A_{be} f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

onde:  $f_{ub}$  é a resistência à ruptura do material do parafuso à tração e  $A_{be}$  é a área efetiva.

### 2.1.1.2 Cisalhamento

Para parafusos de alta resistência, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

E para parafusos de alta resistência, quando o plano de corte não passa pela rosca.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

onde:  $A_b$  é a área bruta.

## 2.2 Estruturas metálicas

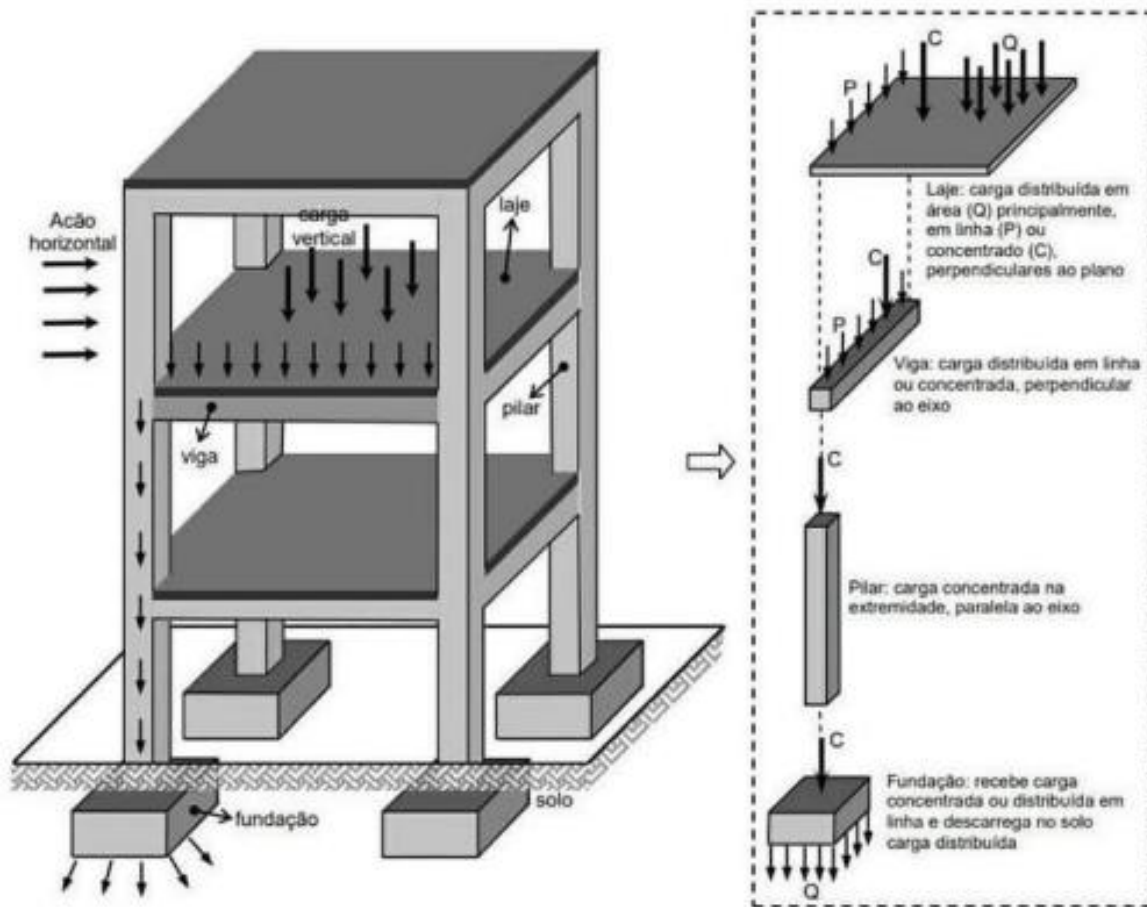
Para Dias (2006), estrutura é a parte ou o conjunto das partes de uma construção que se destina a resistir cargas. Cada parte portante da construção, também denominada elemento estrutural, deve resistir aos esforços incidentes e transmiti-los a outros elementos através dos vínculos que os unem, com a finalidade de conduzi-los ao solo.

Inaba (2016, p.1) afirma que:

Desde o século XVIII, quando se iniciou a utilização das estruturas metálicas na construção civil até os dias atuais, o aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, eficientes e de alta qualidade. Das primeiras obras, aos modernos edifícios que se multiplicaram pelas grandes cidades, a arquitetura em aço sempre esteve associada à ideia de modernidade, inovação e vanguarda, traduzida em obras de grande expressão arquitetônica e que invariavelmente traziam o aço aparente. No entanto, as vantagens da utilização de sistemas construtivos em aço vão muito além da linguagem estética de expressão marcante. Redução do tempo de construção, racionalização no uso de materiais e mão de obra e aumento da produtividade passaram a ser fatores-chave para o sucesso de qualquer empreendimento.

As estruturas são compostas por peças denominadas de elementos estruturais que geralmente têm uma ou duas dimensões predominantes sobre as demais (vigas, lajes, pilares etc.). Denomina-se o conjunto de elementos estruturais de sistema estrutural.

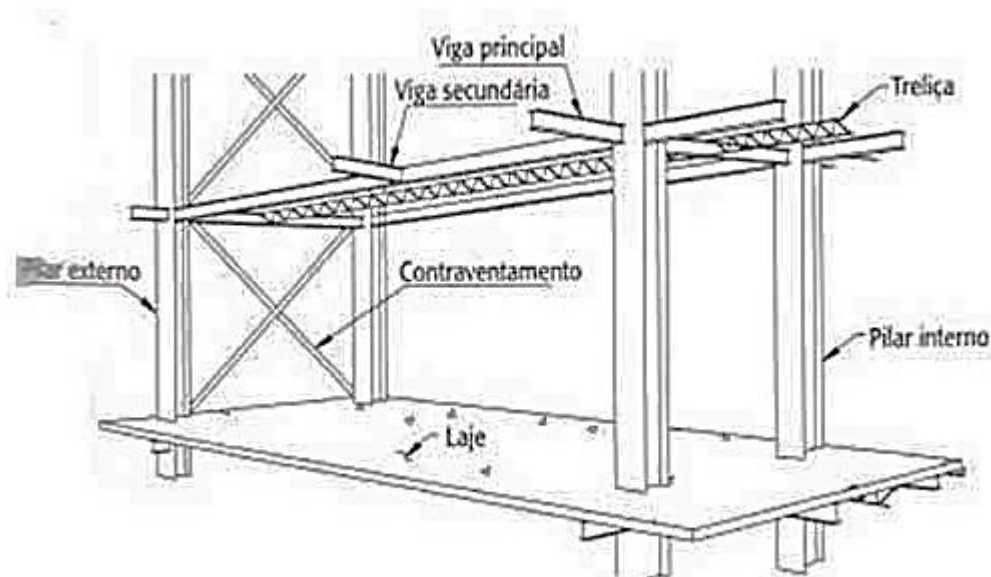
**Figura 7** – Fluxo de carga em uma estrutura.



**Fonte:** Freitas, 2016.

Dentre as opções de estruturas possíveis, temos as estruturas metálicas que apresentam algumas vantagens em relação a outras. Júnior *et al.* (2022) comparou as estruturas de concreto armado frente às estruturas metálicas, e como vantagens dessas, pode-se citar: melhor controle, confiabilidade e padronização do desempenho de cada peça, padrão de acabamento uniforme, capacidade de peças mais esbeltas devido ao seu módulo de elasticidade, vãos maiores. Dentre as desvantagens tem-se: mão de obra qualificada, vulnerável durante fortes ventos, pode gerar ruídos devido às vibrações e suscetibilidade a corrosão.

**Figura 8** – Componentes estruturais típicos de um edifício.



**Fonte:** Portal Metalica, 2021.<sup>2</sup>

Uma pequena desvantagem do aço carbono é a sua suscetibilidade à corrosão, o que requer que eles sejam cobertos com uma camada de tinta ou seja empregado outro método de proteção.

Bellei (1998) exalta que é possível ranquear uma ordem influenciadora no custo de uma estrutura metálica, dentre sua seleção tem-se: projeto e detalhe das conexões, processo a ser usado na fabricação, especificações para fabricação e montagem, sistema a ser usado na montagem.

