



**FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Institute for Sustainability and  
Innovation in Structural Engineering

## **Aplicação Mobile: Dimensionamento de Ligações**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na  
Especialidade de Mecânica Estrutural

Autor

**Ivo Miguel Dionísio Lourenço**

Orientador

**Prof. Doutor Luís Alberto Proença Simões da Silva**

**Prof. Doutora Aldina Maria da Cruz Santiago**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

**Coimbra, Julho, 2013**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, um especial agradecimento aos meus pais, Maria de Lurdes Dionísio Rosa Fidalgo Lourenço e Jorge Fidalgo Lourenço, pelo o seu apoio incondicional em todas as etapas da minha vida.

Ao meu Irmão, Pedro Jorge Dionísio Lourenço, por todos os seus conselhos e auxílio durante esta jornada.

Aos meus Orientadores, Professora Doutora Aldina Maria da Cruz Santiago e Professor Doutor Luís Alberto Proença Simões da Silva, pelo seu empenho, exigência e os ensinamentos transmitidos, um sincero obrigado.

Aos meus Amigos por todo o seu apoio nos bons e maus momentos.

A toda a minha Família, pelos seus sacrifícios e apoio em prol do meu sucesso.

## RESUMO

A constante evolução tecnológica aliada ao crescimento da necessidade de mobilidade da população fez com que, nos últimos anos, o desenvolvimento da também denominada, Tecnologia de “Bolso” se fizesse de forma exponencial. Tal como muitas outras artes, também a Engenharia Civil conjugou a capacidade de cálculo e portabilidade destes dispositivos às suas necessidades, iniciando a conversão e/ou criação de ferramentas consideradas como indispensáveis a um engenheiro em movimento.

A presente dissertação insere-se no segmento de criação de novos aplicativos direcionados para a plataforma *iOS* e, cumulativamente, para a engenharia. Os objectivos principais do trabalho são: i) recolha e organização de uma base de dados de ligadores metálicos, necessária para o desenvolvimento informático de uma aplicação de dimensionamento de ligadores e de ligações metálicas; ii) elaboração de uma proposta de interface para a aplicação; iii) implementação da ferramenta de dimensionamento de ligadores metálicos em ambiente Excel.

Para um melhor conhecimento destes aspetos procedeu-se, numa fase inicial, a uma pesquisa exaustiva e sequente síntese da informação necessária para definir e/ou apresentar na aplicação, nomeadamente o levantamento dos produtos existentes no mercado, os respetivos produtores e as normas que os regem.

Em simultâneo efetuou-se uma análise pormenorizada da metodologia de dimensionamento definida pelas Normas Europeias. Esta análise implicou a especificação do cálculo da resistência dos ligadores e respectivas verificações de segurança, definidas no Eurocódigo 3 parte 1-8.

De seguida, procedeu-se à recolha e análise de tabelas de ligações pré-dimensionadas com o intuito de definir o processo de pesquisa a implementar na aplicação.

Na parte final do trabalho, apresenta-se e justifica-se o processo de definição da interface do aplicativo, o qual permitiu chegar à solução considerada ideal. Paralelamente, é descrita toda a compilação da ferramenta em ambiente *Excel*, onde são estabelecidas todas as condições e restrições que *à posteriori* serão convertidas para linguagem computacional.

**Palavras Chave:** Tecnologia de “Bolso” | Aplicação | Dimensionamento | Ligadores | Ligações metálicas | Eurocódigo 3

## ABSTRACT

The constant evolution of technology joined with the increasing needs of human's mobility has developed the pocket technology in an exponential way. As many other arts, also Civil Engineering merged the calculation capacity and the portability of these devices to its own requirements, either adapting or creating tools needed to an actual engineer.

The present thesis regards the development of new applications for *iOS* platform and engineer's requirements. Its principal aim is to support the development of an app that offers a structured database of connectors, their design and the design of steel joints.

In order to understand all of these aspects, an exhaustive research and consecutive synthesis of the information necessary for the definition or/and exposition on the app, was firstly carried out. A survey of the current products, their manufactures and respective standards was defined.

Secondly, a detailed analysis of the design methodology defined by the European Standards was developed, taking into account the specification over the connector's resistance and their respective design rules on Eurocode 3. Then, were gathered and analysed some tables of predesigned joints, in order to define the search process to implement in the application.

At the end, the definition process of the app's interface that allow the achievement of the ideal solution is presented and justified. At the same time, it is described the entire compilation of the tool on Excel environment, where are established all the conditions and restrictions which will be *a posteriori* converted to computational language.

**Keywords:** Pocket Techonology | App | Design | Connectors | Steel Joints | Eurocode 3

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>SIMBOLOGIA</b> .....	<b>ix</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 Nota introdutória .....	11
1.2 Objectivo.....	11
1.3 Estrutura do documento .....	12
<b>2 ENQUADRAMENTO</b> .....	<b>13</b>
2.1 Comportamento das Ligações.....	13
2.2 Ferramentas numéricas de dimensionamento de Ligações.....	16
<b>3 BASE DE DADOS</b> .....	<b>17</b>
3.1 Introdução .....	17
3.2 Fontes de informação.....	17
3.2.1 Normalização .....	17
3.2.2 Catálogos .....	18
3.2.3 Tabelas de pré-dimensionamento .....	19
3.3 Estrutura da base de dados.....	20
3.3.1 Ligadores Metálicos.....	20
3.3.2 Ligações .....	31
3.4 Implementação detalhada .....	32
3.4.1 Ligadores metálicos .....	33
3.4.2 Ligações .....	35
<b>4 PROCESSO DE CÁLCULO</b> .....	<b>37</b>
4.1 Introdução .....	37
4.2 Domínio de validade .....	37
4.3 Geometria .....	41
4.4 Resistência individual das peças ligadas .....	43
4.4.1 Resistência ao corte por plano de corte.....	43

4.4.2	Resistência ao esmagamento.....	47
4.4.3	Resistência ao escorregamento .....	50
4.4.4	Resistência ao esforço normal de tração .....	52
4.4.5	Resistência à tração.....	52
4.4.6	Resistência ao punçoamento .....	53
4.4.7	Combinação de corte com tração.....	54
<b>4.5</b>	<b>Comparação de métodos de dimensionamento .....</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>DEFINIÇÃO DA INTERFACE.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>59</b>
<b>5.2</b>	<b>Interface.....</b>	<b>59</b>
5.2.1	Estrutura global.....	59
5.2.2	Design e estrutura base .....	60
5.2.3	Ligadores metálicos .....	62
5.2.3.1	Home.....	62
5.2.3.2	Coluna 1 .....	62
5.2.3.3	Coluna 2.....	63
5.2.3.4	Coluna 3.....	64
5.2.3.5	Configurações por defeito .....	65
5.2.3.6	Relatório.....	66
5.2.4	Ligações.....	66
5.2.4.1	Home.....	66
5.2.4.2	Funcionamento Geral.....	67
5.2.4.3	Search.....	69
5.2.4.4	Resultados e Relatório.....	70
5.2.4.5	Configurações por defeito .....	71
<b>6</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO EM AMBIENTE EXCEL.....</b>	<b>72</b>
<b>6.1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>72</b>
<b>6.2</b>	<b>Resolução “Manual” de Exemplo.....</b>	<b>72</b>
<b>6.3</b>	<b>Resolução do exemplo <i>Excel</i> .....</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>80</b>
<b>7.1</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>80</b>
<b>7.2</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>
<b>A-1</b>	<b>Relatório-tipo de Dimensionamento .....</b>	<b>85</b>
<b>A-2</b>	<b>Ficha-Tipo de Produto .....</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ligação sem transmissão de momento .....	14
Figura 2.2 - Ligação com transmissão de momento .....	14
Figura 2.3 - Típica divisão do custo total de uma estrutura metálica, adaptado de (Oldham and Woltenholme, 2012) .....	15
Figura 3.1 - Esquema de hierarquização da base de dados de ligadores metálicos.....	22
Figura 3.2 - Hierarquização da base de dados de ligações .....	31
Figura 3.3 - Esquema do processo de seleção para a categoria <i>C 1.1.1</i> (ligadores metálicos).33	
Figura 3.4 - Dimensões referentes à categoria <i>C 1.1.1</i> .....	34
Figura 3.5 - Dimensões referentes à categoria <i>C 5.1.3</i> .....	35
Figura 3.6 - Esquema do processo de seleção para a categoria <i>C 2.1.2</i> (ligações) .....	36
Figura 3.7 - Especificações da solução, 457 x 152 x 82 UB .....	36
Figura 4.1 - Símbolos para as distâncias entre os eixos dos furos de peças de ligação .....	41
Figura 4.2 - Esquema ilustrativo das dimensões para o cálculo de $l_{mín}$ .....	42
Figura 4.3 - Exemplo de planos de corte num parafuso .....	44
Figura 4.4 - Ligação comprida .....	47
Figura 4.5 - Exemplo de ligação com 3 chapas .....	48
Figura 4.6 - Exemplo de ligação com 4 chapas .....	49
Figura 4.7 - Exemplo de ligação com 4 chapas com um único plano de corte .....	49
Figura 4.8 - Esquema da geometria de ligação considerada na aplicação.....	50
Figura 5.1 - Proposta de <i>layout</i> para a integração de todas as aplicações ECCS .....	60
Figura 5.2 - <i>Screenshot</i> da Interface da aplicação <i>ECCS-EC3 Calculator e Steel LCA</i> .....	60
Figura 5.3 - Proposta de <i>Subtab</i> .....	61
Figura 5.4 - Proposta para Home, ligadores metálicos.....	62
Figura 5.5 - Interface após escolha de categoria de ligador .....	63
Figura 5.6 - Exemplo de funcionamento da base de dados dentro da aplicação .....	63
Figura 5.7 - Descrição do ligador .....	64
Figura 5.8 - Esquema da coluna de cálculo para parafuso normal .....	64
Figura 5.9 - <i>Tab</i> de Configurações .....	65
Figura 5.10 - Proposta para Home, Ligações .....	66
Figura 5.11 - <i>Tab</i> de sub-tipologia de ligação, <i>Beam to Column</i> .....	67
Figura 5.12 - Interface após escolha de sub-tipologia de ligação.....	67
Figura 5.13 - Exemplo de comportamento da interface após escolha da sub-sub-tipologia ....	68
Figura 5.14 - Exemplo de comportamento da interface após escolha da seção da viga.....	68
Figura 5.15 - Pormenorização do <i>Search-Básico</i> .....	69

---

Figura 5.16 - Pormenorização do <i>Search-Avançado</i> .....	69
Figura 5.17 - Pormenorização dos resultados.....	70
Figura 5.18 - <i>Tab</i> das configurações .....	71
Figura 6.1 - Distâncias aos extremos e espessuras das chapas .....	72
Figura 6.2 - <i>Printscreen</i> da aplicação em ambiente <i>Excel</i> - Zona de configuração de ligação	77
Figura 6.3 - <i>Printscreen</i> da aplicação em ambiente <i>Excel</i> - Zona de apresentação de valores	78
Figura 6.4 - <i>Printscreen</i> da aplicação em ambiente <i>Excel</i> - Zona de verificação de esforços	79

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Excerto da estrutura da base de dados (Esteves, 2013).....	20
Tabela 3.2 - Subcategorias propostas na versão anterior da base de dados (Esteves, 2013)....	21
Tabela 3.3 - Base de dados de ligadores metálicos .....	23
Tabela 3.4 - Base de dados de ligações .....	32
Tabela 3.5 - Dimensões de um parafuso M12 da categoria <i>C 1.1.1</i> .....	34
Tabela 3.6 - Seção transversal de um parafuso M12 da categoria <i>C 1.1.1</i> .....	34
Tabela 3.7 - Propriedades do material de um parafuso M12 da categoria <i>C 1.1.1</i> .....	34
Tabela 3.8 - Dimensões de um rebite 2,4 da categoria <i>C 5.1.3</i> .....	35
Tabela 4.1 - Domínio de Validade dos Eurocódigos.....	38
Tabela 4.2 - Categorias elegíveis para dimensionamento na aplicação .....	40
Tabela 4.3 - Comparação entre metodologias de cálculo da EN 1993 Parte 1-8 e EN 1993-1-3 .....	55

## SIMBOLOGIA

$A$  - área da seção transversal do ligador

$A_0$  - área do furo para rebite

$A_s$  - área da seção resistente do parafuso

$b$  - comprimento de roscado de um parafuso

$b_{in}$  - comprimento de roscado entre a parte interior da porca do parafuso e o 1º fio de rosca, do lado da cabeça do mesmo

$b_{máx}$  - comprimento máximo de roscado

$B_{p,Rd}$  - Valor de cálculo da resistência ao punçoamento da cabeça do parafuso e da porca

$d$  - diâmetro nominal do ligador

$d_0$  - diâmetro do furo para um ligador

$d_k$  - diâmetro da cabeça de um parafuso de embeber ou rebite

$d_m$  - menor diâmetro médio (entre círculos inscrito e circunscrito) da cabeça do parafuso ou da porca

$e_i$  - distância entre o centro do furo do parafuso e o extremo da chapa

$e$  - distância entre cantos

$F_{b,Rd}$  - Valor de cálculo da resistência ao esmagamento por parafuso

$F_{p,C}$  - Valor de cálculo da força de pré-esforço

$F_{s,Rd}$  - Valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite último

$F_{s,Rd,ser}$  - Valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite de utilização

$F_{t,Ed}$  - Valor de cálculo do esforço de tração por parafuso no estado limite último

$F_{t,Rd}$  - Valor de cálculo da resistência à tração por parafuso

$F_{v,Ed}$  - Valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no estado limite último

$F_{v,Rd}$  - Valor de cálculo da resistência ao esforço transversal por parafuso

$F_{v,Rd,roscado}$  - Resistência ao corte em plano de corte que atravessa a zona roscada do parafuso

$F_{v,Rd,liso}$  - Resistência ao corte em plano de corte que atravessa a zona lisa do parafuso

$f_u$  - tensão última à tração do aço

$f_{ub}$  - tensão de rotura à tração dos parafusos

$f_{ur}$  - tensão de rotura à tração dos rebites

$f_y$  - tensão de cedência do aço

$i$  - número de planos que atravessam a zona roscada do parafuso

$j$  - número de planos que atravessam a zona lisa do parafuso

- $k$  - altura da cabeça do parafuso  
 $k_s$  - parâmetro relativo ao tipo de furo, valores indicados no Quadro 3.6 - EN 1993 Parte 1-8  
 $l$  - comprimento do ligador  
 $l_{adq}$  - comprimento adequado do parafuso  
 $l_g$  - comprimento não roscado do parafuso  
 $l_{mín}$  - comprimento mínimo do parafuso  
 $l_p$  - roscado mínimo acima da porca  
 $m_{mín}$  - altura mínima da porca  
 $n$  - número de planos de atrito  
 $p_i$  - distância entre centros de parafusos  
 $p$  - passo de rosca de um parafuso ou comprimento do corpo do rebite  
 $s$  - distância entre faces  
 $t$  - espessura da chapa ligada  
 $t_p$  - espessura da chapa sob a cabeça do parafuso ou da porca  
 $\mu$  - coeficientes de atrito obtido por ensaios específicos para a superfície de atrito, de acordo com 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7, ou quando aplicável, indicado no Quadro 3.7 - EN 1993 Parte 1-8  
 $x$  - número de fiadas de parafusos horizontais  
 $y$  - número de fiadas de parafusos verticais  
 $\gamma_{M2}, \gamma_{M3}, \gamma_{M3,ser}, \gamma_{M7}$  - coeficientes parciais de segurança para as ligações

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Nota introdutória

Na última década, o mercado das tecnologias móveis teve um aumento muito significativo, não só pela constante necessidade de comunicação da população, mas também, pela multifuncionalidade e capacidade oferecida por estas tecnologias; incentivando muitas empresas de desenvolvimento de software a direcionarem-se para este sector.

A Engenharia é uma arte que está agregada à mobilidade dos seus praticantes, tornando-se importante a sua conjugação com a tecnologia acima descrita. Nos últimos anos, os esforços das empresas de programação têm sido direcionados para a simplificação dos softwares de dimensionamento existentes para o *PC*, de forma a que estes possam ser integrados em dispositivos móveis sem perder a sua pluralidade de utilização.

Assim, na Engenharia Civil a possibilidade de expeditamente verificar um cálculo de dimensionamento ou simplesmente confirmar as propriedades de um dado elemento, poderá, por exemplo, significar a não interrupção dos trabalhos de uma dada obra, evitando a necessidade de recurso a trabalho de gabinete normalmente mais moroso.

## 1.2 Objectivo

A presente dissertação insere-se num projeto europeu de investigação: *EC3-1-8 - ECCS EC3 Steel Connections Calculator: iApps*, requerido pela *ECCS (the European Convention for Constructional Steelwork)*, e cujas instituições participantes são: *CMM - Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista*; *SBI - Stålbyggnadsinstitutet*; *Norsk Stålförbund - Norwegian Steel Association*. O trabalho aqui apresentado tem como objectivo a definição de todo o suporte necessário para o desenvolvimento de um aplicativo *mobile*, inserido na temática de dimensionamento de elementos metálicos, mais propriamente ligações metálicas.

O aplicativo tem como objetivo oferecer ao utilizador uma base de dados de ligadores metálicos (incluindo os correspondentes produtores), e a possibilidade de calcular a sua resistência ou mesmo verificá-la para determinados esforços atuantes. Para além disso ainda se pretende desenvolver a estrutura de uma base de dados de ligações pré-dimensionadas.

A metodologia adotada compreende as seguintes tarefas: i) recolha de produtos existentes no mercado de forma a estabelecer uma base de dados estruturada; ii) análise das normas referentes aos ligadores e ao seu dimensionamento, de forma a possibilitar a definição das verificações a ter no aplicativo e a estabelecer o seu *design*; iii) implementação da ferramenta de cálculo em ambiente *Excel*; v) desenvolvimento da estrutura de base dados para ligações pré-dimensionadas.

### 1.3 Estrutura do documento

No capítulo 1 introduz-se a temática da dissertação, apresentam-se os objectivos e respectivo plano de tarefas para os atingir.

O capítulo 2 apresenta uma breve abordagem ao estado do conhecimento do dimensionamento de ligações metálicas e das respectivas ferramentas de cálculo existentes.

O capítulo 3 sintetiza a informação recolhida para a definição da aplicação (catálogos, normas e regulamentos), evidenciando os pontos mais relevantes de cada um. Apresenta também as propostas de hierarquização para ambas as bases de dados (ligadores metálicos e ligações) e respectiva explicação sobre a concretização do seu funcionamento.

O capítulo 4 apresenta a abordagem de cálculo utilizada na definição da aplicação para a vertente de ligadores metálicos, especificando todas as variáveis, expressões e restrições pertinentes a este processo.

O capítulo 5 descreve todo o processo de elaboração da interface da aplicação, comentando e justificando a forma de resolução de alguns dos principais problemas para o seu estabelecimento.

O capítulo 6 apresenta a implementação da ferramenta de cálculo em ambiente *Excel* para os ligadores metálicos, comparando os respectivos resultados com os obtidos a partir da resolução manual.

No capítulo 7 sintetizam-se as conclusões do trabalho e propostas para trabalhos futuros na área.

## 2 ENQUADRAMENTO

### 2.1 Comportamento das Ligações

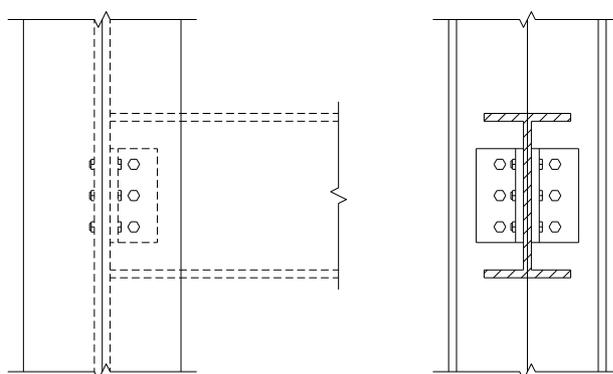
O dimensionamento de uma estrutura metálica pressupõe a consideração do comportamento global da mesma e do comportamento individual dos seus componentes. As ligações metálicas fazem parte das componentes mais importantes de uma estrutura, não só pela sua influência no comportamento global, mas também pela complexidade de análise da sua resposta.