**Tabela 1** – Fases na construção de uma estrutura metálica e seus possíveis custos percentuais.

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| Projeto estrutural | 1% a 3%   |
| Detalhamento       | 2% a 6%   |
| Material e insumos | 20% a 50% |
| Fabricação         | 20% a 40% |
| Limpeza e pintura  | 10% a 25% |
| Transporte         | 1% a 3%   |
| Montagem           | 20% a 35% |

**Fonte:** Bellei, 1998.

<sup>2</sup> Disponível em: <https://metalica.com.br/arquitetura-e-aco-estudo-dos-condicionantes-para-projeto-arquitetonico-integrado-4/>

Em seu blog, a Ciser (2019), retrata 7 passos para uma montagem de estruturas metálicas com segurança e qualidade. São elas: planejamento da montagem; transporte seguro dos materiais de montagem; armazenamento adequado dos materiais e estruturas; equipamentos de segurança e proteção; escolha dos fixadores para montagem; aplicação dos fixadores; tolerância, estabilidade e manutenção.

## 2.3 Conectores estruturais

Para Valenciani (1997), as estruturas metálicas apresentam características que as tornam únicas quando comparadas a outros tipos de estruturas. Apresentando grande importância nesse quesito estão as ligações que unem os elementos estruturais que as formam.

De uma maneira geral, essas ligações por conectores são divididas em: solda, rebites, barras roscadas, parafusos comuns e parafusos de alta resistência.

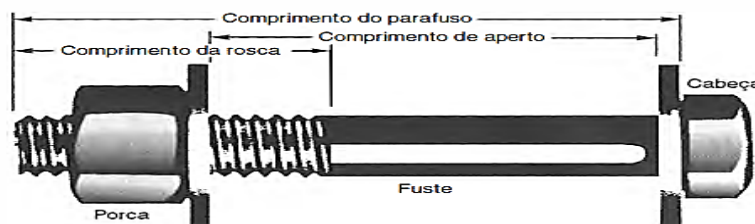
Os parafusos são uma das formas apresentadas mais utilizadas para cumprir essa tarefa de unir, transmitir esforços e garantir que uma estrutura não venha a colapsar. Portanto nessa primeira parte do trabalho, falaremos sobre parafusos.

## 2.4 Parafusos

Em seu livro, Pfeil (2009) explica que parafusos são elementos de fixação empregados na união não permanente de peças, ou seja, podem ser montadas e desmontadas facilmente apenas apertando ou desapertando-os.

Em geral, o parafuso é composto por duas partes: cabeça e corpo. Na Figura 01 tem-se a ilustração de um parafuso com cabeça sextavada e um corpo dividido em fuste e rosca.

**Figura 9** – Parafuso de cabeça e porca sextavada com rosca parcial.



**Fonte:** Pfeil, W. 2009.



### 2.4.1 Classificação

De uma forma geral, o parafuso é uma peça metálica ou fabricada em material duro de formato cônico ou cilíndrico, tendo seu corpo frisado em espiral (rosca) parcial ou totalmente ao longo do seu corpo e com base superior (Figura 02), ou seja, a cabeça do parafuso, adaptada a diferentes tipos de ferramentas auxiliaadoras na fixação dos mesmos.

**Figura 10** – Tipos de cabeças de parafusos.



**Fonte:** Adaptado de Indufix: Porcas e Parafusos.

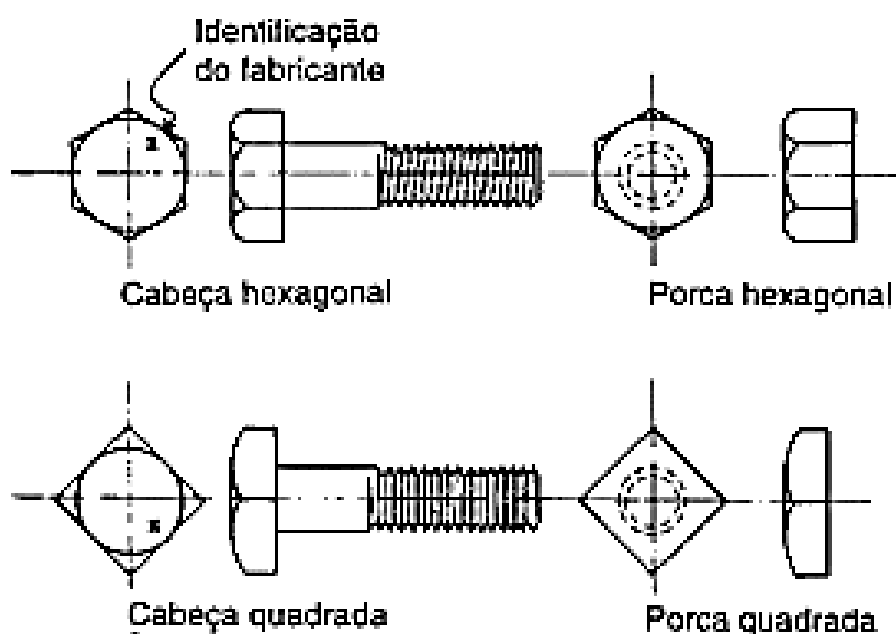
Tais peças são utilizadas na fixação de distintos tipos de material e superfícies (por ex.: madeira, alvenaria, estruturas metálicas etc.), portanto, o tipo de parafuso é escolhido de acordo com a necessidade e o local em que será utilizado. Este trabalho tratará sobre os tipos de

parafusos utilizados como elementos de fixação em estruturas metálicas. São eles: parafusos comuns e parafusos de alta resistência.

#### 2.4.2 Parafusos comuns

Em sua dissertação, Valenciani (1997) menciona que: à nível estrutural, o parafuso comum mais utilizado é o ASTM A307. São parafusos com baixo teor de carbono e com uma resistência mínima de 415 MPa. Na Figura 02 tem-se os formatos que os parafusos comuns podem ser encontrados no mercado: com cabeça quadrada ou comumente sextavada e ainda podem ter rosca parcial ou ao longo de todo seu corpo.

**Figura 11** – Parafusos ASTM A307 com rosca parcial.



FONTE: Bellei, 1998.

Segundo Kulak *et al.* (1987), pode-se entender que a única marca exigida pela Norma para fabricação de parafusos ASTM A307 é que o símbolo do fabricante seja exposto na cabeça do parafuso. Os parafusos ASTM A307 são produzidos com uma cabeça e porca hexagonal e ambos podem ser em metal regular ou pesado, dependendo do diâmetro do parafuso. Porcas não precisam ter a marcação do fabricante e os parafusos são produzidos num diâmetro entre 1/4 e 4 polegadas.

Além dos parafusos, a Norma ASTM A307 também rege sobre conectores como pregos e barras roscadas e de acordo com a mesma os parafusos A307 são indicados para uso geral e são classificados em três categorias de acordo com sua resistência a tração e intenção de uso. São elas:

- i) categoria A: parafusos e conectores com resistência mínima de 415 MPa com recomendação de uso geral.
- ii) categoria B: parafusos e conectores com resistência entre 415 MPa e 690 Mpa e recomendados para ligações em tubos flangeados onde uma ou ambas as flanges são de ferro fundido.
- iii) categoria C: parafusos não rosqueados para ancoragem estrutural com propriedades mecânicas conforme a norma ASTM A36, com resistência à tração entre 400 e 550 MPa.

Na prática, Kulak *et al.* (1987) ainda reforça:

Os parafusos ASTM A307 e porcas são apertados de maneira a impedir o movimento dos membros conectados na direção axial dos mesmos. Um aperto apropriado também previne que ocorra a perda da porca. Devido ao aperto dos parafusos ASTM A307 não serem feitos com auxílio de um medidor de força, a força real no parafuso não é controlada de perto, por isso, pode variar de parafuso para parafuso. Por causa das pequenas forças axiais no parafuso, pode ser que ocorra o desenvolvimento de atrito, e na maioria dos casos o parafuso irá rolar resultando em um esforço de cisalhamento e de contato em alguns pontos.

Pinheiro (2005) ainda ressalta que os parafusos ASTM A307 possuem um baixo custo, todavia, sua resistência também é pouca, e, por isso, seu uso de forma mais corrente se dá em pequenas treliças, plataformas simples, passadiços, terças, vigas de tapamento, estruturas leves etc.

De acordo com a NBR 8800:2008 pode-se entender que parafusos comuns são utilizados em ligações de peças a fim de proporcionar o contato entre elas, em outras palavras, devido ao aperto final não ser realizado com uma chave de torque, os parafusos comuns são mais requisitados na solicitação à tração do que na solicitação ao cisalhamento.

#### 2.4.3 Parafusos de alta resistência

Além dos parafusos comuns, há também os parafusos de alta resistência que segundo a Norma ASTM A325/A490 têm as seguintes especificações.

Parafusos ASTM A325: são parafusos de alta resistência para ligações com aço estrutural. São de aço de médio carbono tratados termicamente, com um limite de escoamento entre 560 e 630 MPa. Eles são indicados para uso geral em ligações estruturais e estão disponíveis em três tipos com diâmetros que variam entre 12,5 a 38 mm (1/2" a 1 1/2").