De forma simplificada, as ligações podem assumir-se como rotuladas ou rígidas e o seu comportamento não é tido em conta no dimensionamento da estrutura. Esta simplificação não corresponde ao comportamento real da ligação; na realidade, uma ligação rotulada apresenta alguma rigidez rotacional, tal como uma ligação rígida apresenta deformações devido ao momento flector. Assim podemos concluir que grande parte das ligações correntes possui um comportamento semi-rígido.

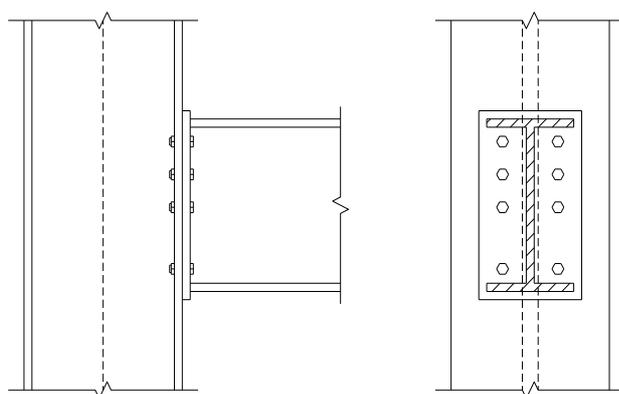
A diferença entre o comportamento real e o adoptado na modelação de uma estrutura poderá ter efeitos negativos ou positivos, de acordo com o tipo de estrutura em causa. Numa situação em que as ligações são consideradas rotuladas na sua modulação, na estrutura real haverá uma distribuição de momentos mais favorável que no modelo, devido à existência de alguma rigidez rotacional. A consideração de ligações rígidas levará a um efeito negativo, visto que a deformabilidade real da ligação introduz uma sensibilidade adversa aos efeitos de segunda ordem (Faella *et al.*, 2000). Desta forma o conhecimento do comportamento de uma ligação é um fator importante para o seu dimensionamento e para o dimensionamento da estrutura que que se insere.

A ligação entre dois elementos pode ser executada usando várias configurações, cada uma com características e comportamentos distintos. É nesta altura que o projetista necessita de ter a capacidade de avaliar o tipo de ligação que melhor se adequa, em função dos esforços atuantes e tal como já explicado anteriormente o comportamento pretendido para esta. Os esforços atuantes não só condicionam as propriedades e dimensões dos elementos constituintes da ligação, como também determinam a tipologia desta.

A Figura 2.1 e Figura 2.2 apresentam duas soluções de ligação viga-pilar com comportamentos distintos. A solução apresentada na Figura 2.1 pode ser classificada como uma ligação simples devido à capacidade de transmissão de esforços, isto é, trata-se de uma ligação que não transmite momentos significativos para Estados Limite Últimos, transfere apenas esforço transversal (Simões da Silva, 2005). No caso da Figura 2.2, a ligação já apresenta capacidade de transmissão de momento, no entanto a complexidade de dimensionamento aumenta. O aumento da complexidade do dimensionamento deve-se essencialmente ao incremento do número de componentes a ter em conta e por sua vez a sofisticação do comportamento individual e global de cada uma.



**Figura 2.1 - Ligação sem transmissão de momento**

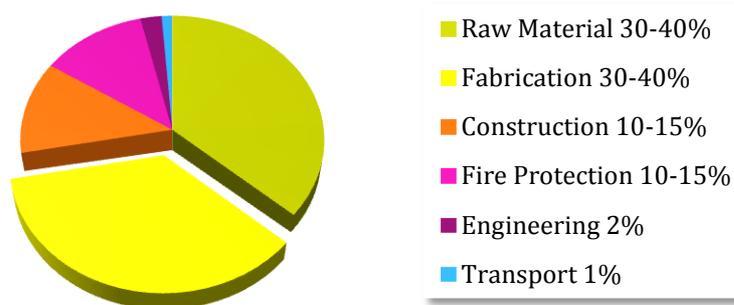


**Figura 2.2 - Ligação com transmissão de momento**

Na União Europeia foram desenvolvidas normas, denominadas Eurocódigos Estruturais, com o intuito de regulamentar o projecto de estruturas. No caso das estruturas metálicas é o Eurocódigo 3 que se dedica a esta temática, sendo as ligações tratadas na parte 1-8. O Eurocódigo 3, parte 1-8 (NP EN 1993-1-8, 2010) apresenta o procedimento de cálculo de forma a caracterizar o comportamento de uma ligação, o conhecido método das componentes. Este método baseia-se na consideração de um modelo de molas e barras rígidas em que cada

uma das molas possui a rigidez, resistência e ductilidade adequadas à componente (parte específica da ligação, parafusos, soldas, placa da extremidade, banzo de coluna, etc) que caracteriza (Simões, 2007). As hipóteses simplificativas para o desenvolvimento deste procedimento surgiram com base em trabalho experimental.

Para além dos pontos descritos acima a vertente económica de um projeto também tem de ser tida em conta pelo projetista. A determinação do custo total de uma estrutura de aço pode ser um processo bastante complexo, estando condicionada por inúmeras variáveis que podem ser resumidas em 6 categorias (Matéria-prima, Produção, Montagem, Proteção contra o fogo, Engenharia e Transporte) cumulativamente dependentes de diversos parâmetros. A fase de projeto ditará em grande parte o valor da estrutura, a complexidade da estrutura assim como a complexidade das ligações que são fatores que poderão inflacionar o valor global da obra. O preço do material é uma parcela de fácil determinação após a definição das dimensões finais dos elementos da estrutura, remetendo-se para a multiplicação do preço de aquisição do aço, em geral €/Kg, pelo peso total da estrutura. No que se refere às ligações, o efeito não se limita apenas no aumento do peso da estrutura, sendo que nesta parcela a sua influência poderá ser mesmo considerada minoritária, 5-10% do peso total da estrutura. No entanto a complexidade de uma ligação poderá influenciar, em muito, o preço final da estrutura devido ao tempo/mão de obra que é despendida na sua fabricação, montagem (em algumas situações leva à necessidade de prever elementos auxiliares para apoiar ou facilitar a sua montagem) e ainda proteção destas. A Figura 2.3 apresenta o custo total de um típico edifício comercial em aço organizado nas parcelas indicadas anteriormente.



**Figura 2.3 - Típica divisão do custo total de uma estrutura metálica, adaptado de (Oldham and Woltenholme, 2012)**

Uma forma de otimizar a influência das ligações no custo global da estrutura pode passar pela standardização das ligações. A diminuição da seção dos elementos estruturais utilizados poderia ser uma outra solução, mas nem sempre apresenta benefícios pois para além de poder introduzir dificuldades em garantir a estabilidade global da estrutura em virtude do aumento da sua esbelteza, poderá também implicar a introdução de reforços nas ligações que podem aumentar o custo final da estrutura.

## 2.2 Ferramentas numéricas de dimensionamento de Ligações

Com a evolução tecnológica, os processos morosos de cálculo, tal como a determinação do comportamento de uma ligação, começaram a fazer-se de forma mais expedita (um click); surgindo programas especialmente dedicados à engenharia de estruturas, nomeadamente: *Robot Structural Analysis Professional*, da Autodesk, COP, para a plataforma PC; *ECCS EC3 Steel Calculator*, *Steel LCA for iPhone*, para plataforma móveis.

Os dois primeiros softwares funcionam em ambiente *Windows*, uma tipologia de dispositivos com maior performance de cálculo, comparativamente com plataforma mobile. A maior capacidade de cálculo tem como consequência direta e favorável a possibilidade de desenvolvimento de softwares com elevada pormenorização, isto é, maior facilidade e liberdade de caracterização de uma dada estrutura (detalhe de ligações, materiais, geometrias e carregamentos aplicados) e do seu comportamento. O *Robot Structural Analysis Professional*, da Autodesk, permite o dimensionamento de estruturas de forma integral, possibilitando ao utilizador a definição de um modelo total da estrutura, inclusive a pormenorização de elementos (ex.: ligações de elementos estruturais). O COP, é um software especializado para o dimensionamento de ligações metálicas.

O aumento da mobilidade humana conduziu à necessidade de reinvenção da “tecnologia de bolso”. Nos últimos anos os *smartphones* e *tablets* atingiram o topo dos dispositivos de bolso utilizados pela humanidade, invertendo o foco do desenvolvimento informático dos PC's. Desde então, as empresas tem tentado compatibilizar e/ou desenvolver novos softwares para esta plataforma; oferecendo aos utilizadores não só portabilidade mas também software capaz de preencher as suas necessidades. A aplicação *ECCS EC3 Steel Member Calculator* possibilita o dimensionamento de elementos metálicos sujeitos a vários tipos de esforços ou combinações destes, segundo os regulamentos europeus; a verificação expedita do dimensionamento de um elemento; acesso às características *standard* das principais seções assim como dos seus produtores.

O desenvolvimento de aplicações *mobile* dentro do âmbito da Engenharia Civil potencializa uma maior eficácia por parte do engenheiro já que, este dispõe de um maior leque de ferramentas, cuja limitação é muito inferior às atuais. Dada a importância, já referida, das ligações nas estruturas metálicas o desenvolvimento de uma aplicação dentro desta temática é fulcral.

## **3 BASE DE DADOS**

### **3.1 Introdução**

O desenvolvimento da aplicação implica, primeiramente, a definição de uma base de dados por forma a viabilizar a elaboração posterior do segmento de cálculo propriamente dito. Esta tarefa consistiu, inicialmente, na procura de informação nas diversas vertentes definidas como de interesse para aplicação, desde normas, documentos regulamentares, catálogos de produtos, tabelas de cálculo, entre outros. De seguida existiu uma fase de tratamento da informação recolhida e posterior organização da mesma.

Nesta primeira etapa, a organização de toda a informação é uma tarefa crucial, tanto na vertente dos ligadores metálicos como das ligações estruturais. Importa salientar que permitirá, não só, ao utilizador ter acesso a uma elevada quantidade de informação, existente em inúmeros documentos, como também sustentar toda a definição da aplicação em termos gráficos e de cálculo.

De seguida, é elaborada uma síntese de todo o processo, passando pela definição de todas as fontes de informação, pormenorização da estrutura da base de dados e finalmente apresentação de uma proposta a incluir na aplicação.

### **3.2 Fontes de informação**

#### **3.2.1 Normalização**

Na Europa, os projetos de estruturas metálicas são regulados pelos designados eurocódigos estruturais desenvolvidos no seio do Comité Europeu de Normalização (CEN). Estes regulamentos têm como principal objectivo a uniformização das regras de cálculo e de dimensionamento para os vários tipos de estruturas. Os eurocódigos podem ser complementados com Anexos Nacionais, elaborados por organizações de normalização nacionais (ex.: Instituto Português da Qualidade (IPQ), para o território português), os quais contêm disposições específicas aplicáveis ao país em causa. Para além das orientações para o cálculo e dimensionamento de estruturas enunciadas nos eurocódigos, são necessárias normas

referentes a materiais, ensaios e execução (onde são definidas dimensões, propriedades mecânicas de um produto ou especificações para a qualidade mínima de execução). A *International Standard Organization* (ISO) é a organização mundial, constituída pelas várias associações nacionais de normalização, responsável pela preparação destas normas. Na eventual inexistência de uma norma para um dado produto, a sua comercialização e utilização pode ser feita ao abrigo de aprovações técnicas: a nível europeu elaboradas pela *European Organization for Technical Approvals* (ex.: *European Technical Approval* (ETA), *European Technical Approval Guideline* (ETAG)) ou a nível nacional (ex.: *Deutsches Institut für Bautechnik* (DIBT), em território alemão).

A elaboração do presente trabalho, debruçou-se maioritariamente sobre Eurocódigo 3 (EN 1993-1-8, 2005 e EN 1993-1-3, 2006) onde são estabelecidos os métodos de dimensionamento adequados para ligações sujeitas essencialmente a ações estáticas. A validade deste documento requer a satisfação da EN 1090 (EN 1090-2, 2008). Esta é organizada em três partes, das quais, a parte 2 estabelece os requisitos técnicos para a execução de estruturas em aço, nomeadamente: organização do projeto e/ou especificações de fabrico; aspetos construtivos; planos de inspeção e ensaio. No desenvolvimento da aplicação os aspetos construtivos tiveram uma importância fulcral.

A consulta das normas permitiu, não só, estabelecer os critérios de verificação no background da aplicação, como também organizar a informação necessária e a que deve ser solicitada ao utilizador. Para além disso, permitiu ainda refinar a seleção de ligadores a disponibilizar, como exemplo, refira-se: i) a eliminação de algumas subcategorias (“*Injected bolts*”, “*Clinching devices*” e “*Chemical*” da Categoria “*Special Fasteners*” e tipo de cabeça “*E-form head*” da Categoria “*Stainless Steel*”) existentes na versão anterior da base de dados (Esteves, 2013), justificada pela inexistência de normas específicas para estes ligadores; e ii) reformulação do nome da categoria “*Screws*” para “*Tapping Screws*” (parafusos auto-perfurantes) de modo a caracterizar mais corretamente a funcionalidade do tipo de ligador.

De um modo geral, como será apresentado no capítulo seguinte, podemos verificar que a maioria dos ligadores possui norma ISO, característica preferencial para integração na base de dados de ligadores. No entanto, existem alguns ligadores para os quais não existem ainda normas ISO ou CEN, mas foram integrados na base de dados por motivos de relevância e de comum utilização na construção metálica: “*Square Head*”, “*Special Fasteners*”. Nestes casos é indicado o documento, de entre os já referidos anteriormente, que viabiliza a sua aplicação.

### 3.2.2 Catálogos

A constante evolução do mercado, na área da construção civil, marcada pela incessante procura pelo melhoramento do existente e/ou criação de novas tecnologias; torna crucial ter acesso constante a todos os produtos existentes de modo a estabelecer a ligação entre o teórico e o prático.

Após a recolha de uma amostra significativa dos produtos existentes, foi possível a estruturação de uma listagem de prováveis produtos a incluir na base de dados, a forma geral de caracterização usada por parte dos seus fabricantes, e ainda uma ideia preliminar da sua organização.

Esta recolha também permitiu obter informação geral dos produtores, contactos, localização, área de negócio, importante para o utilizador na situação de desejar adquirir ou saber outros pormenores sobre o tipo de ligador selecionado.

### **3.2.3 Tabelas de pré-dimensionamento**

Hoje em dia, a engenharia civil tem ao dispor inúmeras ferramentas, desenvolvidas com o propósito de simplificar a tarefa do engenheiro. Por outro lado, não é exato que um engenheiro possua todas estas ferramentas ininterruptamente. Como referido anteriormente o processo de dimensionamento de ligações pode ser muito moroso, mesmo recorrendo a softwares de dimensionamento e cálculo estrutural. Com o intuito de auxiliar o engenheiro, em situações de inexistência/inviabilidade da utilização de recursos computacionais, tem vindo a ser desenvolvidos documentos de elementos pré-dimensionados (ex.: tabelas de ligações).

As tabelas de ligações pré-dimensionadas consistem em documentos de catalogação de diferentes tipologias de ligações previamente dimensionadas. A sua estrutura é definida de modo a um engenheiro selecionar facilmente uma ligação e através de uma quantidade reduzida de cálculos verificar a sua segurança. Este tipo de documento é elaborado para vários arranjos de elementos estruturais e propriedades (ex.: variação de nº de parafusos, dimensões de chapa, classe de aço, etc). A metodologia de dimensionamento e considerações adoptadas no processo de cálculo são estabelecidas em cada documento, possibilitando assim avaliar o âmbito da sua aplicabilidade.

O presente trabalho debruçou-se essencialmente sobre as tabelas britânicas da série *Green Books*: “*Joints in steel construction. Simple Connections to Eurocode 3*” (SCI P358, 2002), (ex.: *flexible end plate, double angle web cleats*) e “*Joints in steel construction. Moment-resistant Connections to Eurocode 3*” (SCI P398, 1997), nas quais são abordadas tipologias de

ligações sem e com capacidade de transmissão de momento fletor, respectivamente. A análise destas duas tabelas e de alguns softwares com a funcionalidade de pesquisa de elementos (ex.: “cálculo e dimensionamento de Lajes Aligeiradas Pré-esforçadas”, Leiriviga) permitiu definir a estrutura e os parâmetros a solicitar ao utilizador na aplicação, dentro da vertente de dimensionamento de ligações.

### 3.3 Estrutura da base de dados

Após a análise de todas as fontes de informação referidas na seção anterior, iniciou-se processo de estruturação da base de dados para as duas vertentes, ligadores metálicos e tipologias de ligação. Neste processo imperou não só a organização lógica dos ligadores, mas também a estrutura simples e de fácil navegação para o utilizador.

#### 3.3.1 Ligadores Metálicos

No âmbito da tese de mestrado, “Desenvolvimento de plataforma online para o sector da construção metálica” (Esteves, 2013), foi desenvolvida uma primeira proposta de base de dados de 30 ligadores metálicos, sumariamente apresentada na Tabela 3.1. A estrutura consiste na subdivisão dos ligadores em dois níveis: i) “*Sub-categories*”, divisão dos ligadores pelo material que os constitui, capacidade de aplicação de pré-esforço e tipo de ligador; ii) “*Sub-sub-categories*” por tipo de cabeça na generalidade.

Tabela 3.1 - Excerto da estrutura da base de dados (Esteves, 2013)

	Categories	Sub-categories	Sub-sub-categories
C.	Mechanical fasteners		
C.1		Non-preloaded bolting assemblies in carbon steel and alloy steel	
C.1.1			Hexagon bolts
C.1.2			Countersunk bolts
C.1.3			Socket head bolts
C.1.4			Square head bolts
C.1.5			Setscrew

A solução apresentada na presente dissertação sugere um alargamento do número total de ligadores, de 30 para 66, e a consideração de um nível adicional na estrutura. A reformulação

da base de dados anterior não incidiu sobre a totalidade das *sub-categories* abrangidas nesta (Tabela 3.2); foram consideradas apenas as *sub-categories*:

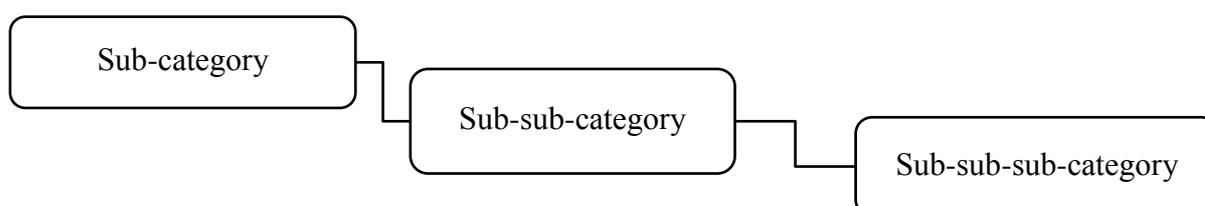
- i) *C1, Non-preloaded bolting assemblies in carbon steel and alloy steel* - parafusos de aço carbono ou alumínio sem capacidade de aplicação de pré-esforço.
- ii) *C2, Non-preloaded bolting assemblies in stainless steel* - parafusos de aço inox sem capacidade para aplicação de pré-esforço.
- iii) *C3, High-strength bolting assemblies for preloading* - parafusos de alta resistência para aplicação de pré-esforço.
- iv) *C4, Special Fasteners* - parafusos com funcionalidades especiais (ex.: *Hollo-bolt*, parafuso para fixação de elementos com acesso apenas de um dos lados; *Cartridged Fired pins*, pino de fixação geralmente utilizado para a fixação de uma elemento de alumínio a um aço carbono, aplicado com recurso a pistola de fixação).
- v) *C5, Tapping screws* (designação redefinida de modo a evidenciar a função particular do tipo de ligador inserido na sub-categoria) - parafusos auto-roscantes (parafuso com capacidade de abertura de rosca com o seu avanço), destacando-se dois tipos: *cutting screws*, removem material de modo a criar a sua própria rocas (necessitam de uma perfuração inicial); *drilling screws*, possuem uma ponta de geometria equivalente a uma broca de metal possibilitando a abertura de um furo (de diâmetro ligeiramente menor que o diâmetro nominal do parafuso) à medida que avançam, facilitando a abertura de rosca.
- vi) *C6, Blind rivets* - subclasse de rebites. Diferem do rebite normal devido à forma e método de aplicação: o rebite normal (cilindro metálico com cabeça numa das extremidades) é colocado no furo e posteriormente é batida a extremidade oposta, sem cabeça, de modo a aumentar o diâmetro em 1,5 vezes o diâmetro original. Os *blind rivets* têm a particularidade de possuir um mandril concebido para auxiliar no seu processo de fixação. O aumento de diâmetro é obtido através da aplicação de tração (com recurso a ferramenta mecânica) no mandril que obriga à deformação da ponta do rebite, evitando assim a necessidade de acesso aos dois lados das peças ligadas.