- i) tipo 1: aço de médio carbono com finalidades gerais de uso em elevadas temperaturas.
- ii) tipo 2: aço martensítico com baixo teor de carbono para finalidades gerais e aplicações à temperatura atmosférica.
- iii) tipo 3: parafusos com resistência elevada em relação à corrosão atmosférica.

Parafusos ASTM A490: são parafusos de alta resistência para ligações com aços estruturais. São de aço-liga tratado termicamente, tendo um limite de escoamento de aproximadamente 790 a 900 MPa.

Assim como os parafusos ASTM A325, os parafusos ASTM A490 também são disponíveis em três tipos com diâmetros variáveis entre 12,5 e 38 mm (1/2" a 1 1/2"). São eles:

- i) tipo 1: parafusos feitos com aço-liga, para aplicações em elevadas temperaturas.
- ii) tipo 2: parafusos feitos com aço martensita de baixo carbono com diâmetros que variam de 12,5 a 25 mm (1/2" a 1"), para aplicações à temperatura atmosférica.
- iii) tipo 3: parafusos de aço-liga, tendo resistência à corrosão atmosférica e características ao desgaste por intempéries comparáveis aos aços A242 ou A588.

De acordo com Valenciani (1998), os parafusos ASTM A490 não devem ser galvanizados a quente, e cuidados devem ser tomados para seu uso em ambientes corrosivos e completa que em casos que necessitem de parafusos com diâmetros maiores dos que os disponíveis nos parafusos ASTM A325 e ASTM A490, pode-se fazer uso do parafuso ASTM A449 que são parafusos de aço carbono temperado, disponíveis com e sem cabeça, podendo ser galvanizado a quente e são utilizados ocasionalmente para diâmetros acima de 38 até 76 mm (1 1/2" até 3").

Assim como os parafusos ASTM A307, os parafusos ASTM A325/A490 devem ser marcados com a identificação do fabricante. Os parafusos do tipo 1 e tipo 3 acompanham a marcação A 490 e A 490 respectivamente.

**Figura 12:** Parafuso ASTM A490 galvanizado.



**Fonte:** ARSPARAFUSOS, 2022.<sup>3</sup>

A NBR 8800 (2008) determina que os parafusos A490 e os parafusos A325 galvanizados não podem ser reutilizados. Os demais parafusos A325 podem vir a ser reutilizados uma vez, mediante aprovação do engenheiro responsável pelo projeto.

De acordo com a NBR 8800 (2008), pode-se entender que parafusos de alta resistência são utilizados em ligações de peças a fim de proporcionar o atrito entre elas, em outras palavras, de maneira geral, devido ao aperto final ser realizado com uma chave de torque, os parafusos de alta resistência são mais requisitados na solicitação ao cisalhamento do que no esforço à tração.

---

<sup>3</sup> Disponível em [www.arsparafusos.com.br](http://www.arsparafusos.com.br)

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia de elaboração para o presente trabalho consiste em uma pesquisa descritiva de caráter bibliográfico, com um estudo na literatura de natureza qualitativa, tendo como base de pesquisa artigos, livros, dissertações e normas regulamentadoras publicados em bases de pesquisas como: Google Acadêmico, *Scielo*, *Biblioteca Virtual* e acervo da UFERSA. Como critério de pesquisa, foram buscadas monografias, TCCs, artigos no período dos últimos 10 anos por meio das palavras chaves de forma combinada ou isolada: parafusos, estruturas metálicas, elementos de fixação em estruturas metálicas, parafusos comuns, parafusos de alta resistência, ligações parafusadas e assim foram selecionados os artigos nos quais os assuntos mais se adequavam ao objetivo desta pesquisa.

De acordo com Hymann (1967), uma pesquisa é caracterizada como descritiva quando descreve um fenômeno e registra a maneira que ocorre. Mascarenhas (2018) complementa que a pesquisa descritiva objetiva apresentar as características de uma população ou fenômeno, além de identificar se há relação entre as variáveis analisadas.

Para Gil (2002), por pesquisa bibliográfica entende-se a leitura, a análise e a interpretação de materiais, como livros, periódicos, teses, artigos, entre outros. Para o pesquisador que opta pela pesquisa bibliográfica, os materiais de referência são aqueles que têm por objetivo possibilitar a rápida obtenção das informações requeridas, ou, então, a localização das obras que as contêm.

Esta pesquisa foi estruturada com as seguintes etapas: definição do tema, busca das publicações nas plataformas definidas, análise das informações relevantes para o estudo e apresentação dos resultados obtidos através de cinco trabalhos mostrando seus objetivos, metodologia e conclusões advindas de seus estudos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este tópico buscará através de alguns trabalhos em um período de até dez anos atrás demonstrar um pouco acerca do tema abordado até aqui, ou seja, será apresentado o objetivo, metodologia e uma breve conclusão que cada pesquisa conseguiu chegar ao analisar os dados e informações obtidas.

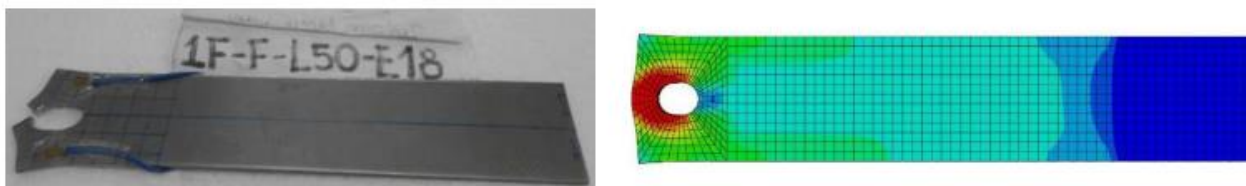
### 4.1 Batista (2018).

Em sua dissertação, nomeada “Estudo experimental e numérico de ligações aparafusadas em aço inoxidável submetidas à tração”, buscou-se avaliar o desempenho estrutural de ligações aparafusadas com modos distintos de falha estrutural. Tais ligações foram construídas em chapas de aço inoxidável do tipo austenítico e ferrítico. Sendo submetidas a esforços de tração por meio de ensaios experimentais e simulações numéricas com auxílio do software Abaqus CAE.

Com a finalidade de atingir os objetivos citados anteriormente, foi utilizado da metodologia de um estudo experimental através de ensaios simulados por meio de modelos numéricos, baseado no método dos elementos finitos, utilizando o programa Abaqus CAE. Também fora realizado um estudo paramétrico baseado em estudos feitos por Salih *et al.* e abordando os métodos teóricos de dimensionamento de estrutura em aço inoxidável baseado em analogias da EN1993-1-4.

Em seu estudo, Batista (2018) compara alguns modelos como mostra a Figura 13 e Figura 14. O Quadro 01 e o Quadro 02 exibem os valores na análise experimental e também em análise numérica.

**Figura 13** – Da esquerda para a direita: modelo ensaiado experimentalmente e modelo analisado numericamente.

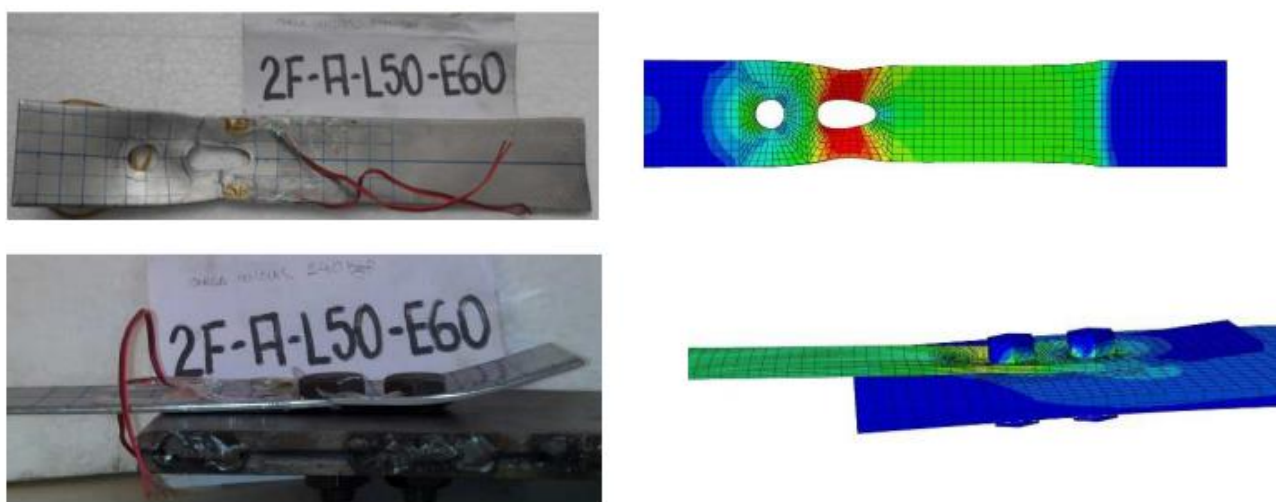


**Fonte:** Batista, 2018.

**Quadro 1** – Comparação entre análises do modelo 1F-A-L50-E18.

| Modelo       | Análise experimental |                       | Análise numérica |                       | Dif,Fu [%] | Modo da Ruptura    |
|--------------|----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------|--------------------|
|              | $F_{u,exp}$ [kN]     | $\delta_{u,exp}$ [mm] | $F_{u,exp}$ [kN] | $\delta_{u,exp}$ [mm] |            |                    |
| 1F-A-L50-E18 | 50,31                | 15,51                 | 52,24            | 18,42                 | 3,83       | Modo B - s/Curling |

Fonte: Batista, 2018.

**Figura 14** – Da esquerda para a direita: modelo ensaiado experimentalmente e modelo analisado numericamente e suas respectivas vistas laterais.

Fonte: Batista, 2018.

**Quadro 2** – Comparação entre análises do modelo 2F-A-L50-E60.

| Modelo       | Análise experimental |                       | Análise numérica |                       | Dif,Fu [%] | Modo da Ruptura    |
|--------------|----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------|--------------------|
|              | $F_{u,exp}$ [kN]     | $\delta_{u,exp}$ [mm] | $F_{u,exp}$ [kN] | $\delta_{u,exp}$ [mm] |            |                    |
| 2F-A-L50-E60 | 90,04                | 34,87                 | 86,01            | 29,49                 | 4,47       | Modo A - s/Curling |

Fonte: Batista, 2018.

Em seu estudo paramétrico, Batista (2018) ainda apresenta mais modelos computacionais como recomendado nos estudos em que foi inspirado. Foram elaborados mais modelos com valores diferentes de largura (L) e distância final entre a borda e o furo ( $e_1$ ) que



serão divididas entre tipo de material (aço inoxidável austenítico ou ferrítico) e ligação aparafusada com um ou dois furos, totalizando 38 modelos a mais do que os ensaiados em laboratórios.

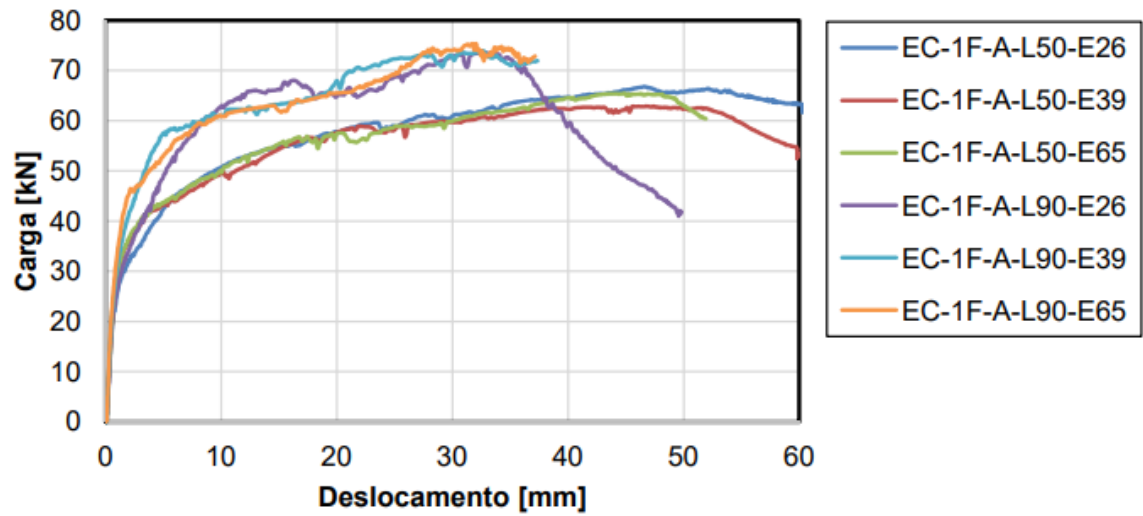
A seguir tabelas e gráficos que apresentam os resultados das cargas máximas e seus respectivos deslocamentos para as análises numéricas de cada estudo e gráficos com cargas x deslocamentos dos estudos de caso.

**Quadro 3** - Dados geométricos, nomenclatura e alguns outros dados dos modelos em estudos de casos, para um furo.

|             | L<br>[mm] | e <sub>1</sub><br>[mm] | A <sub>net</sub><br>[mm <sup>2</sup> ] | Modelos         | Análise<br>Numérica        |                            | EC3<br>N <sub>t,Rd</sub><br>[kN] | Média<br>entre<br>F <sub>u</sub> e N <sub>t</sub><br>[kN] | Desvio<br>padrão |
|-------------|-----------|------------------------|----------------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------|
|             |           |                        |                                        |                 | F <sub>u,num</sub><br>[kN] | δ <sub>u,num</sub><br>[mm] |                                  |                                                           |                  |
| AUSTENÍTICO | 50        | 26                     | 111                                    | EC-1F-A-L50-E26 | 66,81                      | 46,60                      | 40,84                            | 53,83                                                     | 5,05             |
|             | 50        | 39                     | 111                                    | EC-1F-A-L50-E39 | 62,90                      | 46,88                      | 59,84                            | 61,37                                                     |                  |
|             | 50        | 65                     | 111                                    | EC-1F-A-L50-E65 | 65,40                      | 44,90                      | 59,84                            | 62,62                                                     |                  |
|             | 90        | 26                     | 231                                    | EC-1F-A-L90-E26 | 73,56                      | 32,94                      | 40,84                            | 57,20                                                     |                  |
|             | 90        | 39                     | 231                                    | EC-1F-A-L90-E39 | 70,28                      | 22,13                      | 59,84                            | 65,06                                                     |                  |
|             | 90        | 65                     | 231                                    | EC-1F-A-L90-E65 | 75,28                      | 31,75                      | 59,84                            | 67,56                                                     |                  |
| FERRÍTICO   | 50        | 26                     | 111                                    | EC-1F-F-L50-E26 | 38,42                      | 6,75                       | 26,55                            | 32,49                                                     | 4,27             |
|             | 50        | 39                     | 111                                    | EC-1F-F-L50-E39 | 40,10                      | 3,33                       | 39,82                            | 39,96                                                     |                  |
|             | 50        | 65                     | 111                                    | EC-1F-F-L50-E65 | 39,81                      | 3,16                       | 33,34                            | 36,58                                                     |                  |
|             | 90        | 26                     | 231                                    | EC-1F-F-L90-E26 | 40,53                      | 10,28                      | 26,55                            | 33,54                                                     |                  |
|             | 90        | 39                     | 231                                    | EC-1F-F-L90-E39 | 47,19                      | 2,20                       | 39,82                            | 43,51                                                     |                  |
|             | 90        | 65                     | 231                                    | EC-1F-F-L90-E65 | 47,18                      | 2,21                       | 33,34                            | 40,26                                                     |                  |

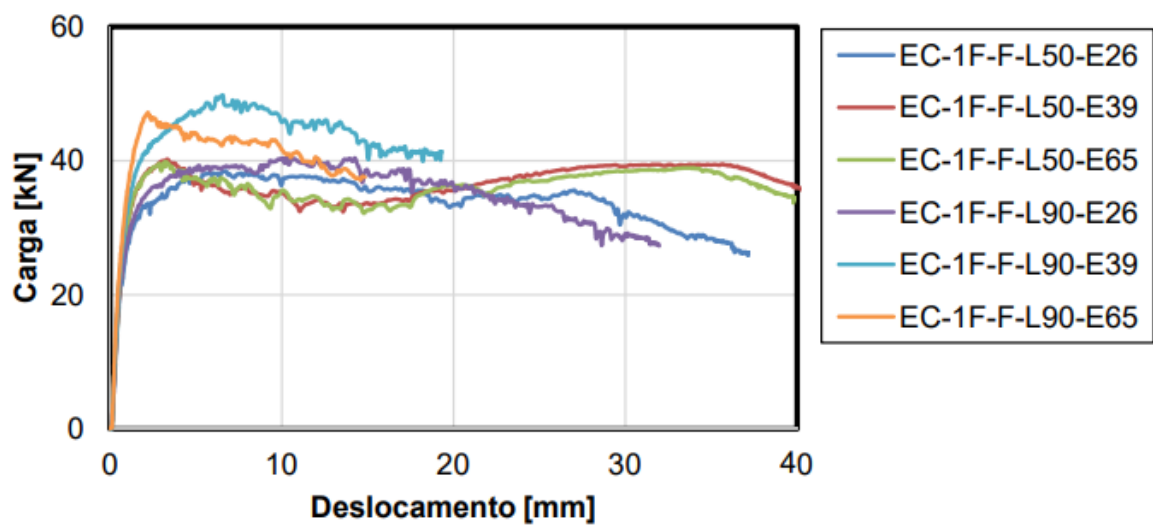
**Fonte:** Batista, 2018.