**Tabela 3.2 - Subcategorias propostas na versão anterior da base de dados (Esteves, 2013)**

	Categories	Sub-categories
<b>C.</b>	<b>Mechanical fasteners</b>	
C.1		Non-preloaded bolting assemblies in carbon steel and alloy steel
C.2		Non-preloaded bolting assemblies in stainless steel
C.3		High-strength bolting assemblies for preloading
C.4		Special Fasteners
C.5		Screws
C.6		Blind Rivets

C.7	Nails
C.8	Anchors to concrete
C.9	Stud and shear connectors

O novo nível consiste na subdivisão da segunda categoria, “*Sub-sub-category*” (Tabela 3.1), de modo a melhorar a classificação dos ligadores e simultaneamente simplificar a procura pelo utilizador. A Figura 3.1 ilustra a nova hierarquização da base de dados, identificando o nome adoptado para cada subdivisão.



**Figura 3.1 - Esquema de hierarquização da base de dados de ligadores metálicos**

Onde:

Sub-category - Categoria, organiza os ligadores de acordo com o tipo de material constituinte, capacidade de aplicação de pré-esforço e tipo de ligador.

Sub-sub-category - Tipo de Cabeça, organiza a Categoria de ligadores em função da geometria da cabeça do ligador.

Sub-sub-sub-category - Caracterização de ligador, subdivide um dado tipo de geometria de cabeça em função do tipo de roscado, ponta, tipo de aperto de ligador.

Em seguida, na Tabela 3.3, é apresentada a proposta de base de dados a utilizar na aplicação. Adicionalmente são expostas todas as normas relativas a cada categoria subdivididas por famílias de normas: i) Norma do Produto, especificação relativa aos requisitos gerais para cada *assembly* (parafuso, porca, anilha) individualmente e como conjunto; ii) Propriedades mecânicas, normas que estabelecem as propriedades mecânicas (valores mínimos e máximos) para um dado tipo de ligador e os métodos aplicáveis para controlo das respectivas propriedades; iii) Dimensionais, especificação das dimensões para os ligadores, maioritariamente, por diâmetro nominal; iv) Revestimento e Proteção, normas de especificação das propriedades mecânicas dos ligadores aquando sujeitos a diferentes condições atmosféricas; v) Simbologia e Designação, normas de especificação da simbologia, designação e marcação usada na identificação de um ligador e as suas respectivas propriedades; vi) Tolerâncias de dimensões, especificação dos desvios permitidos para cada propriedade (ex.: dimensional, mecânica) do ligador; vii) Teste/Inspeção, documento onde são estabelecidos os testes reconhecidos para o controlo das propriedades e utilização dos ligadores; viii) Propriedades de Superfície, definição das tolerâncias para as características da superfície do ligador.

Tabela 3.3 - Base de dados de ligadores metálicos

Label	Sub-category	Sub-Sub-category	Sub-Sub-Sub-category	Normas							
				Norma do Produto	Propriedades mecânicas	Dimensional	Revestimento e Proteção	Simbologia e Designação	Tolerâncias de dimensões	Teste/ Inspeção	Propriedades de Superfície
C 1	Non-preloaded bolt assemblies in carbon steel and alloy steel			ISO 15048-1			ISO 4042/ ISO 10683	ISO 225	ISO 4759-1	ISO 3269	
C 1.1	Hexagon			ISO 8992	ISO 898-1	ISO 724 ISO 888 ISO 4753	ISO 3506-1		ISO 956-1		ISO 6157-1
C 1.1.1			With shank			ISO 4014					
C 1.1.2			With thread up to head			ISO 3508 ISO 4017					
C 1.2	Countersunk								ISO 956-2 ISO 956-3		
C 1.2.1	Hexagon			ISO 8992	ISO 898-1	ISO 261 ISO 888 ISO 4753 ISO 10642					ISO 6157-1 ISO 6157-3
C 1.2.2	Hexalobular					ISO/DIS 14581					
C 1.3	Socket Head								ISO 956-2 ISO 956-3		
C 1.3.1	Hexagon			ISO 8992	ISO 898-1	ISO 261 ISO 888 ISO 4753 ISO 4762					ISO 6157-1 ISO 6157-3
C 1.3.2	Hexalobular					ISO 14579					
C 1.4	Square Head										
C 1.4.1			With collar			DIN 478					

Tabela 3.3 - Base de dados de ligadores metálicos (cont.)

Label	Sub-category	Sub-Sub-category	Sub-Sub-Sub-category	Normas							
				Norma do Produto	Propriedades mecânicas	Dimensional	Revestimento e Proteção	Simbologia e Designação	Tolerâncias de dimensões	Teste/ Inspeção	Propriedades de Superfície
C 1.4.2			With dog point			DIN 479					
C 1.4.3			with collar, short dog point and rounded end			DIN 480					
C 1.5		Setscrew		ISO 8992	ISO 898-5	ISO 261 ISO 23429	ISO 3506-3		ISO 956-2 ISO 956-3		ISO 6157-1
C 1.5.1			With flat point			ISO 4026					
C 1.5.2			With cone point			ISO 4027					
C 1.5.3			With full dog point			ISO 4028					
C 1.5.4			With cup point			ISO 4029					
C 2	Non-preloaded bolt assemblies in stainless steel			ISO 15048-1			ISO 4042 ISO 10683	ISO 225	ISO 4759-1	ISO 3269	
C 2.1		Hexagon			ISO 898-1	ISO 724 ISO 888 ISO 4753	ISO 3506-1		ISO 965-1		
C 2.1.1			With shank			ISO 4014					
C 2.1.2			With thread up to head			ISO 4017 ISO 3508					
C 2.2		Countersunk							ISO 965-2 ISO 965-3		
C 2.2.1			Hexagon		ISO 898-1	ISO 261 ISO 888 ISO 4753 ISO 10642					

Tabela 3.3 - Base de dados de ligadores metálicos (cont.)

				Normas							
Label	Sub-category	Sub-Sub-category	Sub-Sub-Sub-category	Norma do Produto	Propriedades mecânicas	Dimensional	Revestimento e Proteção	Simbologia e Designação	Tolerâncias de dimensões	Teste/ Inspeção	Propriedades de Superfície
C 2.2.2			Hexalobular			ISO/DIS 14581					
C 2.3		Socket Head							ISO 965-2 ISO 965-3		
C 2.3.1			Hexagon		ISO 898-1	ISO 261 ISO 888 ISO 4753 ISO 4762					
C 2.3.2			Hexalobular			ISO 14579					
C 2.4		Setscrew		ISO 8992	ISO 898-5	ISO 261 ISO 23429	ISO 3506-3		ISO 956-2 ISO 956-3		ISO 6157-1
C 2.4.1			With flat point			ISO 4026					
C 2.4.2			With cone point			ISO 4027					
C 2.4.3			With full dog point			ISO 4028					
C 2.4.4			With cup point			ISO 4029					
C 3	High-strength bolting assemblies for preloading			EN 14399-1 EN 14399-5 EN 14399-6	ISO 898-1	ISO 261	EN 26157-1		ISO 4759-1 ISO 965-2 ISO 965-5	ISO 3269 EN 10045-1 EN 14399-2 ISO 148	EN 26157-1
C 3.1		Hexagon									
C3.1.1			System HR	EN 493		EN 14399-3					
C3.1.2			System HV	EN 493		EN 14399-4					
C3.1.3			Fit bolts System HV	EN 6157-2		EN 14399-8					
C 3.2		Countersunk									

Tabela 3.3 - Base de dados de ligadores metálicos (cont.)

Label	Sub-category	Sub-Sub-category	Sub-Sub-Sub-category	Normas								
				Norma do Produto	Propriedades mecânicas	Dimensional	Revestimento e Proteção	Simbologia e Designação	Tolerâncias de dimensões	Teste/ Inspeção	Propriedades de Superfície	
C 3.2.1			System HR	EN 6157-2 EN ISO 4032 ISO 898-2		EN 14399-7						
C 3.3		Calibrated										
C 3.3.1			System HRC	ISO 898-2 EN 14399-3		EN 14399-10						
C 4	Tapping Screws											
C 4.1		Hexagon Head	-		ISO 2702	ISO 1479	ISO 4042 ISO 10683 ISO 3506-4					
C 4.2		Hexagon flanged head	-			ISO 10509						
C 4.3		Hexagon washer head										
C 4.3.1			with plain washer		ISO 2702	ISO 10510				ISO 6507-1		
C 4.3.2			with drilling point		ISO 10666	ISO 1478 ISO 15480	ISO 4042		ISO 4759-1	ISO 3269		
C 4.4		Pan head										
C 4.4.1			slotted	ISO 8992	ISO 2702	ISO 1478 ISO 1481	ISO 4042 ISO 10683 ISO 3506-4 ISO 16048	ISO 225	ISO 4759-1	ISO 3269		
C 4.4.2			with hexabular socket			ISO 14585						
C 4.4.3			with cross-recessed	ISO 8992 ISO 10669	ISO 2702	ISO 1478 ISO 4757 ISO 7049	ISO 4042 ISO 10683 ISO 3506-4 ISO 16048	ISO 225	ISO 4759-1	ISO 3269		

Tabela 3.3 - Base de dados de ligadores metálicos (cont.)

Label	Sub-category	Sub-Sub-category	Sub-Sub-Sub-category	Normas								
				Norma do Produto	Propriedades mecânicas	Dimensional	Revestimento e Proteção	Simbologia e Designação	Tolerâncias de dimensões	Teste/ Inspeção	Propriedades de Superfície	
C 4.4.3			with cross-recessed and drilling point		ISO 10666	ISO 1478 SO 4757 ISO 15481	ISO 4042			ISO 4759-1	ISO 3269	
C 4.5	Countersunk head											
C 4.5.1			with cross-recessed			ISO 7050						
C 4.5.2			with cross-recessed and drilling point		ISO 10666	ISO 1478 ISO 4757 ISO 7721 SO 15482	ISO 4042			ISO 4759-1	ISO 3269	
C 4.5.3			raised cross-recessed			ISO 7051						
C 4.5.4			raised cross-recessed drilling point		ISO 10666	ISO 1478 ISO 4757 ISO 7721 ISO 15483	ISO 4042			ISO 4759-1	ISO 3269	
C 4.5.5			slotted		ISO 2702	ISO 1478 ISO 1482	ISO 4042 ISO 10683 ISO 3506-4 ISO 16048	ISO 225		ISO 4759-1	ISO 3269	
C 4.5.6			slotted raised		ISO 2702	ISO 1478 ISO 1483	ISO 4042 ISO 10683 ISO 3506-4 ISO 16048	ISO 225		ISO 4759-1	ISO 3269	
C 4.5.7			with hexabular socket		ISO 2702	ISO 1478 SO 14585	ISO 4042	ISO 225		ISO 4759-1	ISO 3269	
C 4.5.8			with hexabular socket raised		ISO 2702	ISO 1478 ISO 14586	ISO 4042	ISO 225		ISO 4759-1	ISO 3269	
C 5	Blind Rivets											
C 5.1		Closed end										

Tabela 3.3 - Base de dados de ligadores metálicos (cont.)

Label	Sub-category	Sub-Sub-category	Sub-Sub-Sub-category	Normas							
				Norma do Produto	Propriedades mecânicas	Dimensional	Revestimento e Proteção	Simbologia e Designação	Tolerâncias de dimensões	Teste/ Inspeção	Propriedades de Superfície
C 5.1.1			with break pull mandrel and countersunk head -- AIA/St			ISO 15974		ISO 14588	ISO 14589	ISO 3269	
C 5.1.2			with break pull mandrel and protruding head -- AI/AIA			ISO 15975					
C 5.1.3			with break pull mandrel and protruding head -- St/St			ISO 15976	ISO 4042 ISO 4520	ISO 14588	ISO 14589	ISO 3269	
C 5.1.4			with pull mandrel and protruding head -- A2/SSSt			ISO 16585					
C 5.1.5			with break pull mandrel and protruding head -- AIA/St			ISO 15973		ISO 14588	ISO 14589	ISO 3269	
C 5.2		Open end									
C 5.2.1			with break pull mandrel and countersunk head -- AIA/St			ISO 15978					
C 5.2.2			with break pull mandrel and protruding head -- St/St			ISO 15979	ISO 4042 ISO 4520	ISO 14588	ISO 14589	ISO 3269	

Tabela 3.3 - Base de dados de ligadores metálicos (cont.)

Label	Sub-category	Sub-Sub-category	Sub-Sub-Sub-category	Normas								
				Norma do Produto	Propriedades mecânicas	Dimensional	Revestimento e Proteção	Simbologia e Designação	Tolerâncias de dimensões	Teste/ Inspeção	Propriedades de Superfície	
C 5.2.3			with break pull mandrel and protruding head -- AIA/St			ISO 15977						
C 5.2.4			with break pull mandrel and protruding head -- AIA/AIA			ISO 15981						
C 5.2.5			with break pull mandrel and countersunk head -- St/St			ISO 15980						
C 5.2.6			with break pull mandrel and countersunk head -- AIA/AIA			ISO 15982						
C 5.2.7			with break pull mandrel and countersunk head -- A2/A2			ISO 15984						
C 5.2.8			with break pull mandrel and protruding head -- A2/A2			ISO 15983	ISO 3506-1	ISO 14588	ISO 14589	ISO 3269		
C 5.2.9			with break pull mandrel and countersunk head -- Cu/St or Cu/Br or Cu/SSt			ISO 16583						

Tabela 3.3 - Base de dados de ligadores metálicos (cont.)

				Normas							
Label	Sub-category	Sub-Sub-category	Sub-Sub-Sub-category	Norma do Produto	Propriedades mecânicas	Dimensional	Revestimento e Proteção	Simbologia e Designação	Tolerâncias de dimensões	Teste/ Inspeção	Propriedades de Superfície
C 5.2.10			with break pull mandrel and protruding head -- Cu/St or Cu/Br or Cu/SSt			ISO 16582					
C 5.2.11			with break pull mandrel and protruding head -- NiCu/St or NiCu/SSt			ISO 16584					
C 6	Special Fastener										
C 6.1		Hollo-Bolt		ETA 10/0416							
C 6.2		Huck									
C 6.2.1			Bobtail	DIBT Z-14.4-591							
C 6.2.2		Magna-Grip									
C 6.2.3			Hucktainer								
C 6.2.4			C6L								
C 6.2.5			C50L								
C 6.2.6			C120L								

### 3.3.2 Ligações

A base de dados de ligações foi construída de raiz com base nas tabelas de ligações pré-dimensionadas. A proposta para a hierarquização da base de dados é de forma não intencional também subdividida em 3 categorias tal como esquematizado na Figura 3.2.

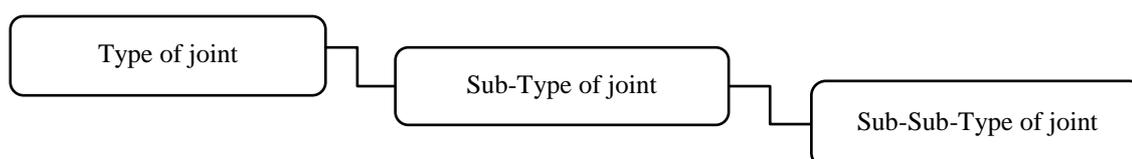


Figura 3.2 - Hierarquização da base de dados de ligações

Onde:

*Type of joint* – abrange as configurações mais gerais de ligação entre elementos estruturais(ex.: viga-coluna, viga-viga).

*Sub-Type of joint* – esta subdivisão contém soluções de ligação dentro da tipologia geral previamente escolhida.

*Sub-Sub-Type of joint* – por sua vez esta subdivisão é naturalmente uma ramificação da anterior onde o utilizador refina a sua opção em termos de geometria.

A proposta de base de dados de ligações (Tabela 3.4) apresenta 6 tipologias gerais de ligação:

- i) *C1, Column base* - Ligações entre coluna e fundação da estrutura;
- ii) *C2, Beam to Column* - Ligações entre viga e coluna;
- iii) *C3, Splices* - Ligações de emenda entre elementos estruturais;
- iv) *C4, Beam to Beam* - Ligações entre vigas;
- v) *C5, Bracing Connections* - Ligações de cantoneiras ou seções tubulares e um elemento principal com recurso a chapa de gousset;
- vi) *C6, Hollow sections* - Ligações entre elementos tubulares.

No presente documento apenas é pormenorizada a tipologia “*Beam to Column*”, *C2*, a qual é subdividida em 5 sub-tipologias: “*End Plate*”, ligação com recurso a chapa de topo; “*Fin Plate*”, ligação simples com recurso a uma chapa soldada num dos elementos e aparafusada no outro; “*Double Angle web Cleats*”, ligação com recurso a cantoneiras aparafusadas à alma da viga (ex.: chapas em L); “*Flange Cleats*”, ligação com recurso a cantoneiras aparafusadas aos banzos dos elementos estruturais; “*Welded*”, ligação totalmente soldada; “*Hybrid*”, ligação com recurso a elementos soldados e aparafusados (ex.: alma da viga aparafusada e banzos soldados à coluna).

Tabela 3.4 - Base de dados de ligações

Label	Type of joint	Sub-Type of joint	Sub-Sub-Type of joint
C 1	Column Base		
C 2	Beam to Column		
C 2.1		End Plate	
C 2.1.1			Flexible
C 2.1.2			Flush
C 2.1.3			Extended
C 2.1.4			Haunched
C 2.2		Fin Plate	
C 2.2.1			Un-notched
C 2.2.2			Single notch
C 2.2.3			Double notch
C 2.3		Double Angle Web Cleats	
C 2.3.1			Un-notched
C 2.3.2			Single notch
C 2.3.3			Double notch
C 2.4		Flange Cleats	
C 2.5		Welded	
C 2.6		Hybrid	
C 3	Splices		
C 4	Beam to Beam		
C 5	Bracing Connections		
C 6	Hollow Sections		

A proposta de estrutura para a base de dados de ligações foi estabelecida de modo a viabilizar a sua atualização (ex.: inserção de novas soluções provenientes de novas tabelas ou mesmo trabalhos experimentais) e desenvolvimento das tipologias (C1, C3, C4, C5 e C6) sem necessidade de reestruturação.

### 3.4 Implementação detalhada

Nesta seção serão apresentadas as duas base de dados com maior detalhe, de modo a clarificar alguns pontos da sua estrutura e dos elementos que esta disponibiliza.