**Gráfico 1** – Carga *versus* deslocamento dos estudos de caso austenítico com um furo.



Fonte: Batista, 2018.

**Gráfico 2** – Carga *versus* deslocamento dos estudos de caso ferrítico com um furo.



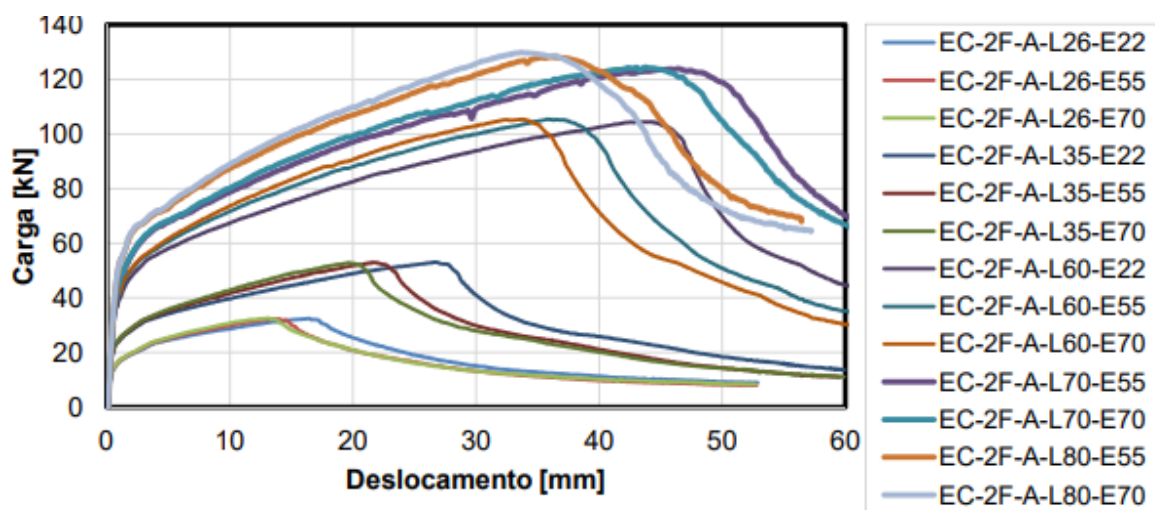
Fonte: Batista, 2018.

**Quadro 4** - Dados geométricos, nomenclatura e alguns outros dados dos modelos em estudos de casos, austenítico.

|             | L<br>[mm] | $e_1$<br>[mm] | $A_{net}$<br>[mm <sup>2</sup> ] | Modelos         | Análise<br>Numérica  |                          | EC3<br>$N_{t,Rd}$<br>[kN] | Média<br>entre<br>$F_u$ e $N_t$<br>[kN] |
|-------------|-----------|---------------|---------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
|             |           |               |                                 |                 | $F_{u,num}$<br>[kN]  | $\delta_{u,num}$<br>[mm] |                           |                                         |
| AUSTENÍTICO | 26        | 22            | 39                              | EC-2F-A-L26-E22 | 32,36                | 16,25                    | 32,94                     | 32,65                                   |
|             | 26        | 55            | 39                              | EC-2F-A-L26-E55 | 32,53                | 13,17                    | 32,94                     | 32,74                                   |
|             | 26        | 70            | 39                              | EC-2F-A-L26-E70 | 32,53                | 13,17                    | 32,94                     | 32,74                                   |
|             | 35        | 22            | 66                              | EC-2F-A-L35-E22 | 53,01                | 26,61                    | 55,75                     | 54,38                                   |
|             | 35        | 55            | 66                              | EC-2F-A-L35-E55 | 52,94                | 21,84                    | 55,75                     | 54,35                                   |
|             | 35        | 70            | 66                              | EC-2F-A-L35-E70 | 52,91                | 19,64                    | 55,75                     | 54,33                                   |
|             | 60        | 22            | 141                             | EC-2F-A-L60-E22 | 104,42               | 44,22                    | 89,32                     | 96,87                                   |
|             | 60        | 55            | 141                             | EC-2F-A-L60-E55 | 105,36               | 35,85                    | 89,32                     | 97,34                                   |
|             | 60        | 70            | 141                             | EC-2F-A-L60-E70 | 105,31               | 33,69                    | 89,32                     | 97,32                                   |
|             | 70        | 55            | 171                             | EC-2F-A-L70-E55 | 123,90               | 46,45                    | 89,32                     | 109,41                                  |
|             | 70        | 70            | 171                             | EC-2F-A-L70-E70 | 124,48               | 43,81                    | 89,32                     | 109,70                                  |
|             | 80        | 55            | 201                             | EC-2F-A-L80-E55 | 128,14               | 35,36                    | 99,74                     | 113,94                                  |
|             | 80        | 70            | 201                             | EC-2F-A-L80-E70 | 129,87               | 33,65                    | 99,74                     | 114,81                                  |
|             |           |               |                                 |                 | Desvio Padrão: 33,61 |                          |                           |                                         |

Fonte: Batista, 2018.

**Gráfico 3** – Carga *versus* deslocamento dos estudos de caso com dois furos, austenítico.



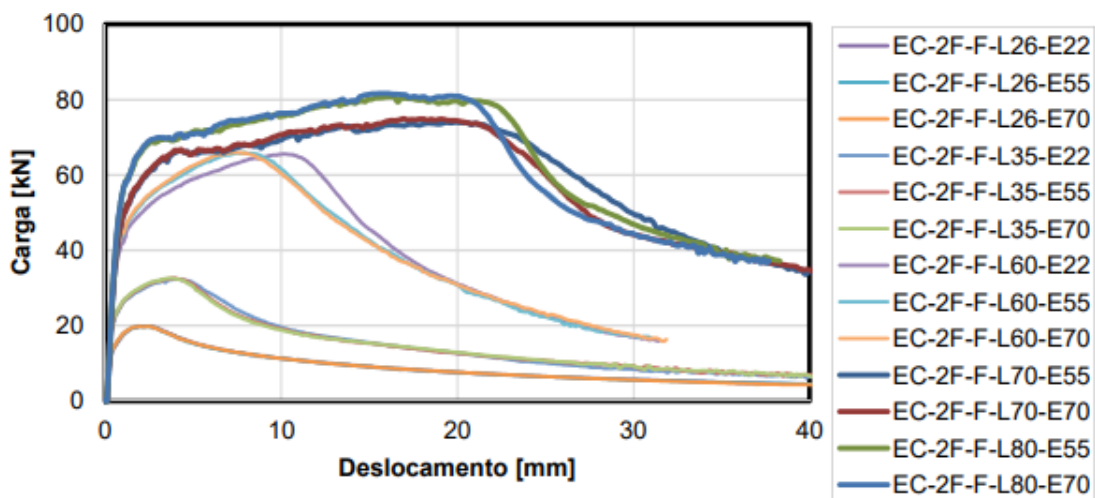
Fonte: Batista, 2018.