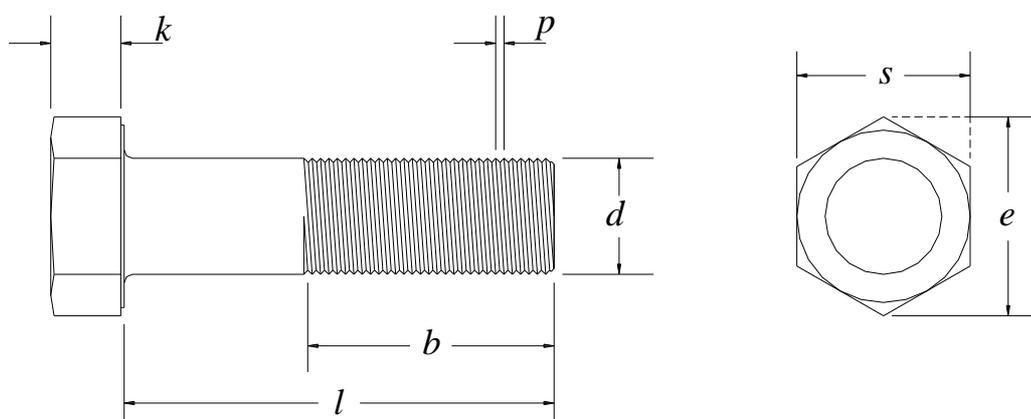


Figura 3.4 - Dimensões referentes à categoria C 1.1.1

Tabela 3.5 - Dimensões de um parafuso M12 da categoria C 1.1.1

Dimensões [mm]														
d		p	k			s		e	b		l		d <sub>m</sub>	
mín	máx nom	nom	mín	nom	máx	mín	máx nom	nom	mín	máx	mín	máx	nom	
11,57	12,00	1,75	7,21	7,50	7,79	17,50	18,00	19,85	30,00	36,00	50,00	120,00	9,85	

Tabela 3.6 - Seção transversal de um parafuso M12 da categoria C 1.1.1

Seção transversal	
A [mm <sup>2</sup> ]	113,09
A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	84,26

Tabela 3.7 - Propriedades do material de um parafuso M12 da categoria C 1.1.1

Propriedades do material		
Classe do parafuso	f <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>u</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
4.6	240	400
4.8	320	400
5.6	300	500
5.8	400	500
6.8	480	600
8.8	640	800
10.9	900	1000

De forma idêntica se faz para qualquer outro ligador na base de dados. Por exemplo, a categoria C 5.1.3 representa um *blind rivet* (C 5) de extremidade fechada (C 5.1) com quebra pelo mandril de cabeça saliente, com o corpo e o mandril constituídos por liga de aço (C 5.1.3). Como se pode concluir através da Figura 3.5 e na Tabela 3.8, as propriedades que caracterizam este tipo de ligador não são as mesmas que definem a categoria antes abordada.

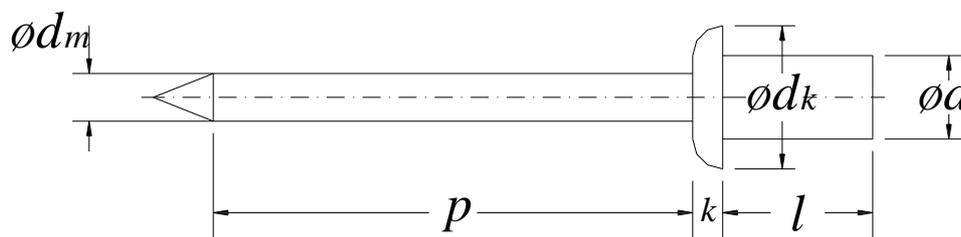


Figura 3.5 - Dimensões referentes à categoria C 5.1.3

Tabela 3.8 - Dimensões de um rebite 2,4 da categoria C 5.1.3

Dimensões [mm]									
$d$			$d_k$		$d_m$	$p$	$k$	$l$	
mín	nom	máx	mín	máx	máx	mín	máx	mín	máx
2,25	2,40	2,48	4,20	5,00	1,50	25,00	1,00	6,00	12,00

De modo natural as propriedades são um elemento variável em função do tipo de ligador, sendo sempre devidamente definidas como demonstrado pelas Figura 3.4 e Figura 3.5. No anexo A2 são apresentados alguns ligadores através da ficha tipo criada para implementação na aplicação.

### 3.4.2 Ligações

A estrutura da base de dados das ligações foi desenvolvida segundo a mesma ideologia usada para a de ligadores metálicos, isto é, o utilizador é solicitado a definir alguns dos parâmetros que servirão de auxiliar à optimização da solução.

A Figura 3.6, apresenta o procedimento de escolha, tomando como exemplo a categoria C 2.1.2. O processo consiste em: i) identificar o tipo de elementos estruturais a ligar, C 2, ligação viga-coluna; ii) definir a configuração de ligação entre elementos, C 2.1, ligação com recurso a chapa de topo (capacidade de transmissão de momento flector); iii) fixar propriedades da configuração de ligação definida antes, C 2.1.2, chapa rasa; iv) definir a secção dos elementos estruturais (viga e coluna).

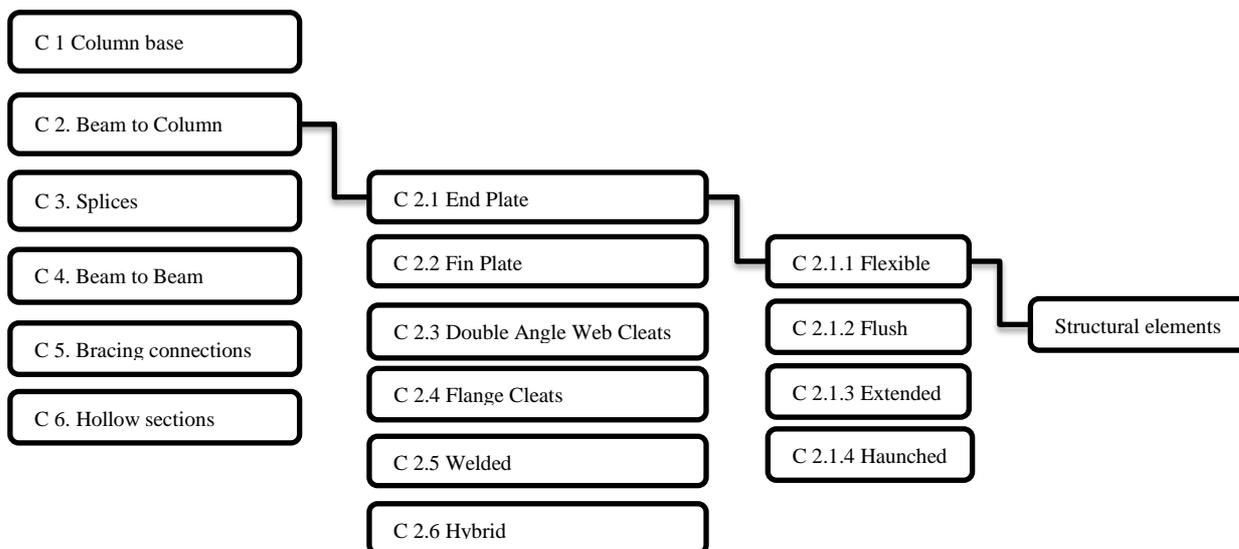


Figura 3.6 - Esquema do processo de seleção para a categoria C 2.1.2 (ligações)

As seções disponíveis para seleção serão apenas as que se enquadram nos parâmetros previamente definidos e que se encontrem simultaneamente abrangidos pelas *sources* inseridas na base de dados. Ao selecionar uma das seções disponíveis na coluna 1 é caracterizada a geometria da solução com recurso a esse mesmo perfil, tal como apresentado na Figura 3.7.

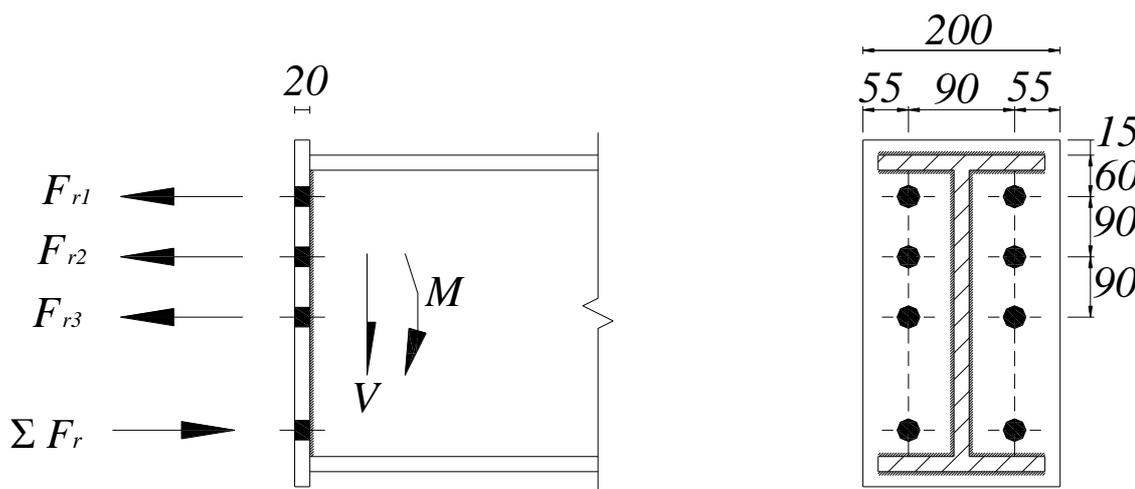


Figura 3.7 - Especificações da solução, 457 x 152 x 82 UB

## 4 PROCESSO DE CÁLCULO

### 4.1 Introdução

A definição do processo de cálculo é uma das tarefas mais importantes na criação de uma aplicação de dimensionamento, não só por estabelecer a linha condutora da metodologia de dimensionamento a usar, mas também por ser nesta fase que são estabelecidas/identificadas todas as condições/restrições a este processo. Nesta seção serão descritas todas as considerações tomadas e problemas surgidos na concepção do background de cálculo na aplicação.

### 4.2 Domínio de validade

A primeira questão que surge em relação ao processo de cálculo é o seu domínio de validade, estabelecido pelos regulamentos europeus. Segundo a cláusula 1.2 da EN 1993 Parte 1-8, existem duas abordagens em relação às referências normativas enunciadas no documento: i) quando uma destas referências possui data, apenas poderá ser substituída pela sua última versão caso haja uma atualização ou revisão da EN 1993 que enuncie essa alteração; ii) caso a referência não possua data, o documento em vigor será sempre a última versão do mesmo. Desta forma, e porque no âmbito dos ligadores metálicos a EN 1993 utiliza referências com data, o domínio de validade limita-se apenas e só às normas enunciadas neste.

Com o objectivo de avaliar quais os ligadores que se encontram abrangidos pela metodologia de dimensionamento do EN 1993, efectuou-se o cruzamento entre as normas indicadas neste regulamento e as recolhidas para a realização da base de dados. Para além do grupo de normas indicado na EN 1993, a Parte 1-3 deste regulamento especifica limites para a validade estabelecidas relativamente às propriedades geométricas e materiais dos elementos e ainda maior especificidade para alguns tipos de ligadores que não são referidos na Parte 1-8, como por exemplo “*Tapping screws*” e “*Cartridge fired*”.

Na Tabela 4.1 é feito o cruzamento entre as normas previamente identificadas para cada categoria de ligadores e as referenciadas nos Eurocódigos.

**Tabela 4.1 - Domínio de Validade dos Eurocódigos**

		C 1															
		C 1.1		C 1.2		C 1.3		C 1.4			C 1.5						
		C 1.1.1	C 1.1.2	C 1.2.1	C 1.2.2	C 1.3.1	C 1.3.2	C 1.4.1	C 1.4.2	C 1.4.3	C 1.5.1	C 1.5.2	C 1.5.3	C 1.5.4			
Dimensional	Propriedades mecânicas	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		x	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-			
		C 2															
		C 2.1		C 2.2		C 2.3		C 2.4									
		C 2.1.1	C 2.1.2	C 2.2.1	C 2.2.2	C 2.3.1	C 2.3.2	C 2.4.1	C 2.4.2	C 2.4.3	C 2.4.4						
Dimensional	Propriedades mecânicas	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-						
		x	x	x	-	x	-	-	-	-	-						
		C 3															
		C 3.1			C 3.2	C 3.2											
		C 3.1.1	C 3.1.2	C 3.1.3	C 3.2.1	C 3.2.1											
Dimensional	Propriedades mecânicas	x	x	-	-	-											
		x	x	x	-	x											
		C 4															
		C 4.1	C 4.2	C 4.3		C 4.4				C 4.5							
				C 4.3.1	C 4.3.2	C 4.4.1	C 4.4.2	C 4.4.3	C 4.4.4	C 4.5.1	C 4.5.2	C 4.5.3	C 4.5.4	C 4.5.5	C 4.5.6	C 4.5.7	C 4.5.8
Dimensional	Propriedades mecânicas	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		x	-	x	-	x	-	x	-	-	-	-	-	x	x	x	x

Tabela 4.1 - Domínio de Validade dos Eurocódigos (cont.)

		C 5												
		C 5.1					C 5.2							
		C 5.1.1	C 5.1.2	C 5.1.3	C 5.1.4	C 5.1.5	C 5.2.1	C 5.2.2	C 5.2.3	C 5.2.4	C 5.2.5	C 5.2.6	C 5.2.7	C 5.2.8
Dimensional	Propriedades mecânicas	Não especificado												
		C 6												
		C 6.1	C 6.2											
			C 6.2.1	C 6.2.2	C 6.2.3	C 6.2.4	C 6.2.5	C 6.2.6						
Dimensional	Propriedades mecânicas	-	-	-	-	-	-	-						
		-	-	-	-	-	-	-						

onde: “x” significa norma dentro do limite de validade do Eurocódigo e “-” norma fora do limite de validade do Eurocódigo.

Da Tabela 4.1 podemos concluir que o número de categorias abrangidas no domínio de validade da EN 1993 é muito reduzido, obrigando à restrição do dimensionamento dos ligadores. Apesar disso, o do dimensionamento de ligadores não foi efectuado apenas para os ligadores inseridos no limite de validade da EN 1993, tendo sido adicionados alguns ligadores para além destes e eliminados outros. Na primeira situação, considerou-se que apesar das normas não serem enunciadas, a EN 1993 estabelece cláusulas específicas para determinados ligadores (ex.: *Countersunk bolt*, EN 1993 Parte 1-8, Quadro 3.4); em outros casos assumiu-se que o método da EN 1993 oferece valores fiáveis. A eliminação de determinados ligadores deveu-se também à falta de normalização de alguns dos parâmetros indispensável ao seu dimensionamento, como é o caso das folgas para parafusos de diâmetro inferior a 12 mm; a EN 1090-2 estabelece o valor das folgas apenas para ligadores com diâmetro superior a 12 mm. Para além das duas situações anteriores, os critérios definidos pela parte 1-3 também não foram considerados no presente trabalho.

Note-se que, ao contrário do que se possa pensar as justificações apresentadas no parágrafo anterior não significam que seja impossível o dimensionamento de um dado ligador e/ou a sua utilização em obra. Na situação de se pretender recorrer a um ligador que não se insere no domínio de validade da EN 1993, ou tenha sido excluído no presente trabalho, o seu dimensionamento pode ser executado alternativamente de duas formas: i) com recurso aos valores estabelecidos nas normas respectivas; ii) utilizando os valores provenientes diretamente do produtor. Nenhum dos dois tipos de dimensionamento anteriores pode ser considerado incorreto, apenas não segue as linhas orientadoras da EN 1993. De seguida apresenta-se o resumo das categorias consideradas para dimensionamento na aplicação (Tabela 4.2).

**Tabela 4.2 - Categorias elegíveis para dimensionamento na aplicação**

<i>C 1</i>	<i>C 2</i>	<i>C 3</i>	<i>C 5</i>
<i>C 1.1</i>	<i>C 2.1</i>	<i>C 3.1</i>	<i>C 5.1</i>
<i>C 1.2</i>	<i>C 2.2</i>	<i>C 3.2</i>	<i>C 5.2</i>

Além da limitação em termos de categoria, estabeleceu-se que apenas será permitido o dimensionamento de ligadores estruturais, segundo a EN 1090-2, ligadores de diâmetro entre 12 a 64 mm, inclusive. Os rebites constituem uma exceção à limitação anterior, sendo possível o dimensionamento sem restrição de diâmetro.

### 4.3 Geometria

Na EN 1993 Parte 1-8 são estabelecidas distâncias mínimas entre o centro do furo e os bordos da chapa e entre fiadas de parafusos, em função da disposição dos parafusos, diâmetro, tipo de furos, espessura das chapas ligadas, tipo de estrutura e direção da força aplicada.

A Figura 4.1 apresenta a disposição das distâncias para a situação de uma peça traccionada; para um peça comprimida as distâncias são medidas em relação ao bordo contrário. Na aplicação, os valores das distâncias aos bordos são introduzidos pelo utilizador, sendo posteriormente verificados segundo o Quadro 3.3 da EN 1993 Parte 1-8, considerando-se que o valor introduzido será sempre o menor valor ao bordo e consequentemente mais condicionante.

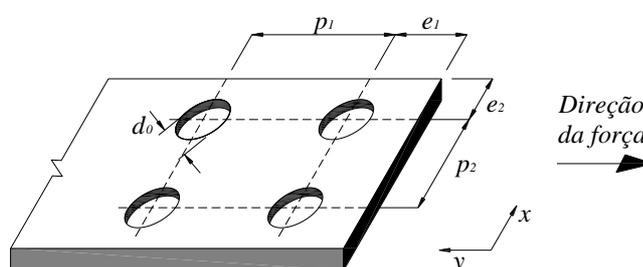


Figura 4.1 - Símbolos para as distâncias entre os eixos dos furos de peças de ligação

Todos os outros parâmetros consequentes na limitação das distâncias são totalmente configuráveis de acordo com as alternativas previstas na EN 1993 Parte 1-8.

A aplicação permitirá a introdução do número de fiadas (verticais, y, e horizontais, x), como ilustrado na Figura 4.1, onde o número total de parafusos é dado pela multiplicação de x e y. Da mesma forma, o número de chapas ligadas poderá variar, neste caso, limitado superiormente pelo comprimento máximo do parafuso e inferiormente pela “utilização” mínima do parafuso.

Cada parafuso possui um intervalo de comprimento,  $l$ , estabelecido pela respectiva norma. De forma a verificar se a ligação entre um dado número de chapas é exequível, é necessário definir o comprimento mínimo,  $l_{mín}$ , necessário para executar essa mesma ligação e confirmar se este é abrangido pelo intervalo anterior. O  $l_{mín}$  é calculado de acordo com os requisitos construtivos mínimos estabelecidos na EN 1090-2:

$$l_{mín} = \sum t + m_{mín} + l_p \quad (4.1)$$

onde,  $t$  é a espessura da chapa a ligar (definida pelo utilizador);  $m_{\min}$  é a altura mínima de uma porca do mesmo diâmetro do parafuso ( admitindo um estilo regular) ( definido pelo Quadro 1 da norma EN 898-2 para diâmetros  $\geq 12\text{mm}$  e  $\leq 39\text{mm}$ ; para diâmetros  $> 39\text{mm}$ , a cláusula 4.1 especifica  $m_{\min} \geq 0,8 d$ ;  $l_p$  é o roscado mínimo acima da porca (cláusula 8.22 da EN 1090-2, dependente da existência de pré-esforço ou não).

Cada parafuso tem associado um intervalo de comprimentos possíveis. Após o cálculo de  $l_{\min}$  é feita a verificação; caso este valor se encontre dentro do intervalo a ligação é exequível deste ponto de vista. Para se proceder às restantes verificações (ex: requisitos mínimos construtivos) e cálculos é atribuído um valor adequado de comprimento,  $l_{\text{adq}}$ , valor esse obtido através de um arredondamento de  $l_{\min}$  ao maior valor seguinte da série de valores dentro do intervalo de comprimentos definido na norma do ligador. Na Figura 4.2 representa-se o comprimento mínimo para um parafuso hexagonal. No caso de um parafuso com cabeça de embeber, o  $l_{\min}$  incluirá a cabeça do parafuso, isto é, o valor mínimo de corpo de parafuso necessário para vencer uma determinada espessura de chapas é menor visto a cabeça estar embebida.