**Quadro 5** - Dados geométricos, nomenclatura e alguns outros dados dos modelos em estudos de casos, ferrítico.

|           | L<br>[mm] | $e_1$<br>[mm] | $A_{net}$<br>[mm <sup>2</sup> ] | Modelos         | Análise<br>Numérica  |                          | EC3<br>$N_{t,Rd}$<br>[kN] | $e_2/d_0$ | Média<br>entre<br>$F_u$ e $N_t$<br>[kN] |
|-----------|-----------|---------------|---------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|-----------|-----------------------------------------|
|           |           |               |                                 |                 | $F_{u,num}$<br>[kN]  | $\delta_{u,num}$<br>[mm] |                           |           |                                         |
| FERRÍTICO | 26        | 22            | 39                              | EC-2F-F-L26-E22 | 19.82                | 2.57                     | 18,25                     | 1.00      | 19,04                                   |
|           | 26        | 55            | 39                              | EC-2F-F-L26-E55 | 19.80                | 2.50                     | 18,25                     | 1.00      | 19,03                                   |
|           | 26        | 70            | 39                              | EC-2F-F-L26-E70 | 19.77                | 2.50                     | 18,25                     | 1.00      | 19,01                                   |
|           | 35        | 22            | 66                              | EC-2F-F-L35-E22 | 32.35                | 4.09                     | 30,89                     | 1.35      | 31,62                                   |
|           | 35        | 55            | 66                              | EC-2F-F-L35-E55 | 32.56                | 3.89                     | 30,89                     | 1.35      | 31,73                                   |
|           | 35        | 70            | 66                              | EC-2F-F-L35-E70 | 32.56                | 3.70                     | 30,89                     | 1.35      | 31,73                                   |
|           | 60        | 22            | 141                             | EC-2F-F-L60-E22 | 65.55                | 10.17                    | 49,49                     | 2.31      | 57,52                                   |
|           | 60        | 55            | 141                             | EC-2F-F-L60-E55 | 65.94                | 7.94                     | 49,49                     | 2.31      | 57,72                                   |
|           | 60        | 70            | 141                             | EC-2F-F-L60-E70 | 65.99                | 7.38                     | 49,49                     | 2.31      | 57,74                                   |
|           | 70        | 55            | 171                             | EC-2F-F-L70-E55 | 73.99                | 19.84                    | 52,59                     | 2.69      | 63,29                                   |
|           | 70        | 70            | 171                             | EC-2F-F-L70-E70 | 74.92                | 16.99                    | 52,59                     | 2.69      | 63,76                                   |
|           | 80        | 55            | 201                             | EC-2F-F-L80-E55 | 80.77                | 16.05                    | 52,26                     | 3.08      | 68,02                                   |
|           | 80        | 70            | 201                             | EC-2F-F-L80-E70 | 81.60                | 15.74                    | 52,26                     | 3.08      | 68,43                                   |
|           |           |               |                                 |                 | Desvio Padrão: 33,61 |                          |                           |           |                                         |

Fonte: Batista, 2018.

**Gráfico 4** – Carga *versus* deslocamento dos estudos de caso com dois furos, ferrítico.



Fonte: Batista, 2018.

Conclui-se que de forma geral, o aço inoxidável ferrítico se comporta de forma similar das normas em estudo do que o austenítico. Na maioria dos casos a Norma EN 1993-1-4 mostra-se conservadora quando comparada com os ensaios experimentais e análises numéricas.

#### 4.2 Sousa (2013).

Em sua dissertação intitulada “Influência do Aperto de Parafusos em Ligações Correntes em Estruturas Metálicas”, objetivando analisar a influência do aperto inicial da resistência ao corte dos parafusos de tal forma que foram ensaiados parafusos de pré-esforço e parafusos correntes com configurações tais que o corte ocorresse na parte lisa e/ou na parte rosçada.

Para chegar aos resultados almejados, foi realizado um estudo experimental de cunho quantitativo que consistiu em recolher um amontoado de informações consideradas apropriadas para realizar uma avaliação atualizada acerca da investigação, dos conhecimentos e das prescrições divulgadas ao redor do tema. E ainda acrescentando incluindo conceitos já conhecidos sobre o comportamento de parafusos à tensão de cisalhamento, tração e ambos combinados.

Com a finalidade de concretizar os objetivos citados, foram utilizados quatro parafusos, dois de alta resistência e dois parafusos comuns como mostra a Figura 15. O parafuso 1 foi submetido ao corte na parte lisa e na parte rosçada. O parafuso 2 foi submetido ao corte na parte rosçada e o parafuso 3 ao corte na parte lisa.

**Figura 15** – Tipos de parafusos ensaiados.



**Fonte:** Sousa, 2013.

O procedimento experimental desenrolou-se em duas etapas. A primeira consistiu na calibração do procedimento de aperto dos parafusos. Enquanto na segunda fase foram realizados os ensaios, durante os quais os parafusos foram submetidos a ruptura por corte.

O Quadro 06 apresenta os valores máximos de força de corte instalada nos parafusos comuns com corte na rosca, o Quadro 07 apresenta os valores máximos de força de corte instalada nos parafusos comuns com corte na parte lisa e o Quadro 08 retrata os resultados nos parafusos de alta resistência.

**Quadro 6** - Resultados da resistência ao corte em parafusos correntes (corte na rosca).

| Momento de aperto aplicado [N.m] | Porcentagem de força última ( $=f_{ub} A_s$ ) [%] | Carga máxima atingida [kN] |         |         | Média da carga atingida [kN] |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|---------|---------|------------------------------|
|                                  |                                                   | Série 1                    | Série 2 | Série 3 |                              |
| 220                              | 19,71                                             | 216,78                     | 231,48  | 221,53  | 223,26                       |
| 450                              | 57,15                                             | 221,84                     | 234,23  | 229,16  | 228,41                       |

Fonte: Sousa, 2013.

**Quadro 7** - Resultados da resistência ao corte em parafusos correntes (corte no liso).

| Momento de aperto aplicado [N.m] | Porcentagem de força última ( $=f_{ub} A_s$ ) [%] | Carga máxima atingida [kN] |         |         | Média da carga atingida [kN] |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|---------|---------|------------------------------|
|                                  |                                                   | Série 1                    | Série 2 | Série 3 |                              |
| 220                              | 19,71                                             | 312,47                     | 310,90  | 305,74  | 309,70                       |
| 450                              | 57,15                                             | 300,55                     | 301,77  | 304,42  | 302,55                       |

Fonte: Sousa, 2013.

**Quadro 8** - Resultados da resistência ao corte em parafusos de pré-esforço.

|                            |                | Porcentagem de força última ( $=f_{ub} A_s$ ) [%] |           |
|----------------------------|----------------|---------------------------------------------------|-----------|
|                            |                | 20,22                                             | 62,80     |
| Carga máxima atingida [kN] | Corte na rosca | 207,78 kN                                         | 209,06 kN |
|                            | Corte no liso  | 251,45 kN                                         | 249,71 kN |

Fonte: Sousa, 2013.

A seguir a Figura 16 mostra os três tipos de parafusos depois de ensaiados e as suas respectivas configurações de corte.

**Figura 16** – Parafusos e plano de corte.



**Legenda:**

- 1 Parafuso corrente (corte na rosca)
- 2 Parafuso corrente (corte no liso)
- 3 Parafuso de pré-esforço (corte na rosca)
- 4 Parafuso de pré-esforço (corte no liso)

**Fonte:** Sousa, 2013.

Com base nas informações adquiridas, fora possível concluir que para cada tipo de utilização tem-se um parafuso recomendado a ser utilizado, seja para ligações correntes ou ligações dimensionadas como pré-esforçadas. Deve-se evitar um aperto demasiado que venha a provocar desgaste das roscas e comprometer o desempenho futuro em parafusos comuns. A intensidade de aperto em parafusos comuns não apresenta influência significativa na resistência ao cisalhamento nas ligações.

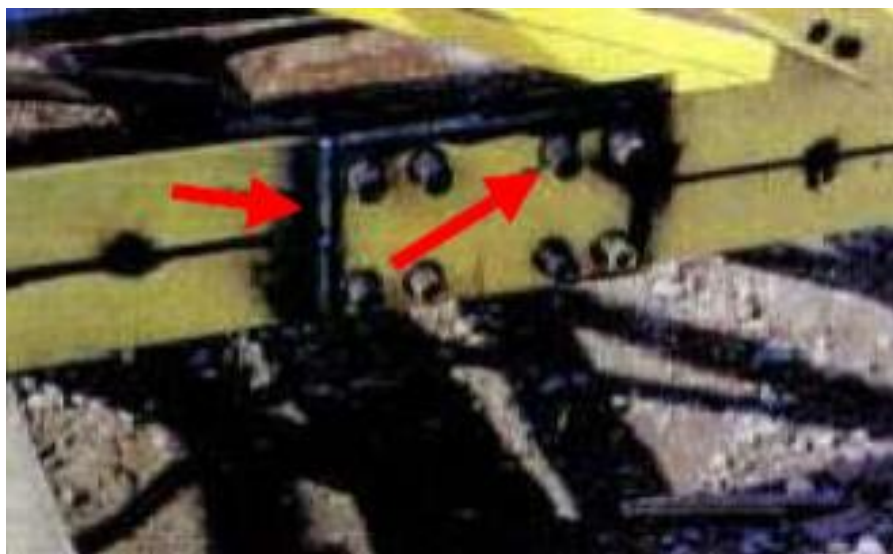
#### 4.3 Peixoto (2012).