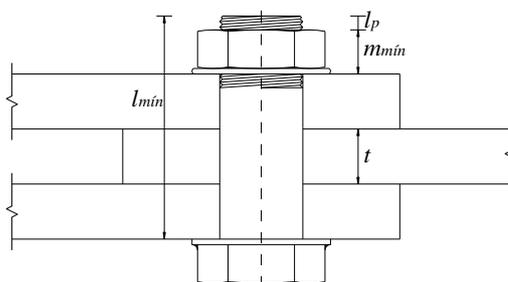


Figura 4.2 - Esquema ilustrativo das dimensões para o cálculo de  $l_{\min}$

Apesar de em algumas situações se considerar a utilização de anilhas (ex.: cláusula 3.6.1(10) e (11) da EN 1993 Parte 1-8), na aplicação não será contabilizada a sua espessura. Consequentemente, não será subtraído qualquer valor ao comprimento do parafuso referente a este tipo de elementos. No caso dos rebites a cláusula 3.6.1(16) do EN 1993 Parte 1-8 estabelece o comprimento máximo de aperto do rebite em função do tipo de rebitagem.

A “utilização” mínima de um parafuso impõe-se quando a espessura combinada das chapas a ligar é inferior ao comprimento entre a cabeça do parafuso e o primeiro fio de rosca,  $l_g$ . Nesta situação o parafuso não se encontra a fazer qualquer tipo de aperto sobre as chapas. Uma das soluções para esta situação é o recurso à utilização de anilhas, este procedimento é regido pela

cláusula 8.2.4 da EN 1090-2. Quando ocorre esta situação, a aplicação sugerirá a mudança de ligador ou o recurso a anilhas com referência à cláusula que a rege.

$$\sum t \geq l_{adq} - b_{m\acute{a}x} \quad (4.2)$$

onde,  $b_{m\acute{a}x}$  é o comprimento máximo de roscado.

Os parafusos hexagonais de rosca total, categorias *C 1.1.2* e *C 2.1.2*, constituem uma exceção à restrição 4.2. Para este tipo de ligadores, o somatório da espessura das chapas a ligar deverá ser superior a “*a*”, parâmetro estabelecido pela norma dimensional do ligador, que define a distância entre a cabeça do parafuso e o primeiro fio de rosca.

No que diz respeito ao diâmetro e tipo de furo, o utilizador possuirá a liberdade de escolha, de acordo com o tipo de ligador previamente selecionado. Como exemplo, considere-se a subcategoria de “*Fit bolts System HV*”: o dimensionamento é sempre efectuado considerando os parafusos aplicados em furos normalizados, tal como, especificado na cláusula 3.6.1(6) do EN 1993 Parte 1-8. Ao seleccionar um tipo de furo a aplicação calculará automaticamente o diâmetro do furo, somando ao diâmetro do parafuso escolhido a respectiva folga especificada no Quadro 11 da EN 1090-2.

#### 4.4 Resistência individual das peças ligadas

Na cláusula 3.4 da EN 1993 Parte 1-8 são definidas categorias de ligações aparafusadas, para cada uma dessas categorias é indicado o tipo de ligador a utilizar, intervalo de classes de parafusos adequado e os critérios de dimensionamento a verificar para cada categoria (Quadro 3.2, EN 1993 Parte 1-8). No Quadro 3.4 da EN 1993 Parte 1-8 é definido o cálculo das componentes resistentes, as quais são detalhadas individualmente em seguida.

##### 4.4.1 Resistência ao corte por plano de corte

A resistência ao corte de cada parafuso por plano de corte é dada por:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (4.3)$$

onde,  $F_{v,Rd}$  é o valor de cálculo da resistência ao esforço transversal por parafuso;  $f_{ub}$  é a tensão de rotura à tração dos parafusos e  $\gamma_{M2}$  é o coeficiente parcial de segurança para a resistência à rotura de secções transversais traccionadas em zonas com furos de ligação.

Quando o plano de corte atravessa a parte roscada do parafuso (A é a área da secção resistente do parafuso,  $A_s$ ):

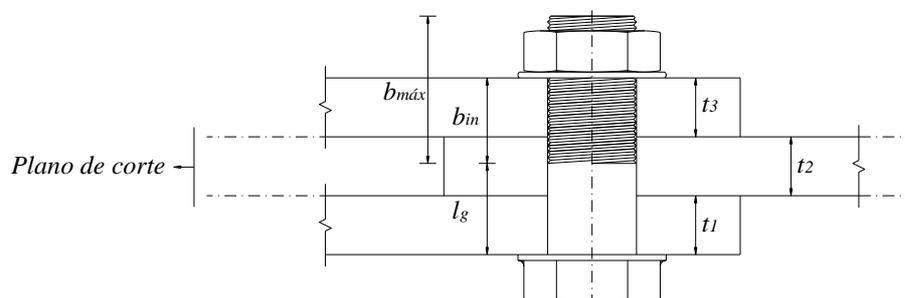
- para as classes 4.6, 5.6 e 8.8:  $\alpha_v = 0,6$
- para as classes 4.8, 5.8, 6.8 e 10.9 e parafusos de aço inoxidável ou alumínio:  $\alpha_v = 0,5$

Quando o plano de corte atravessa a parte não roscada do parafuso (A é a área da secção transversal bruta do parafuso):  $\alpha_v = 0,6$

A resistência ao corte está diretamente relacionada com a zona onde o plano de corte atravessa o parafuso, introduzindo assim a necessidade de aferição desta informação para possibilitar o cálculo da mesma. Para a resolução desta problemática foram estabelecidas algumas restrições por forma a ser desnecessário requisitar ao utilizador a localização de cada zona de corte entre chapas.

A resistência ao corte é dependente do tipo de parafuso, classe do mesmo e da zona onde atravessa o corte como se pode observar através da expressão 4.3. As duas primeiras dependências são definidas prioritariamente com a escolha do ligador, podendo ser posteriormente ajustadas, ficando então a expressão apenas dependente da zona onde atravessa o corte no parafuso, que faz variar a área do parafuso a considerar. Esta zona pode ser definida relacionando as espessuras das chapas a ligar, o comprimento mínimo (definido na secção 4.2) e o comprimento de roscado. Para uma melhor compreensão, de seguida apresenta-se um exemplo da forma como é executada a decisão entre zona roscada ou lisa na aplicação.

No esquema de 3 chapas ligadas ilustrado na Figura 4.3, identificam-se 2 planos de corte, em zonas diferentes do parafuso.



**Figura 4.3 - Exemplo de planos de corte num parafuso**

$l_g$  é comprimento não roscado do parafuso, dado por:

$$l_g = l_{adq} - b_{m\acute{a}x} \quad (4.4)$$

$b_{in}$  é o comprimento de roscado entre a parte interior da porca do parafuso e o 1º fio de rosca (do lado da cabeça do parafuso),

$$b_{in} = l_{m\acute{i}n} - m_{m\acute{i}n} - l_p - l_g \quad (4.5)$$

a verificação da expressão,

$$t_3 < b_{in} \quad (4.6)$$

permite concluir que o plano de corte entre a chapa 3 e 2 atravessa a zona roscada do parafuso. Em caso “negativo” podemos afirmar de imediato que ambos os planos de corte atravessam a zona lisa do parafuso.

Se,

$$t_3 + t_2 < b_{in} \quad (4.7)$$

então o plano de corte entre as chapas 2 e 1 encontrar-se-á na zona roscada do parafuso, caso contrário o plano de corte atravessa a zona lisa do parafuso.

O exemplo anterior pode ser alargado a um número infinito de chapas (restringido como indicado na secção 4.2) da seguinte forma:

i) considerando um número  $n$  de chapas, a posição do plano entre as chapas  $n$  e  $n-1$  está na zona roscada se,

$$t_n < b_{in} \quad (4.8)$$

ii) no caso de se verificar a restrição anterior, usamos a expressão seguinte para apurar a posição do plano de corte entre as chapas consecutivas seguintes,  $n-1$  e  $n-2$ ,

$$t_n + t_{n-1} < b_{in} \quad (4.9)$$

e assim sucessivamente,

$$t_n + t_{n-1} + \dots + t_1 < b_{in} \quad (4.10)$$

até que uma das restrições não seja verificada, nessa circunstância pode concluir-se que o plano atravessa a zona lisa do parafuso, assim como os restantes a partir daí. As expressões anteriores são estabelecidas considerando como  $n$  a chapa mais próxima da porca e  $l$  a mais próxima da cabeça do parafuso.

Apesar de não ser considerada na aplicação, a EN 1993 Parte 1-8 prevê a utilização de forras em ligações (cláusula 3.6.1(12) e (13)), sendo nesse caso aplicado um factor de redução (4.11) à resistência. A utilização de forras leva reformulação das expressões anteriores e ainda à alteração da expressão de  $l_{min}$ , que conseqüentemente altera o valor de  $l_{adq}$  para a ligação.

$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p} \text{ mas } \beta_p \leq 1 \quad (4.11)$$

onde,  $t_p$  é a maior espessura da forra utilizada.

$$l_{min} = \sum t + \sum t_p + m_{min} + l_p \quad (4.12)$$

no caso das restrições, apenas é relevante a consideração da espessura da forra se esta for colocada do lado da porca; nessa situação as restrições para determinação da zona onde atravessa o plano de corte passam a ter o seguinte aspecto,

$$t_p + t_n + t_{n-1} + \dots + t_1 < b_{in} \quad (4.13)$$

Com a zona de cada plano de corte definida a resistência ao corte da ligação é obtida facilmente pela expressão seguinte:

$$F_{v,Rd,total} = (i \times F_{v,Rd,roscado} + j \times F_{v,Rd,liso}) \times (x \times y) \quad (4.14)$$

onde,  $F_{v,Rd,roscado}$  é o valor de cálculo da resistência ao esforço transversal por parafuso, para plano de corte a atravessar a zona roscada;  $F_{v,Rd,liso}$  é o valor de cálculo da resistência ao esforço transversal por parafuso, para plano de corte a atravessar a zona lisa;  $i$ , número de planos que atravessam a zona roscada do parafuso;  $j$  é o número de planos que atravessam a zona lisa do parafuso;  $x$  é o número de fiadas de parafusos horizontais e  $y$  é o número de fiadas de parafusos verticais.

No caso dos rebites, o cálculo da resistência ao corte é independente da zona em que o plano de corte atravessa o parafuso, tal como é apresentado na expressão seguinte:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6f_{ur}A_0}{\gamma_{M2}} \quad (4.15)$$

onde,  $f_{ur}$  é a tensão de rotura à tração dos rebites e  $A_0$  é a área do furo para rebite.

É ainda de salientar que apesar desta aplicação não apresentar qualquer tipo de limitação no número de ligadores, o valor da resistência ao corte será reduzido para uma situação em que a ligação seja considerada demasiado comprida. Segundo a cláusula 3.8(1) da EN 1993 Parte 1-8 uma ligação é considerada comprida quando  $L_j$ , definido na Figura 4.4, é superior a  $15d$ , sendo  $d$  o diâmetro nominal do ligador utilizado.

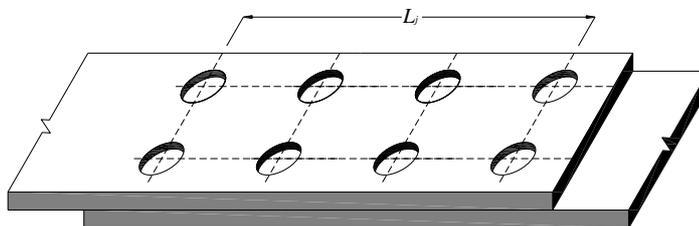


Figura 4.4 - Ligação comprida

#### 4.4.2 Resistência ao esmagamento

A resistência ao esmagamento é dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (4.16)$$

onde,  $f_u$  é a tensão última à tração do aço;  $d$  é o diâmetro nominal do ligador;  $t$  é a espessura da chapa ligada;

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\}$$

na direção de transmissão dos esforços:

- para parafusos de extremidade:  $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$
- para parafusos interiores  $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$

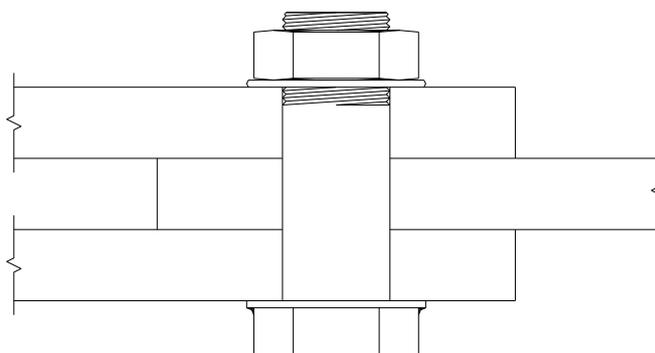
perpendicularmente à direção de transmissão dos esforços:

$$\text{- para parafusos de extremidade: } k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$\text{- para parafusos interiores: } k_1 = \min \left\{ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

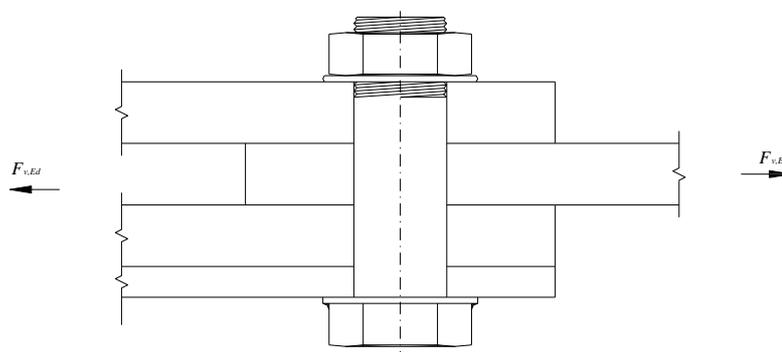
O cálculo da resistência ao esmagamento é feito em função de: i) propriedades de cada chapa ligada; ii) distâncias aos extremos da chapa; iii) diâmetro e tipo do furo; iv) classe e diâmetro do parafuso. A permissão de total liberdade na definição das propriedades das chapas a ligar introduz a necessidade de calcular individualmente a resistência de cada chapa e posteriormente somar as suas resistências em função da sua posição em relação ao ligador.

A posição da chapa em relação ao ligador é um dado importante para a verificação da segurança da ligação ou mesmo definir a posição do plano de corte. A Figura 4.5 ilustra uma ligação de 3 chapas (duas para o lado esquerdo do ligador e uma para o lado direito deste), de forma fácil se pode gerar múltiplas combinações de ligações com  $n$  número de chapas e vários arranjos do posicionamento das chapas em relação ao ligador.

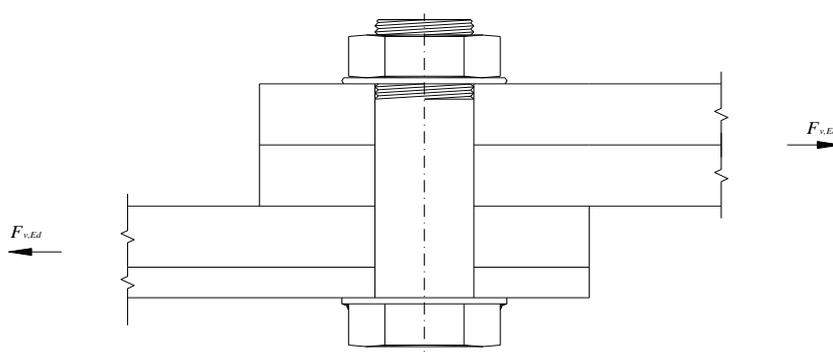


**Figura 4.5 - Exemplo de ligação com 3 chapas**

As Figura 4.6 e Figura 4.7 mostram possíveis combinações de chapas. A utilização de duas chapas consecutivas com a mesma posição em relação ao ligador é na generalidade pouco utilizado, podendo se justificar esta geometria quando ao alcance do projetista não exista uma chapa com a espessura pretendida, levando à necessidade de recurso a uma segunda de forma a completar a diferença. A situação ilustrada na Figura 4.7 é um exemplo de que apesar de existirem 4 chapas ligadas apenas existe um plano de corte.



**Figura 4.6 - Exemplo de ligação com 4 chapas**



**Figura 4.7 - Exemplo de ligação com 4 chapas com um único plano de corte**

Para além dos obstáculos referidos no parágrafo anterior deverá ser tido em consideração que a utilização de várias chapas de espessuras diferentes pode introduzir excentricidades na ligação; veja-se como exemplo as Figura 4.6 e Figura 4.7: as forças  $F_{v,Ed}$  representadas na figura, não atuam sobre a mesma linha de ação. O EN 1993 Parte 1-8 na cláusula 3.6.1(10) limita o valor de  $F_{b,Rd}$  para uma ligação de sobreposição simples com apenas uma linha de parafusos e sugere ainda a utilização de anilhas sob a cabeça e a porca. Caso sejam utilizados parafusos pré-esforçados a cláusula 3.6.1(11) especifica ainda que as anilhas deverão ser de aço endurecido.

Para ligações com mais que duas chapas a EN 1993 Parte 1-8 não estabelece qualquer especificação pelo que o cálculo da resistência é efectuado sem qualquer tipo de limitação de valor.

Com o intuito de tornar a aplicação direcionada para situações correntes, apenas se considera a configuração de chapas representada na Figura 4.8. A limitação anterior facilita não só o cálculo do número de planos de corte, a determinação da sua posição e ainda a verificação da

segurança ao esmagamento da chapa. A Figura 4.8 ilustra igualmente a numeração padrão das chapas considerada nos cálculos da aplicação.

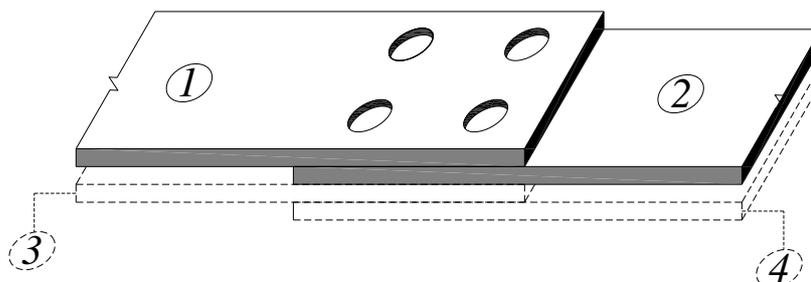


Figura 4.8 - Esquema da geometria de ligação considerada na aplicação

No Quadro 3.4 da EN 1993 Parte 1-8 são pormenorizadas algumas situações onde o valor da resistência ao esmagamento deverá ser reduzido, em função do tipo de furo em que os ligadores são aplicados. É também definida a redução da espessura da chapa mais próxima da cabeça do parafuso, caso este seja de cabeça de embeber.

Ao regular a numeração das chapas segundo a Figura 4.8 torna-se simples efetuar a verificação da segurança do conjunto de chapas ligadas ao esmagamento. Os números ímpares referem-se a chapas com continuidade para o lado esquerdo do ligador, e naturalmente os números pares ao lado a chapas com continuidade para o lado oposto. Assim, as chapas encontram-se em segurança se as restrições seguintes se verificarem:

$$F_{v,Ed} \leq \sum F_{b,Rd,impares} \quad (4.17)$$

$$F_{v,Ed} \leq \sum F_{b,Rd,pares} \quad (4.18)$$

onde,

$F_{v,Ed}$ , valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no estado limite último;

#### 4.4.3 Resistência ao escorregamento

Em ligações pré-esforçadas a força atuante é transmitida pelo atrito entre as superfícies das chapas em contacto, isto é, a resistência ao escorregamento, equações 4.19 e 4.20, presente entre as chapas permite a transmissão dos esforços aplicados. Relativamente à verificação da segurança ao escorregamento pode ser feita para estados limites últimos ou estados limites de utilização, variando apenas o coeficiente de segurança parcial entre as duas expressões:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C} \quad (4.19)$$

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} \quad (4.20)$$

onde,  $F_{s,Rd}$  é o valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite último;  $F_{s,Rd,ser}$  é o valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite de utilização;  $F_{p,C}$  é o valor de cálculo da força de pré-esforço;  $k_s$  é o parâmetro cujos valores são indicados no Quadro 3.6 EN 1993 Parte 1-8;  $n$  é o número dos planos de atrito;  $\mu$  é o coeficiente de atrito obtido por ensaios específicos para a superfície de atrito, de acordo com 1.2.7 – Norma de referência, Grupo 7, ou quando aplicável, indicado no Quadro 3.7 – EN 1993 Parte 1-8 e  $\gamma_{M3}, \gamma_{M3,ser}$  são coeficientes parciais de segurança para a resistência ao escorregamento.

Quando o valor resistência ao escorregamento é ultrapassado e a tolerância dos furos é vencida (chapa aproxima-se do ligador), a ligação passa a funcionar ao corte perdendo os benefícios da utilização de pré-esforço. A utilização de pré-esforço aumenta os cuidados a ter tanto antes, durante e após a construção da ligação com o intuito de preservar nestes períodos todas as propriedades estabelecidas no dimensionamento, evitando problemas de perda de pré-esforço, diminuição do coeficiente de atrito por presença de impurezas ou existência de corrosão por falta de proteção.

O valor de pré-esforço a utilizar nas expressões 4.19 e 4.20 é dado pela expressão seguinte definida na cláusula 3.6.1(2) da EN 1993 Parte 1-8, este valor de compressão exercido sobre as chapas permite manter ativo o atrito entre as varias superfícies.

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s / \gamma_{M7} \quad (4.21)$$

onde,  $\gamma_{M7}$  é o coeficiente parcial de segurança para parafusos de alta resistência.

A ligação encontrar-se em segurança se o valor de cálculo da resistência ao escorregamento for menor que o valor de cálculo do esforço transversal.

$$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd} \quad (4.22)$$

Na aplicação o utilizador terá liberdade na seleção do tipo de furo, classe da superfície de atrito e ainda no tipo de estado limite que pretende verificar. Sendo a geometria representado na Figura 4.8 definida como padrão para a aplicação, o número de planos de atrito corresponde ao número de planos de corte.

#### 4.4.4 Resistência ao esforço normal de tração na chapa

Para uma ligação com recurso a parafusos pré-esforçados onde é condicionante o escorregamento no estado limite último deverá ser verificada a seguinte condição de segurança:

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd} \quad (4.23)$$

onde,  $N_{net,Rd}$  é o esforço normal resistente de tração da secção útil na zona dos furos de ligação.

O valor de  $N_{net,Rd}$  é estabelecido na cláusula 6.2.3 (4) da EN 1993 Parte 1-1:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.24)$$

onde,  $A_{net}$  é a área útil de uma secção transversal calculada a partir da expressão 4.25;  $f_y$  é a tensão de cedência do aço e  $\gamma_{M0}$  coeficiente parcial de segurança para a resistência de secções transversais de qualquer classe.

$$A_{net} = (t \times (2 \times e_2 + (x - 1) \times p_2) - t \times x \times d_0) \quad (4.25)$$

onde,  $t$  é a menor espessura das chapas ligadas;  $x$  é o número de fiadas de parafusos horizontais e  $d_0$  é o diâmetro do furo para um ligador.

#### 4.4.5 Resistência à tração

Uma ligação sujeita a tração encontra-se em segurança se:

$$F_{t,Ed} \leq (x \times y) \times F_{t,Rd} \quad (4.26)$$

onde,  $F_{t,Ed}$  é o valor de cálculo do esforço de tração por parafuso no estado limite último e  $F_{t,Rd}$  é o valor de cálculo da resistência à tração por parafuso

O cálculo da resistência à tração é, de um modo geral, simples dependendo apenas do número e propriedades do ligador utilizado/s:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (4.27)$$

em que,  $A_s$  é a área da seção resistente do parafuso e  $k_2$  toma o valor de 0,63 para parafusos de cabeça de embeber,  $k_2 = 0,50$  para parafusos de alumínio ou  $k_2 = 0,90$  para outros casos.

Tanto o valor de  $k_2$  como o de  $\alpha_v$  (utilizado no cálculo da resistência ao corte), para parafusos de alumínio, são retirados do Quadro 8.5 da EN 1999. Apesar da aplicação não levar em consideração o processo de cálculo estabelecido no regulamento anterior, considera-se que a utilização pontual destes valores nas expressões da EN 1993 Parte 1-8 conduz a valores de resistências apropriados.

A cláusula 3.6.1(14) do EN 1993 Parte 1-8 sugere que no dimensionamento de rebites os esforços sejam transmitidos fundamentalmente por corte, mas para situações em que exista tração o valor de  $F_{t,Ed}$  não deverá exceder o valor  $F_{t,Rd}$ , cujo valor é calculado pela mesma expressão que para  $F_{v,Rd}$  (4.15).

#### 4.4.6 Resistência ao punçoamento

A rotura por punçoamento pode ser condicionante, para as chapas de extremidade, quando da existência de tração. Na aplicação calcula-se a resistência ao punçoamento de cada chapa de extremidade (chapa mais próxima da porca,  $B_{p,Rd,porca}$ , e a chapa mais próxima da cabeça,  $B_{p,Rd,cabeça}$ ) e posteriormente é comparado o valor mínimo das resistências obtidas com o valor de cálculo do esforço transversal,  $F_{v,Ed}$ .

$$F_{v,Ed} \leq \min(B_{p,Rd,porca}, B_{p,Rd,cabeça}) \quad (4.28)$$

onde,

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (4.29)$$

em que,  $d_m$  é o menor diâmetro médio (entre círculos inscrito e circunscrito) da cabeça do parafuso ou da porca e  $t_p$  é a espessura da chapa sob a cabeça do parafuso ou da porca.

#### 4.4.7 Combinação de corte com tração

Na situação de um ligador ser solicitado à combinação de corte com tração, a EN 1993 Parte 1-8 define a condição de segurança através da equação seguinte.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (4.30)$$

Para além da necessidade de verificação da expressão anterior, a EN 1993 Parte 1-8 na cláusula 3.9.2(1) introduz a redução do valor da resistência para ligações pré-esforçadas (4.31 e 4.32).

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}} \quad (4.31)$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} \quad (4.32)$$

#### 4.5 Comparação de métodos de dimensionamento

Apesar do processo de cálculo da EN 1993 Parte 1-3 não ter sido considerado na elaboração deste trabalho, nesta seção será efectuada uma breve comparação entre a metodologia de cálculo aí estabelecida e o adotado na EN 1993 Parte 1-8 (Tabela 4.3). Da análise da Tabela 4.3 pode-se concluir que as duas metodologias complementam-se; enquanto que a EN 1993 Parte 1-8 trata ligadores estruturais (diâmetros acima de 12 mm), a EN 1993 Parte 1-3 trata elementos de menores dimensões (ex.: diâmetro, espessura) e ainda especifica o dimensionamento para ligadores usados em ligações de elementos de chapa fina (ex.: *blind rivets*, *cartridge fired pin*, *selt-tapping screws*).

Tabela 4.3 - Comparação entre metodologias de cálculo da EN 1993 Parte 1-8 e EN 1993-1-3

		EN 1993 Parte 1-8				EN 1993 Parte 1-3			
	Tipo de Ligador	Expressão	Validade	Critério de Segurança	Observações	Expressão	Validade <sup>2)</sup>	Critério de Segurança <sup>3)</sup>	Observações
Resistência ao corte por plano de corte	Parafusos	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$	Distância aos bordos segundo Quadro 3.4; ligadores estruturais segundo a EN 1090-2;	$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$	Ver seção 4.4.1	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$	$e_1 \geq 1,0 d_0; p_1 \geq 3 d_0$ $e_2 \geq 1,5 d_0; p_2 \geq 3 d_0$ $f_u \leq 550 N/mm^2$ ; $3mm > t \geq 0,75 mm$ ; diâmetro mínimo dos parafusos: M6; Proprety classes: 4.6-10.9	$F_{v,Rd} \geq 1,2 \sum F_{b,Rd}$ ou $\sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$	Independente do plano de corte;
	Rebites	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$				-	-	-	-
	Blind rivets <sup>4)</sup>	-	-	-	-	$e_1 \geq 1,5 d; p_1 \geq 3 d$ $e_2 \geq 1,5 d; p_2 \geq 3 d$ $f_u \leq 550 N/mm^2$ ; $2,6mm \leq d \leq 6,4mm$ $(d_0 - d) \leq 0,1 mm$	$F_{v,Rd} \geq 1,2 \frac{F_{b,Rd}}{\eta_f \beta_{L_f}}$ ou $\sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$	-	
	Cartridge fired pins	-	-	-	-	$e_1 \geq 4,5 d; p_1 \geq 4,5 d$ $e_2 \geq 4,5 d; p_2 \geq 4,5 d$ $f_u \leq 550 N/mm^2$ ; $3,7mm \leq d \leq 6,0mm$ para $d = 3,7mm$ : $t_{sup} \geq 4,0mm$ para $d = 4,5mm$ : $t_{sup} \geq 6,0mm$ para $d = 5,2mm$ : $t_{sup} \geq 8,0mm$ tração: $0,5mm \leq t \leq 1,5mm$ $t_{sup} \geq 6,0mm$	$F_{v,Rd} \geq 1,5 \sum F_{b,Rd}$ ou $\sum F_{v,Rd} \geq 1,5 F_{n,Rd}$	-	
	Self-tapping screws <sup>4)</sup>	-	-	-	-	Geral: $e_1 \geq 3 d; p_1 \geq 3 d$ $e_2 \geq 1,5 d; p_2 \geq 3 d$ $f_u \leq 550 N/mm^2$ ; $3,0mm \leq d \leq 8,0mm$ tração: $0,5mm \leq t \leq 1,5mm$ $t_1 \geq 0,9mm$	$F_{v,Rd} \geq 1,2 \sum F_{b,Rd}$ ou $\sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$	-	
a ao esmagam	Parafusos	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}}$	7)	$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Ver seção 4.4.2	$F_{b,Rd} = \frac{2,5 k_t \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}}$	7)	$F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$	-
	Rebites	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}}$	-			-	-	-	-

**Tabela 4.3 - Comparação entre metodologias de cálculo da EN 1993 Parte 1-8 e EN 1993-1-3 (cont.)**

		EN 1993 Parte 1-8				EN 1993 Parte 1-3			
	Tipo de Ligador	Expressão	Validade	Critério de Segurança	Observações	Expressão	Validade <sup>2)</sup>	Critério de Segurança <sup>3)</sup>	Observações
	Blind rivets <sup>4)</sup>	-	-	-	-	$F_{b,Rd} = \frac{\alpha f_u dt}{\gamma_{M2}}$	7)	$F_{v,Rd} \geq 1,2 \frac{F_{b,Rd}}{\eta_f \beta L_f}$ ou $\sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$	-
	Cartridge fired pins	-	-	-	-	$F_{b,Rd} = \frac{3,2 f_u dt}{\gamma_{M2}}$	7)	$F_{v,Rd} \geq 1,5 \sum F_{b,Rd}$ ou $\sum F_{v,Rd} \geq 1,5 F_{n,Rd}$	-
	Self-tapping screws <sup>4)</sup>	-	-	-	-	$F_{b,Rd} = \frac{\alpha f_u dt}{\gamma_{M2}}$	7)	$F_{v,Rd} \geq 1,2 \sum F_{b,Rd}$ ou $\sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$	-
Resistência ao escorregamento	Parafusos	estados limite últimos: $F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$ estados limite de utilização: $F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C}$	Property class: 8.8 10.9	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$	Ver seção 4.4.3	-	-	-	-
	Rebites	-	-	-	-	-	-	-	-
	Blind rivets <sup>4)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cartridge fired pins	-	-	-	-	-	-	-	-
	Self-tapping screws <sup>4)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Resistência ao esforço normal de tração na chapa	Parafusos	$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}}$	7)	$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Ver seção 4.4.4	$F_{n,Rd} = \frac{(1 + 3r \left(\frac{d_u}{u} - 0,3\right)) A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$	7)	$\sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$	$F_{n,Rd} \leq \frac{A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$
	Rebites	-	-	-	-	-	-	-	-
	Blind rivets <sup>4)</sup>	-	-	-	-	$F_{n,Rd} = \frac{A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$	7)	$F_{v,Rd} \geq 1,2 \frac{F_{b,Rd}}{\eta_f \beta L_f}$ ou $\sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$	-
	Cartridge fired pins	-	-	-	-			$F_{v,Rd} \geq 1,5 \sum F_{b,Rd}$ ou $\sum F_{v,Rd} \geq 1,5 F_{n,Rd}$	-
	Self-tapping screws <sup>4)</sup>	-	-	-	-			$F_{v,Rd} \geq 1,2 \sum F_{b,Rd}$ ou $\sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$	-

Tabela 4.3 - Comparação entre metodologias de cálculo da EN 1993 Parte 1-8 e EN 1993-1-3 (cont.)

		EN 1993 Parte 1-8				EN 1993 Parte 1-3			
	Tipo de Ligador	Expressão	Validade	Critério de Segurança	Observações	Expressão	Validade <sup>2)</sup>	Critério de Segurança <sup>3)</sup>	Observações
Resistência à tração	Parafusos	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$	7)	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	Ver seção 4.4.5	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$	7)	$F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$	-
	Rebites	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$				-	-	-	-
	Blind rivets <sup>4)</sup>	-	-	-	-	$F_{t,Rd}^{*1)}$	7)	$F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$	Normalmente não são utilizados em tração;
	Cartridge fired pins	-	-	-	-			$F_{t,Rd} \geq \sum F_{o,Rd}$ ou $F_{o,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$	-
	Self-tapping screws <sup>4)</sup>	-	-	-	-			-	-
Resistência ao punçoamento	Parafusos	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$	7)	$F_{v,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Ver seção 4.4.6	-	-	-	-
	Rebites	Não é necessária verificação				-	-	-	-
	Blind rivets <sup>4)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cartridge fired pins	-	-	-	-	-	-	-	-
	Self-tapping screws <sup>4)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Pull-through resistance <sup>5)</sup>	Parafusos	-	-	-	-	$F_{p,Rd}^{*1)}$	7)	$F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$	-
	Rebites	-	-	-	-	-	-	-	-
	Blind rivets	-	-	-	-	$F_{p,Rd}^{*1)}$	7)	$F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$	Normalmente não são utilizados em tração;
	Cartridge fired pins	-	-	-	-	para cargas estáticas: $F_{p,Rd} = \frac{d_w t f_u}{\gamma_{M2}}$ para combinação de carga devido ao vento e cargas estáticas:	7)	$F_{t,Rd} \geq \sum F_{o,Rd}$ ou $F_{o,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$	Este valor assume que a anilha possui rigidez suficiente para prevenir a sua deformação apreciável ou o arrancamento da cabeça do parafuso; Na situação do ligador não se encontrar centrado na chapa o este valor deverá ser reduzido de acordo com a cláusula 8.3(7);
	Self-tapping screws <sup>4)</sup>	-	-	-	-	$F_{p,Rd} = \frac{0,5 d_w t f_u}{\gamma_{M2}}$			Este valor assume que a anilha possui rigidez suficiente para prevenir a sua deformação apreciável ou o arrancamento da cabeça do parafuso; Na situação do ligador não se encontrar centrado na chapa o este valor deverá ser reduzido de

Tabela 4.3 - Comparação entre metodologias de cálculo da EN 1993 Parte 1-8 e EN 1993-1-3 (cont.)

	EN 1993 Parte 1-8				EN 1993 Parte 1-3				
	Tipo de Ligador	Expressão	Validade	Critério de Segurança	Observações	Expressão	Validade <sup>2)</sup>	Critério de Segurança <sup>3)</sup>	Observações
Pull-out resistance <sup>6)</sup>	Parafusos	-	-	-	-	Não é necessária verificação			
	Rebites	-	-	-	-	-	-	-	-
	Blind rivets <sup>4)</sup>	-	-	-	-	Não é necessária verificação			
	Cartridge fired pins	-	-	-	-	$F_{o,Rd}^{*1)}$	7)	$F_{t,Rd} \geq \sum F_{o,Rd}$ ou $F_{o,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$	Na situação de $F_{o,Rd} \leq F_{p,Rd}$ , a capacidade de deformação deverá ser determinada por via experimental
	Self-tapping screws <sup>4)</sup>	-	-	-	-	se $\frac{t_{sup}}{s} < 1$ $F_{o,Rd} = \frac{0,45d t_{sup} f_{u,sup}}{\gamma_{M2}}$ ; se $\frac{t_{sup}}{s} \geq 1$ $F_{o,Rd} = \frac{0,65d t_{sup} f_{u,sup}}{\gamma_{M2}}$ ;			
Combinação de corte com tração	Parafusos	-	7)	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$	Ver seção 4.4.7	7)	-	$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \leq 1,0$	-
	Rebites	-	-	-	-	-	-	-	-
	Blind rivets <sup>4)</sup>	-	-	-	-	7)	-	$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \leq 1,0$	-
	Cartridge fired pins	-	-	-	-				
	Self-tapping screws <sup>4)</sup>	-	-	-	-				
<sup>1)</sup> Determinado experimentalmente. <sup>2)</sup> Poderão ser usados ligador para além do intervalo de validade definido desde que a resistência seja determinada a partir de resultados experimentais. <sup>3)</sup> Os critérios de segurança deverão ser verificados na necessidade de garantir capacidade de deformação à ligação. A sua não verificação obriga à prova de que a capacidade de deformação será providenciada por outro/s elemento estrutural. <sup>4)</sup> Os valores de resistência calculados partem da pressuposto de que a chapa mais fina se encontra junto a cabeça do ligador. <sup>5)</sup> Rotura por separação da rosca do parafuso da chapa inferior ("resistência ao arranque do parafuso"). <sup>6)</sup> Rotura por separação da cabeça do parafuso e da chapa superior ("resistência ao arranque da chapa"). <sup>7)</sup> De acordo com o domínio de validade estabelecido para a resistência ao corte por plano.						<b>Simbologia da EN 1993 Parte 1-3:</b> $\alpha$ - factor relacionado com a espessura do elemento ligado definido na Table 8.1 e Table 8.2; $\beta_{lf}$ - factor de redução para ligações compridas de acordo com a EN 1993 Parte 1-8; $d_w$ - diâmetro da anilha ou cabeça do parafuso; $f_{u,sup}$ - tensão última à tração do aço da chapa onde o parafuso ou pino é fixo; $k_t = \frac{0,8t+1,5}{2,5}$ para $0,75mm \leq t \leq 1,25mm$ ; $k_t = 1,0$ para $t > 1,25mm$ ; $n_f$ - número de ligadores numa ligação;		$t$ - espessura mais fina do elemento ligado; $t_1$ - espessura mais grossa do elemento ligado; $t_{sup}$ - espessura do elemento ao qual parafuso ou pino é fixo; $r$ =[número de parafusos na seção]/[número de parafusos na ligação]; $u = 2e_2$ mas $u \leq p_2$ ;	

## 5 DEFINIÇÃO DA INTERFACE

### 5.1 Introdução

O desenvolvimento de um software obriga à criação de uma interface. Esta é a máscara que o seu/s criador/es desenhou para tornar o software manuseável por outras pessoas. A definição da interface consiste num processo iterativo em consonância com o *background* da aplicação, isto é, o *design* escolhido tem de ser simultaneamente simples e objectivo na utilidade que se pretende dar à aplicação.

### 5.2 Interface

#### 5.2.1 Estrutura global

A aplicação descrita neste trabalho surge como um novo elemento do grupo de aplicações *ECCS: EC3 Steel Member Calculator, Steel LCA, Design of Plated Structures* (em desenvolvimento), alargando o leque de ferramentas de cálculo e matérias abrangidas. De forma a oferecer ao utilizador uma aplicação multifuncional, propõe-se a integração de todas as aplicações existentes e futuras numa só. Esta proposta é facilmente justificada visto todos os aplicativos serem desenvolvidos a partir do mesmo design de interface, tornando assim a experiência do utilizador simples e clara dentro da família de aplicações.

Ao abrir a aplicação serão apresentados, numa disposição tipo mosaico (Figura 5.1), todos os *icons* dos “antigos” e futuros (atualmente em desenvolvimento) aplicativos. A partir deste menu inicial a aplicação derivará para cada uma das ferramentas de cálculo.