Em sua monografia intitulada “Patologia em elementos de ligação de estruturas metálicas”, foi feito um levantamento das principais patologias que arremetem os elementos de estruturas metálicas com o objetivo central avaliar como as patologias nos elementos de ligação interveem e afetam os mecanismos de transmissão de esforços da estrutura e quais os principais atos para minorar a ocorrência destes.

Para atingir os resultados desejados, foi realizada uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo apresentando os conceitos do aço estrutural, dos elementos que compõem as estruturas metálicas, dos tipos estruturais, elementos e tipos de ligações em estruturas metálicas, as principais patologias que atingem as construções em aço e as patologias que acometem os elementos de ligação.

Em seu trabalho Peixoto (2012) ainda relata que também são consideradas patologias defeitos que comprometam este arranjo harmônico e estável. Geralmente estes defeitos estão associados a falhas em projeto e problemas nas etapas de fabricação e montagem da estrutura. Dentre os problemas citados em seu estudo, tem-se a mistura de ligações que enfraquece a ligação e insere tensões não previstas em projeto. Conforme ilustra a Figura 17.

**Figura 17** – Mistura de ligações.



**Fonte:** Castro, 1999.

Por fim, conclui-se com uma discussão acerca das principais ações que podem atenuar, senão coibir o surgimento de patologias e evitar o comprometimento precoce da estrutura através de alguns critérios como: segurança estrutural, segurança ao fogo, ligação do aço e outros materiais e durabilidade. Ainda é enfatizado a importância dos sistemas de ligação frente aos critérios ranqueados anteriormente, visto que cada elemento desempenha uma função específica e previamente definida.

#### 4.4 Pereira *et al.* (2015).

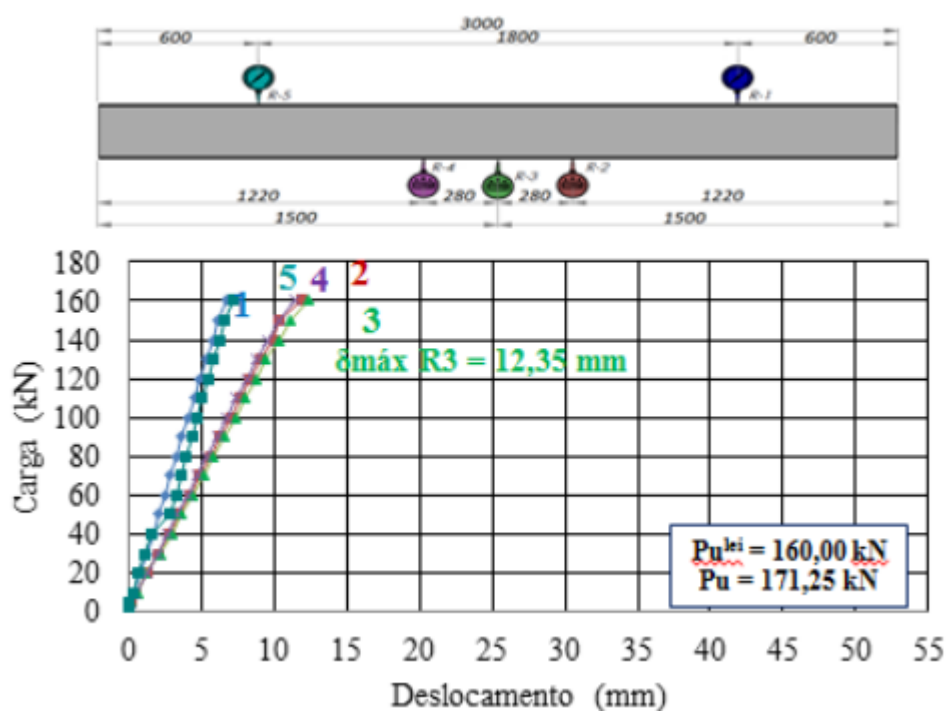
Em seu artigo intitulado “Estudo do comportamento de vigas metálicas com ligações parafusadas”, foi realizado um estudo com o intuito de analisar a capacidade de resistência à solicitação por esforços de flexão simples de vigas bi apoiadas em aço constituídas de perfis do tipo I laminados de abas paralelas com dois eixos de simetria, sendo atribuído para suas emendas parafusos de alta resistência do tipo ASTM A325 com diâmetro de 19 mm (3/4 pol.).



Para alcançar os resultados do trabalho, foi utilizado da metodologia do estudo experimental de cunho quantitativo e moldou-se diversos corpos de provas de vigas seguindo normas vigentes e realizou-se ensaios de resistência à flexão em que em algumas vigas foram utilizados extensômetros para medir a deformação. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (EEC/UFG).

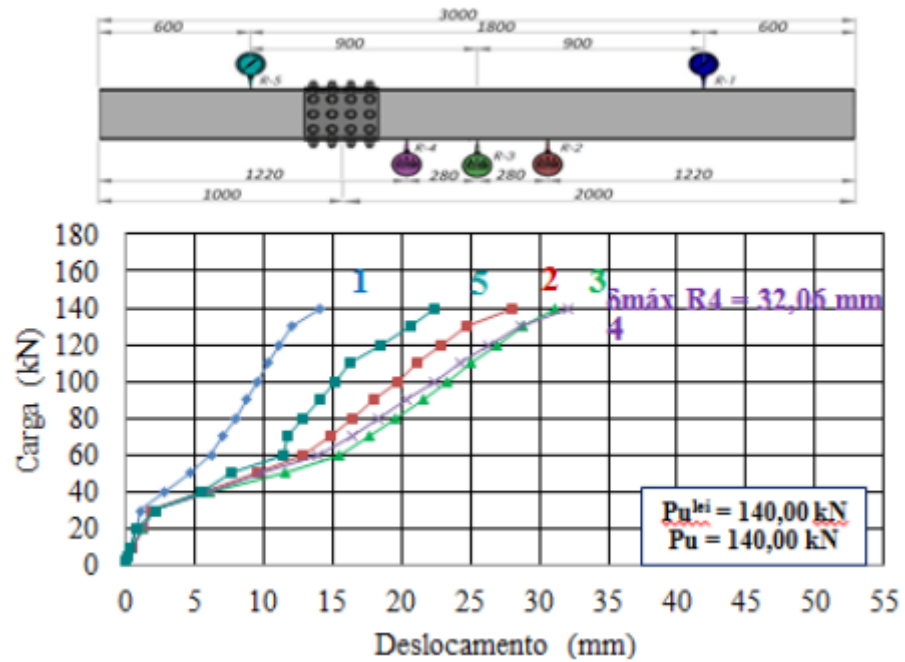
Foram moldadas três vigas de forma que uma contava com uma emenda denominada no trabalho por V1L, outra viga com duas emendas denominada V3L e por último uma viga sem emendas denominada VREF que serviu como parâmetro de comparação. A seguir tem-se as figuras exibindo os deslocamentos verticais de cada uma delas.

**Figura 18** – Deslocamentos verticais VREF.



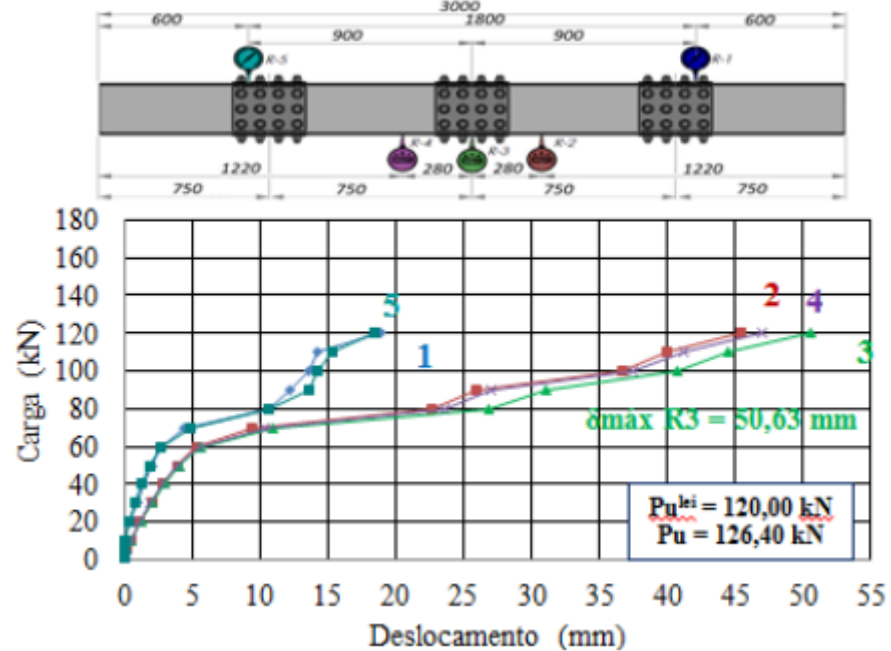
**Fonte:** Pereira *et al.* 2015.

**Figura 19** – Deslocamentos verticais V1L.



Fonte: Pereira *et al.* 2015.

**Figura 20** – Deslocamentos verticais V3L.



Fonte: Pereira *et al.* 2015.

Em virtude do que foi mencionado, conclui-se que todas as ligações das vigas solicitadas resistiram ao ensaio à flexão, não sendo constatada nenhuma ruptura nos parafusos e nem na

chapa de ligação, apresentando carga de ruptura entre 73% para uma viga e 82% para outra em relação à viga de referência.

#### 4.5 Silva *et al* (2021).

Em seu trabalho intitulado “Análise comparativa entre o uso de ligações soldadas e parafusadas em estruturas metálicas”, realizaram uma pesquisa com o objetivo de apresentar os tipos de ligações existentes nos sistemas estruturais metálicos, ressaltando suas características quando comparados ao comportamento estrutural, materiais e componentes utilizados e a resistência dos materiais e de cálculo, no intuito de comparar a as ligações soldadas e parafusadas, aferindo-se a mais viável.

A metodologia utilizada neste trabalho não ficou explícita no texto, contudo, devido ao teor do trabalho pressupõe-se que fora utilizado da metodologia do estudo comparativo, permitindo assim investigar fatos e explicá-los segundo suas semelhanças e suas diferenças.

Ao final do trabalho, concluiu-se que ambas as formas de conexões têm seu espaço definido. As ligações parafusadas se sobressaem pela rapidez na fabricação das peças, os equipamentos utilizados não requerem muito esforço energético, além de não exigirem uma mão de obra especializada. Todavia, é crucial prever a quantidade correta de parafusos e esse tipo de ligação possui uma dificuldade mais elevada quando se faz necessário realizar ajustes em campo.

Enquanto nas ligações soldadas, é indispensável ter um certo cuidado com o controle de qualidade da solda e mais alguns pontos muito importantes como: local apropriado onde será realizada a solda, maior tempo de montagem das peças, atenção aos efeitos de retração causados pelo calor gerado pela própria solda e proteção da mesma contra a ação da chuva e vento. Entretanto, é um tipo de ligação que traz uma certa economia de material, proporciona uma maior rigidez na estrutura devido a ligação direta entre os membros e uma maior facilidade de consertar erros.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado o exposto é possível concluir que as ligações em estruturas metálicas é um ponto de extrema importância a ser tratado desde o primeiro até o último passo da construção de uma obra. Podendo ser responsável por ser uma das etapas com terceiro maior custo a montagem de uma estrutura é a responsável por coroar a obra colocar em vigor sua qualidade de ser estável.

Foi capaz de ser notado também os conceitos que rodeiam o tema e entender um pouco mais sobre a resistência acerca das solicitações de tração e cisalhamento nas ligações parafusadas e como se comportam em conjunto com a estrutura matriz.

É importante salientar que de uma forma geral não há um parafuso ou meio de ligação entre elementos estruturais que seja recomendado para todas as situações, mas sim muitas possibilidades a serem estudadas e dimensionadas para cada caso em foco. Entretanto, pode-se chamar a atenção para um problema em comum que permeia entre as ligações estruturais. A fase da montagem é uma etapa que não recebe toda a atenção que se faz necessária, causando assim patologias, problemas com transmissão de esforços etc.

Por isso, como sugestão de trabalho futuro, pode ser citado o aprofundamento no presente trabalho, com a realização de um estudo numérico buscando analisar o que um “improviso” no ciclo de montagem pode vir a causar na transmissão de esforços de uma estrutura.

Ainda pode-se sugerir um acompanhamento de montagem de uma estrutura metálica na prática, com registros e comparações com a literatura disponível.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria Cascão Ferreira de. **Estruturas Isostáticas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 170 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A490:14** Standard Specification for High-Strength Steel Bolts, Classes 10.9 and 10.9.3, for Structural Steel Joints (Metric). West Conshohocken, Pensilvania: ASTM International, 2014. 7 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A307:14** Standard Specification for Carbon Steel Bolts, Studs, and Threaded Rod 60 000 PSI Tensile Strength. A307-14 ed. West Conshohocken, Pensilvania: ASTM International, 2014. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 237 p.

BATISTA, Gilmar de Castro. **Estudo experimental e numérico de ligações aparafusadas em aço inoxidável submetidas à tração**. 2018. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

BEER, Ferdinand P. *et al.* **Mecânica dos Materiais**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 800 p. Tradução técnica de: José Benaque Rubert e Walter Libardi.

CISER (ed.). **Montagem de estruturas metálicas**: veja nossas 7 dicas para garantir a segurança e qualidade. veja nossas 7 dicas para garantir a segurança e qualidade. 2019. Disponível em: <https://blog.ciser.com.br/construcao-civil/5-cuidados-essenciais-na-montagem-de-estruturas-metalicas/>. Acesso em: 9 nov. 2022.

COSTA JÚNIOR, Marcos Antônio *et al.* Estudo preliminar comparativo entre estruturas de concreto armado e estruturas metálicas (aço). **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Aracaju, v. 7, n. 2, p. 11-24, 16 maio 2022. Semestral.

FREITAS, Leandro Willian de. **Análise estrutural de um edifício em concreto armado e proposta de um novo projeto estrutural - estudo de caso**. 2016. 104 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2016.

GERE, James Monroe. **Mecânica dos Materiais**. São Paulo: Thomson Learning, 2003. 698 p.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

HYMANN, Hebert. **Planejamento e análise da pesquisa: princípios, casos e processos**. Rio de Janeiro: Lidador, 1967.

INABA, Roberto. **Construções Metálicas**: o uso do aço na construção civil. O uso do Aço na Construção Civil. 2021. Disponível em: <https://metalica.com.br/construcoes-metalicas-o-uso-do-aco-na-construcao-civil-4/>. Acesso em: 10 nov. 2022.

LEGGERINI, Maria Regina Costa. **Mecânica dos Sólidos**. 2007. Disponível em: [https://www.politecnica.pucrs.br/professores/mregina/ENGENHARIA\\_-\\_Mecanica\\_dos\\_Solidos/mecanica\\_dos\\_solidos\\_apostila\\_2007\\_2.pdf](https://www.politecnica.pucrs.br/professores/mregina/ENGENHARIA_-_Mecanica_dos_Solidos/mecanica_dos_solidos_apostila_2007_2.pdf). Acesso em: 12 nov. 2022.

MASCARENHAS, Sidnei A. **Metodologia Científica**. 2ª Edição. Pearson, 2018.  
NEWTON, Isaac. The mathematical principles of natural philosophy. Definitions, Scholium, para, v. 9, p. 1686, 2004.

PEIXOTO, Danielle de Souza Lelis. **Patologia em elementos de ligação de estruturas metálicas**. 2012. 79 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2012.

PEREIRA, Ronivon Soares *et al.* Estudo do comportamento de vigas metálicas com ligações parafusadas. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, Araguaia, v. 7, n. 7, p. 90-99, jul. 2015. Semestral. Disponível em: [https://www.faculdadearaguaia.edu.br/sipe/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/issue/view/Issue/31/pdf\\_66](https://www.faculdadearaguaia.edu.br/sipe/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/issue/view/Issue/31/pdf_66). Acesso em: 15 out. 2022.

PFEIL, W. **Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. 8ª Edição. Rio de Janeiro. LTC, 2009.

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas Metálicas**: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2005. 302 p.

POMPERMAYER, Rafael. Análise comparativa entre estruturas metálicas e estruturas de concreto armado. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 73p. 2018.

PRADO, Lisiane Pereira, and Mounir Khalil El Debs. "Avaliação Do Comportamento De Ligação De Montagem Viga-pilar Para Estruturas De Concreto Pré-moldado." *Ambiente Construído* 18.3 (2018): 271-87. Web.

SALMON, Charles G.; JOHNSON, John E.; MALHAS, Farias A.. **Steel Structures**: Design and behavior. 5. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2009. 889 p.

SILVA, Celiane Mendes da *et al.* Análise comparativa entre o uso de ligações soldadas e parafusadas em estruturas metálicas. **Cadernos de Graduação**: Ciências Exatas e Tecnológicas, Aracaju, v. 6, n. 3, p. 174-187, maio 2021. Semestral.

SOUSA, Nuno da Costa. **Influência do Aperto de Parafusos em Ligações Correntes em Estruturas Metálicas**. 2013. 87 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra, 2013.  
VALENCIANI, V.C. (1997). **Ligações em estruturas de aço**. São Carlos, 1997, 309p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.