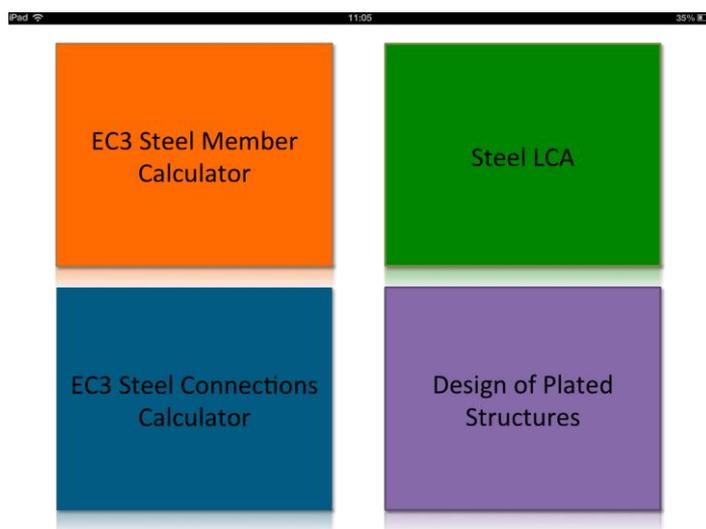


Figura 5.1 - Proposta de *layout* para a integração de todas as aplicações ECCS

### 5.2.2 Design e estrutura base

A Figura 5.2 apresenta o *design* e estrutura das aplicações *ECCS - EC3 Steel Member Calculator* e *Steel LCA*, respectivamente. Ambas as aplicações são compostas por 3 colunas com funções distintas mas ao mesmo tempo relacionadas entre si.



Figura 5.2 - Screenshot da Interface da aplicação *ECCS-EC3 Calculator* e *Steel LCA*

A primeira coluna, coluna 1, mostra a base de dados de elementos dos quais o utilizador poderá obter informações ou seleccionar para cálculo, no caso dos aplicativos representados na Figura 5.2, perfis metálicos. A coluna central, coluna 2, apresenta a imagem do tipo de perfil metálico, as suas propriedades e ainda uma listagem dos seus produtores. Na terceira coluna, coluna 3, o utilizador poderá configurar as propriedades dos elementos, os parâmetros de cálculo, entre outros.

Além da disposição em 3 colunas distintas, a interface possui ainda 5 botões comuns em todas as aplicações, são eles:

- i) Relatório, , onde se apresenta um relatório detalhado de todo o cálculo e parâmetros utilizados;
- ii) Notas, , o utilizador pode introduzir notas ao dimensionamento que está a executar nesse momento, notas essas que podem ser revistas quando este pretender;
- iii) Calcular, , usado para executar o cálculo após definir todos os parâmetros de dimensionamento;
- iv) Configurações, , o utilizador pode redefinir quais os valores ou definições que surgiram por defeito.
- v) Ajuda, , onde se apresentam informação sobre o criador, indicações para utilização da aplicação, considerações tomadas na elaboração da aplicação e ainda respostas às perguntas mais frequentes.

Tendo em consideração o já apresentado nos parágrafos anteriores e indo de encontro com os objectivos traçados para a aplicação, apresenta-se de seguida a proposta de interface, subdividida nas duas vertentes da aplicação: ligadores e ligações metálicas (Figura 5.3).

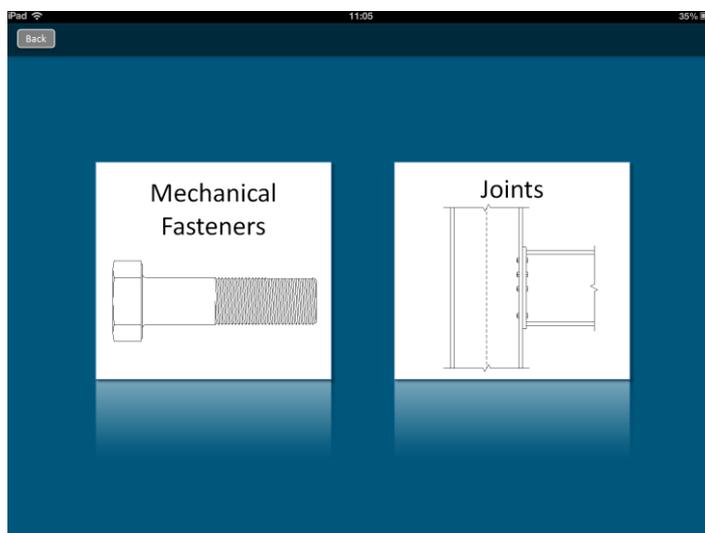


Figura 5.3 - Proposta de *Subtab*

## 5.2.3 Ligadores metálicos

### 5.2.3.1 Home

Ao seleccionar a *subtab*, “*Mechanical Fasteners*”, serão exibidas as categorias gerais de ligadores existentes na base de dados da aplicação (Figura 5.4); estas categorias estão de acordo com a hierarquização proposta na seção 3.3.1 deste documento. Nesta área o utilizador escolhe o tipo de ligador que pretende, existindo logicamente o botão retroceder para que possa voltar ao menu anterior.

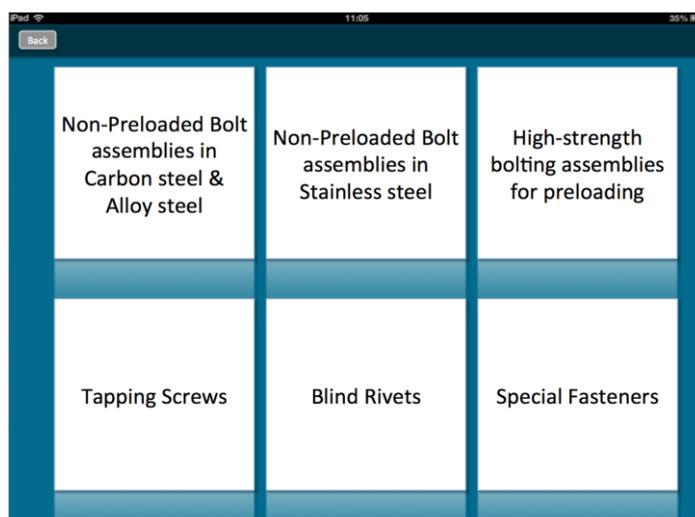
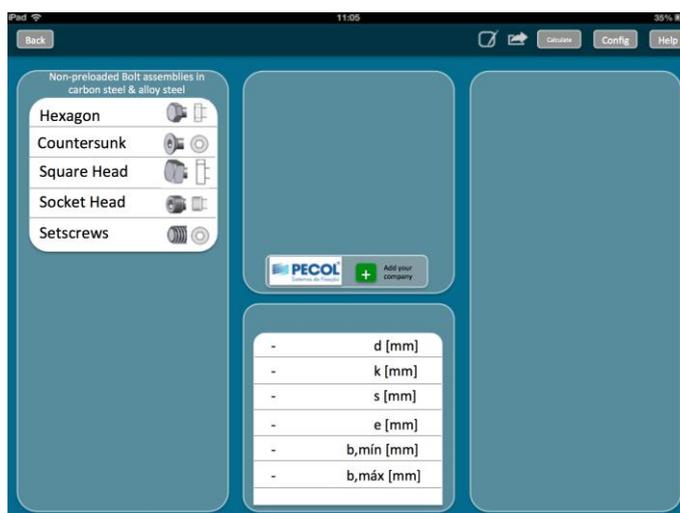


Figura 5.4 - Proposta para Home, ligadores metálicos

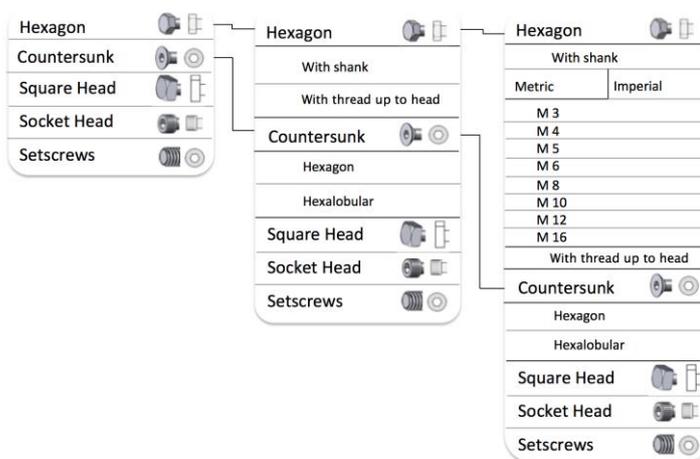
### 5.2.3.2 Coluna 1

Após escolher a categoria pretendida entrar-se-á na interface (Figura 5.5), onde inicialmente apenas serão apresentadas os tipos de cabeça do parafuso referente à categoria de ligadores seleccionada.



**Figura 5.5 - Interface após escolha de categoria de ligador**

Em conformidade com a estrutura da base de dados, o utilizador ao selecionar o tipo de cabeça, desbloqueia as subcategorias de caracterização do ligador. Por sua vez ao clicar na caracterização do ligador desejada, surgem os diâmetros disponíveis para o ligador selecionado (Figura 5.6).



**Figura 5.6 - Exemplo de funcionamento da base de dados dentro da aplicação**

### 5.2.3.3 Coluna 2

A coluna 2 apresentará as propriedades, imagem legendada do ligador e a listagem dos produtores do mesmo, com possibilidade do utilizador acrescentar os seus próprios produtores de forma a rever posteriormente (Figura 5.7).

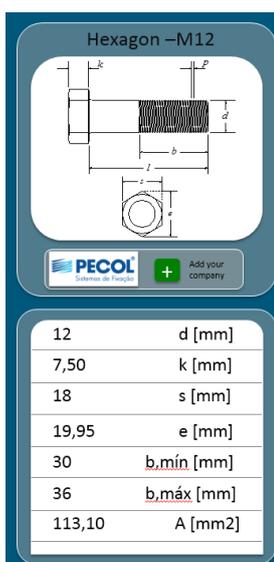


Figura 5.7 - Descrição do ligador

### 5.2.3.4 Coluna 3

Nesta última coluna o utilizador tem a possibilidade de configurar as restantes propriedades dos elementos ligados, como por exemplo, número de chapas, respectivas espessuras, qualidade de aço, disposição e número de parafusos. A Figura 5.8 apresenta um exemplo esquemático dos diversos menus à disposição do utilizador.

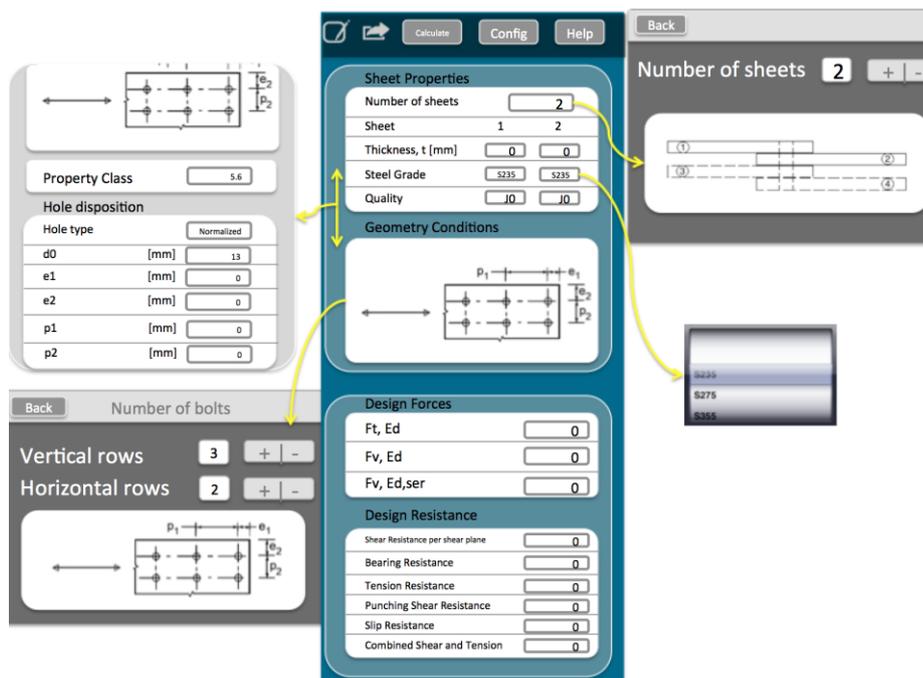


Figura 5.8 - Esquema da coluna de cálculo para parafuso normal

É de notar que a última coluna apenas será exibida para diâmetros adotados para dimensionamento, de acordo com o que foi definido na seção 4.2. Na situação de seleção de um diâmetro não adotado, aparecerá uma mensagem com a indicação de que não estão cumpridos os critérios para permissão de dimensionamento. Para além do condicionamento da dimensão do diâmetro serão restringidas ou desbloqueadas propriedades e *inputs* de acordo com o ligador previamente selecionado pelo utilizador. A *property class* será um destes casos; a listagem de classes será restringida por tipo de ligador de acordo com as linhas orientadoras das respectivas normas. Outro exemplo será a definição de alguns dos parâmetros de dimensionamento, distâncias aos extremos da chapa que variam em função do tipo de furo selecionado, ou mesmo na situação de ligadores pré esforçados será requisitado ao utilizador informação adicional (classe de atrito, direção de esforços).

Os valores dos esforços atuantes serão introduzidos nesta mesma coluna, possibilitando assim a verificação automática da segurança. Na situação de não introdução destes valores o utilizador ao clicar no botão “*Calculate*” obterá apenas os valores mais desfavoráveis de cada componente.

### 5.2.3.5 Configurações por defeito

De forma a não tornar a interface sobrecarregada com *inputs*, existirá um botão de configurações “*Extra*”. Ao clicar neste botão, serão apresentadas propriedades menos relevantes ou com um valor usual no dimensionamento, como é o caso dos factores parciais de segurança, ou ainda alterar os valores ou configurações estabelecidas por defeito como por exemplo, qualidade de aço, classe de atrito da superfície, tipo de análise, entre outras.

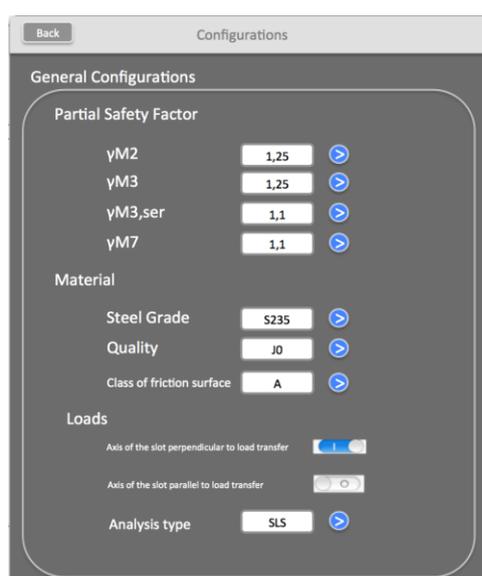


Figura 5.9 - Tab de Configurações

### 5.2.3.6 Relatório

Tal como já foi referido anteriormente na seção 5.2.2 o utilizador poderá ter acesso a um relatório de cálculo. Neste relatório será resumida a informação de cálculo: valores de cálculo resistentes, propriedades do ligador escolhido, geometria e propriedades os elementos a ligar, valores de parâmetros de dimensionamento utilizados subdivididos por resistência e ainda as verificações de segurança com os respectivos rácios. Em anexo (A-1) apresenta-se um exemplo de relatório de cálculo, sendo que este segue o *layout* dos relatórios também gerados noutras aplicações desta família. O utilizador poderá ainda enviar este relatório por e-mail, imprimir ou gravá-lo no dispositivo.

## 5.2.4 Ligações

### 5.2.4.1 Home

À semelhança do já apresentado para os ligadores metálicos, ao seleccionar o *subtab* “*joints*”, Figura 5.3, são apresentadas as tipologias correntes de ligações entre elementos estruturais (Figura 5.10).

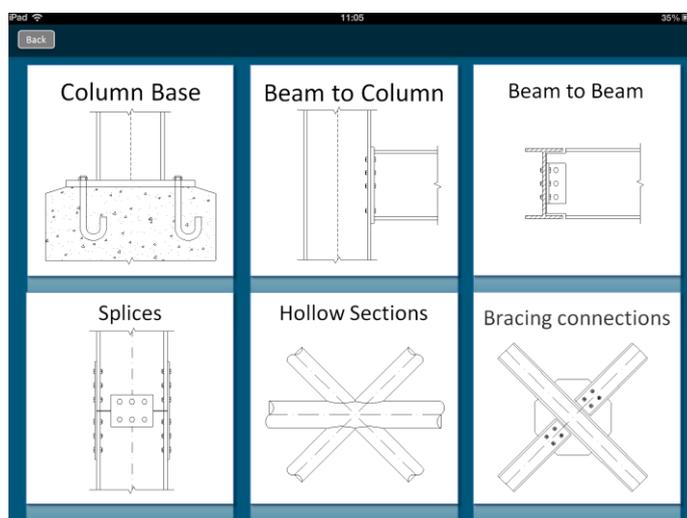


Figura 5.10 - Proposta para *Home*, Ligações

O utilizador ao seleccionar uma das tipologias de ligação é conduzido para uma nova *subtab* onde são apresentadas as respectivas sub-tipologias da categoria previamente seleccionada (Figura 5.11).

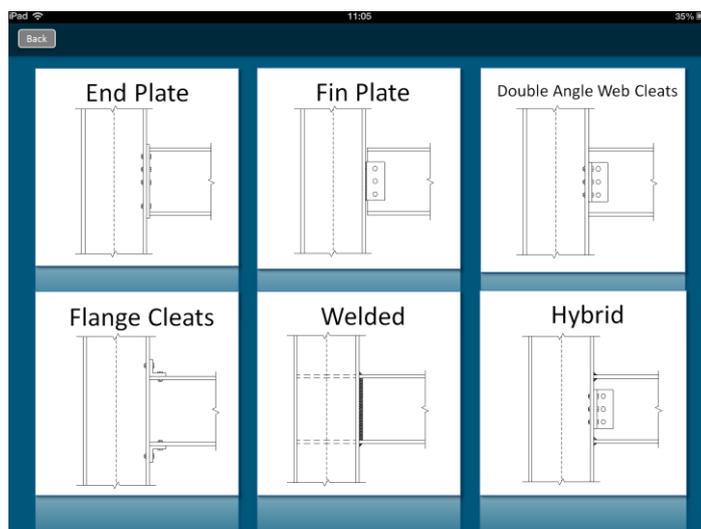


Figura 5.11 - Tab de sub-tipologia de ligação, *Beam to Column*

#### 5.2.4.2 Funcionamento Geral

Após a escolha da sub-tipologia de ligação, o utilizador entrará no interface geral da aplicação, similar à já descrita para os ligadores metálicos (Figura 5.12). O funcionamento desta interface é ligeiramente diferente da anterior. O último sub-nível apresentado na coluna 1 para os ligadores: diâmetro, depende apenas das categorias anteriores; no entanto, para o caso das ligações o processo é mais complexo: o último nível apresentado na coluna 1 após a escolha da sub-sub-tipologia, famílias de perfis, é dependente das categorias selecionadas anteriormente e simultaneamente das soluções disponíveis na base de dados.

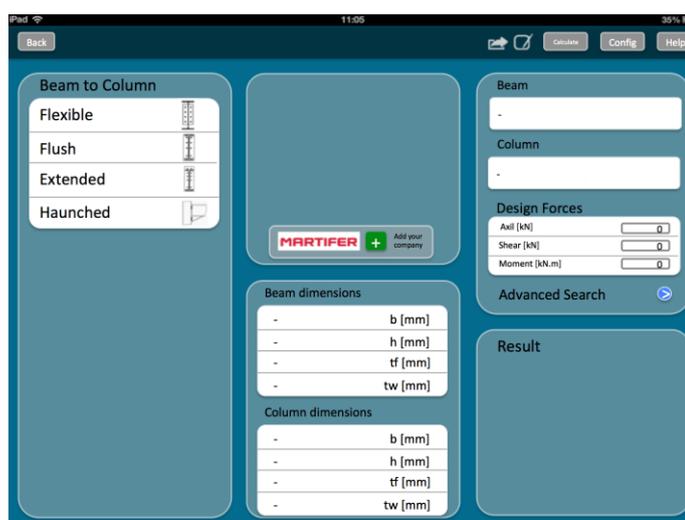


Figura 5.12 - Interface após escolha de sub-tipologia de ligação

Dado que o utilizador na primeira abordagem desta interface ainda não definiu quaisquer parâmetros para além da tipologia e correspondente sub-tipologia de ligação, ao clicar na sub-sub-tipologia pretendida serão dispostos todos os perfis possíveis por defeito, sem qualquer refinamento, divididos nos elementos estruturais constituintes da ligação (ex.: viga e coluna, Figura 5.13).

Ao clicar num dos perfis disponíveis na coluna 1 o utilizador terá, já como descrito para os ligadores, as respectivas propriedades geométricas dispostas na coluna 2 (ex.: para um perfil 686 x 254 x 152 UB na Figura 5.14). Analogamente, na parte inferior da imagem do perfil selecionado será apresentada uma listagem de potenciais metalomecânicas para a fabricação da ligação.

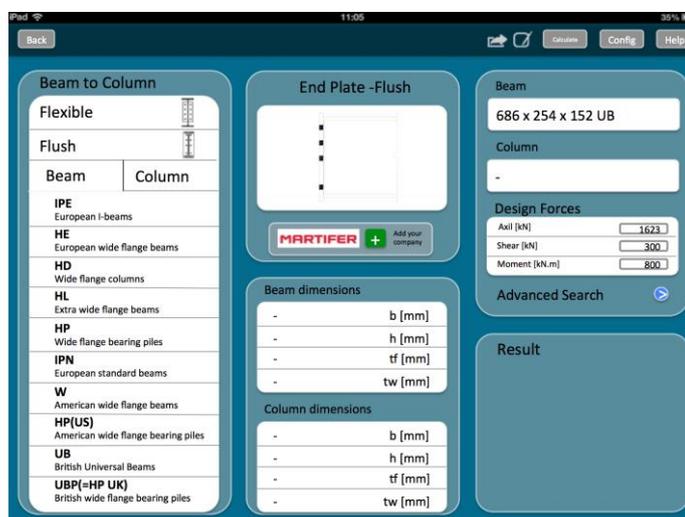


Figura 5.13 - Exemplo de comportamento da interface após escolha da sub-sub-tipologia

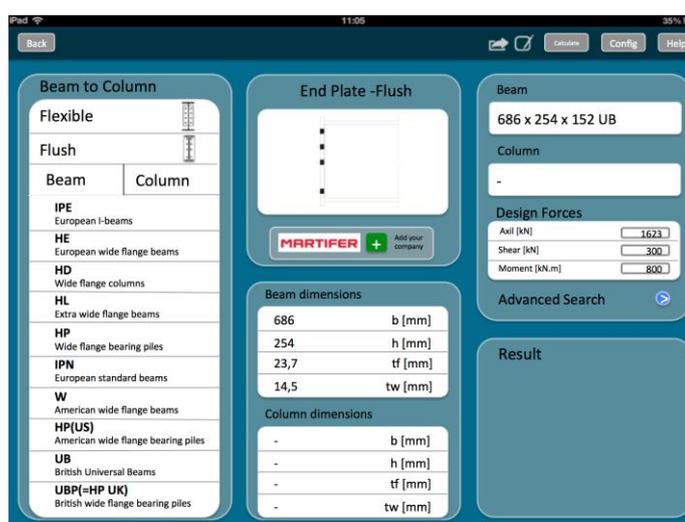


Figura 5.14 - Exemplo de comportamento da interface após escolha da seção da viga

### 5.2.4.3 Search

A coluna 3 disponibiliza duas formas de refinamento de soluções: i) básica, Figura 5.15, em que é apenas requisitado ao utilizador que escolha, na coluna 1, o perfil que pretende para os elementos estruturais (ex.: viga e coluna) e os esforços a que está sujeito o nó da ligação. Todas as outras propriedades e definições geométricas serão tomadas por defeito.

Figura 5.15 - Pormenorização do Search-Básico

ii) Avançada, Figura 5.16, ao clicar em “Advanced Search” o utilizador poderá traçar o tipo de solução que pretende através da restrição de propriedades dos elementos constituintes da ligação ou da geometria geral da mesma (ex.: eixo segundo o qual os elementos são ligados).

Figura 5.16 - Pormenorização do Search-Avançado

Como podemos ver na Figura 5.16, o utilizador poderá restringir propriedades e dimensões de um elemento específico ou num caso extremo todos os elementos constituintes da ligação. Os parâmetros a definir serão desbloqueados em função das decisões do utilizador. Ao seleccionar restringir a viga, no rolete, será automaticamente aberto um *drop-down* (nº 1 da Figura 5.16) com as propriedades disponíveis para restrição desse elemento (ex.: seção, dimensões, propriedades mecânicas). Por sua vez, a seleção de uma das opções de restrição compreendidas no *drop-down*, tornará visível os parâmetros respectivos; como exemplo: i) ao seleccionar “*Section*” tornar-se-á visível a lista de famílias perfis, nº 2 na Figura 5.16, onde o utilizador poderá especificar a seção que pretende; ii) ao seleccionar “*Dimensions*”, é desbloqueado um novo rolete onde o utilizador poderá definir que dimensão pretende restringir, através de um valor específico ou intervalo, nº3 na Figura 5.16). Devido ao número de parâmetros não ser fixo é proposto que a pesquisa avançada seja definida numa janela *pop-up*, tentando assim manter a simplicidade da interface.

#### 5.2.4.4 Resultados e Relatório

Ao clicar no botão “*Calculate*”, a coluna 3 apresentará as soluções que se enquadrem nos parâmetros pré-estabelecidos pelo utilizador, estas poderão ser dispostos de várias formas (ex.: rácio, peso de elemento). A Figura 5.17 apresenta um exemplo da disposição de resultados por rácio e o comportamento da interface aquando o *click* sobre a solução.

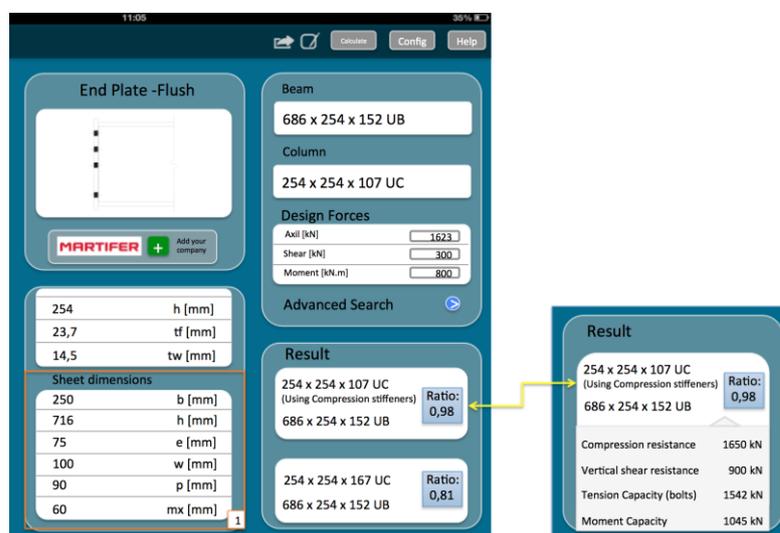


Figura 5.17 - Pormenorização dos resultados

Após o *click* sobre uma das soluções serão apresentadas as resistências de cada componente da ligação num *drop-down*; simultaneamente a coluna 2 é atualizada com informação adicional respetiva à solução (ex.: dimensões da chapa de topo, nº1 da Figura 5.17). Ao clicar

no botão de relatório o utilizador será questionado sobre quais as soluções que pretende visualizar e posteriormente gravar em formato *pdf* (localmente), imprimir ou enviar via *e-mail*.

#### 5.2.4.5 Configurações por defeito

A Figura 5.18 apresenta a *tab* das configurações para esta vertente: de modo semelhante aos ligadores, a aplicação terá por defeito algumas configurações gerais, as quais podem ser alteradas facilmente através do *click* no botão “*config*”. Nesta vertente, existe a possibilidade do utilizador poder restringir as *sources* de pesquisa, isto é, definir as tabelas de ligações ou trabalhos experimentais das quais podem ser obtidas as soluções. Poderá ainda definir quais as dimensões e/ou propriedades ativas para restringir na pesquisa avançada.

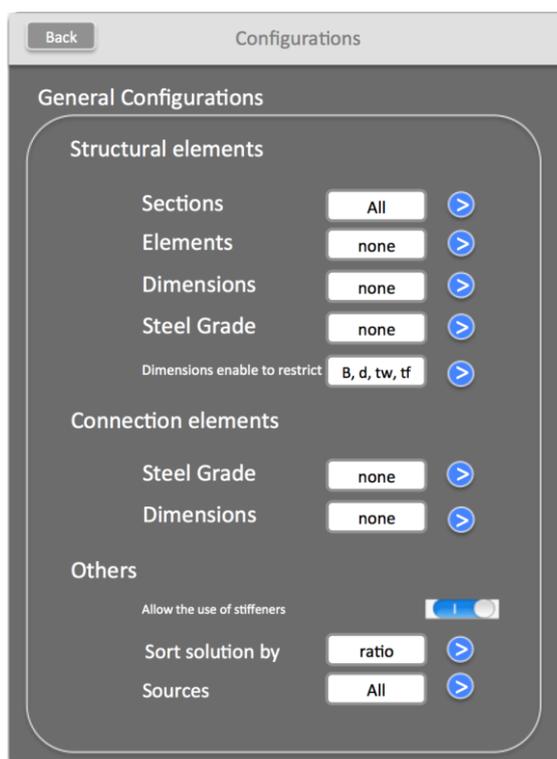


Figura 5.18 - *Tab* das configurações

## 6 IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO EM AMBIENTE EXCEL

### 6.1 Introdução

A presente dissertação não prevê o desenvolvimento informático da aplicação, mas de modo a testar as considerações e definições estabelecidas previamente foi realizada a implementação destas em ambiente *Excel*. Na presente seção será feita a validação da folha Excel através da confrontação de dois exemplos realizados na folha e o cálculo manualmente.

### 6.2 Resolução “Manual” de Exemplo

Para a validação será usado um grupo de 2 parafusos com cabeça de embeber M20 de classe 8.8 a ligar 2 chapas de espessuras 41 mm (S235) e 16 mm (S355), respectivamente. As distâncias aos extremos da chapa são dadas na Figura 6.1, os parafusos são aplicados em furos normalizados e estão sujeitos à combinação de esforço transversal (200 kN) e esforço de tração (150 kN). As restantes propriedades ou dados serão apresentados durante a demonstração dos cálculos.

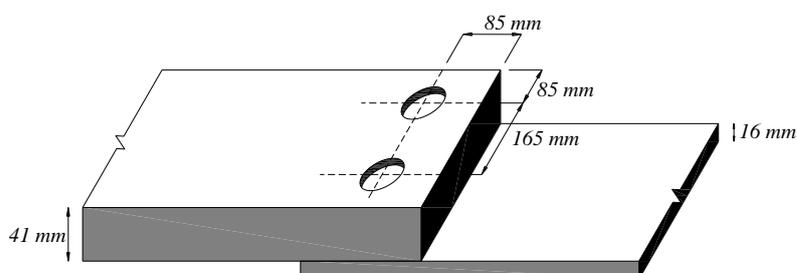


Figura 6.1 - Distâncias aos extremos e espessuras das chapas

Começa-se então pela verificação das distâncias aos extremos da chapa para uma estrutura feita de aço respeitante a EN 10025 e considerando que o aço estará exposto à ação da atmosfera ou a outras influências corrosivas (Quadro 3.3 EN 1993 Parte 1-8).

A folga de furo normalizado para um diâmetro de 20 mm, segundo a tabela 11 EN 1090-2 é de 2 mm.

$$d_0 = 20 + \text{folga} = 20 + 2 = 22 \text{ mm} \quad (6.1)$$

$$e_{1,\text{mín}} = e_{2,\text{mín}} = 1,2d_0 = 1,2 \times 22 = 26,4 \text{ mm} \quad (6.2)$$

$$e_{1,\text{máx}} = e_{2,\text{máx}} = \text{mín}\{4t + 40; 200\} = \text{mín}\{4 \times 16 + 40; 200\} = 104 \text{ mm} \quad (6.3)$$

a espessura usada para o cálculo dos limites das distâncias à extremidade da chapa é a menor espessura das chapas ligadas, neste caso 16 mm.

$$p_{2,\text{mín}} = 2,4d_0 = 2,4 \times 22 = 52,8 \text{ mm} \quad (6.4)$$

$$p_{2,\text{máx}} = \text{mín}\{14t + 40; 200\} = \text{mín}\{14 \times 16 + 40; 200\} = 200 \text{ mm} \quad (6.5)$$

Através dos valores anteriores podemos concluir que os valores arbitrados para as distâncias aos extremos da chapa ou entre parafusos são válidos pois encontram-se dentro dos intervalos limite. Além da verificação anterior, é necessário averiguar se para o diâmetro de parafuso escolhido existe um comprimento adequado. Não existindo recurso a pré-esforço o comprimento de rosca acima da porca,  $l_p$ , segundo a cláusula 8.2.2 da ISO 898-2, é de 1 fio, que corresponde a 2,5 mm para parafusos de cabeça de embeber para o diâmetro escolhido segundo a ISO 4014. A altura mínima para a cabeça da porca,  $m_{\text{mín}}$ , estabelecida na tabela A.1 da 898-2 é de 16,90 mm.

$$l_{\text{mín}} = \sum t + m_{\text{mín}} + l_p = (41 + 16) + 16,90 + 2,5 = 76,4 \text{ mm} \quad (6.6)$$

$l_{aq} = 80 \text{ mm}$  seria suficiente para unir as duas chapas, mas para este valor é inferior ao  $l_{\text{mín}}$  do ligador, assim o  $l_{aq} = l_{\text{mín}} = 100 \text{ mm}$ .

$$l_g = l_{aq} - b_{\text{máx}} = 100 - 52 = 48 \text{ mm} \quad (6.7)$$

$$\sum t > l_g \quad (6.8)$$

Como o somatório das espessuras é superior ao comprimento liso,  $l_g$ , do parafuso podemos dizer que a “função de aperto” está ativa e este ligador é apropriado à ligação. Após verificados os critérios de geometria da ligação e comprimento do ligador, inicia-se o cálculo das resistências das peças da ligação.

No caso da presente ligação, sobreposição simples, existe apenas um plano de corte, para o qual é necessário determinar a zona que atravessa o ligador. Tal como descrito na seção 4.3.1, caso a restrição seguinte se verifique o plano de corte atravessará a zona roscada.

$$t_2 < b_{in} \quad (6.9)$$

$$b_{in} = l_{min} - l_g - m_{min} - l_p = 76,4 - 48 - 16,90 - 2,5 = 9 \text{ mm} \quad (6.10)$$

Como a restrição não se verifica podendo então concluir-se que o plano de corte atravessa a zona lisa do parafuso, conseqüentemente temos  $\alpha_v = 0,6$  e  $A = 314,16 \text{ mm}^2$  de acordo com o Quadro 3.4 da EN 1993 Parte 1-8. Com base na equação 4.3 calcula-se o valor da resistência ao corte por plano de corte,  $F_{v,Rd}$ , onde  $f_{ub} = 800 \frac{N}{\text{mm}^2}$ , segundo o Quadro 3.1 da EN 1993 Parte 1-8, para parafusos de classe 8.8.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times 800 \times 10^3 \times 314,16 \times 10^{-6}}{1,25} = 120,637 \text{ kN} \quad (6.11)$$

Ao usar-se 2 parafusos na ligação a resistência ao corte será 2 vezes o valor anterior,

$$\sum F_{v,Rd} = 2 \times 120,637 = 241,275 \text{ kN} \quad (6.12)$$

$$\sum F_{v,Rd} > F_{v,Ed} \quad (6.13)$$

$$\text{Rácio} = \frac{200}{241,275} = 0,829 \exists \text{ segurança} \quad (6.14)$$

O rácio obtido é inferior à unidade podendo, assim, concluir-se que a ligação se encontra em segurança ao corte. De seguida apresenta-se o cálculo da resistência ao esmagamento da chapa, expressão 4.16; neste cálculo é necessário ter em atenção a diferença de classe de aço e espessuras das chapas ligadas. Esta consideração conduzirá a dois valores de resistência distintos, onde o menor destes será a resistência condicionante.

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} \quad (6.15)$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{85}{3 \times 22} = 1,288 \quad (6.16)$$

Como consequência da diferença na classe de aço das chapas, o valor de  $\alpha_b$  poderá variar entre as chapas se  $\frac{f_{ub}}{f_u}$  for o menor dos 3 valores condicionantes.

$$\text{Chapa 1 } t_1 > 40 \text{ mm} \rightarrow f_u = 360 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \quad (6.17)$$

$$\text{Chapa 2 } t_2 < 40 \text{ mm} \rightarrow f_u = 490 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{490} = 1,633 \quad (6.18)$$

$$\alpha_{b,1} = \alpha_{b,2} = 1,0 \quad (6.19)$$

$$\begin{aligned} k_1 &= \min \left\{ \frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} \\ &= \min \left\{ \frac{2,8 \times 85}{22} - 1,7; \frac{1,4 \times 165}{22} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5 \end{aligned} \quad (6.20)$$

Ao recorrer a parafusos com cabeça de embeber, a cláusula 2 do Quadro 3.4 da EN 1993 Parte 1-8 limita a espessura da chapa onde o parafuso é embebido,

$$t_d = t_1 - \frac{k_{nom}}{2} = 35,92 \text{ mm} \quad (6.21)$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{2,5 \times 1,0 \times 360 \times 10^3 \times 20 \times 10^{-3} \times 35,92 \times 10^{-3}}{1,25} = 517,248 \text{ kN} \quad (6.22)$$

$$F_{b,Rd,2} = \frac{2,5 \times 1,0 \times 490 \times 10^3 \times 20 \times 10^{-3} \times 16 \times 10^{-3}}{1,25} = 313,6 \text{ kN} \quad (6.23)$$

Segundo a cláusula 3.6.1 (10) da EN 1993 Parte 1-8 para uma ligação por sobreposição simples, o valor da resistência ao esmagamento deverá ser limitado. No presente caso a resistência condicionante é a obtida para a chapa 2 pelo que será verificada a premissa anterior sobre este valor.

$$F_{b,Rd,2} < \frac{1,5 \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} = \frac{1,5 \times 490 \times 10^3 \times 20 \times 10^{-3} \times 16 \times 10^{-3}}{\gamma_{M2}} = 188,16 \text{ kN} \quad (6.24)$$

Como o valor de  $F_{b,Rd,2}$  excede o valor limite estabelecido na EN 1993 Parte 1-8, a resistência ao esmagamento é tomada como o valor limite imposto.

$$F_{b,Rd,2} < F_{v,Ed} \quad (6.25)$$

$$\text{Rácio} = \frac{200}{188,16} = 1,063 \nexists \text{ segurança} \quad (6.26)$$

Caso exista tração, é ainda necessário verificar a resistência à tração e ao punçoamento. Através da expressão 4.19 calcula-se a resistência à tração:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,63 \times 800 \times 10^3 \times 244,79 \times 10^{-6}}{1,25} = 98,699 \text{ kN} \quad (6.27)$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 \times 98,699 = 197,399 \text{ kN} \quad (6.28)$$

$$\sum F_{t,Rd} = 2 \times 98,699 = 197,399 \text{ kN} \quad (6.29)$$

$$\sum F_{t,Rd} < F_{t,Ed} \exists \text{ segurança} \quad (6.30)$$

onde  $k_2 = 0,63$  (parafusos com cabeça de embeber)

Para o cálculo da resistência ao punçoamento, expressão 4.21, é necessário ter em atenção as diferentes espessuras das chapas,  $t_p$ , assim como a utilização de classes de aço diferentes; assim a resistência para as duas chapas é dada por:

$$t_p = \text{mín}\{41; 16\} = 16 \text{ mm} \quad (6.31)$$

$$B_{p,Rd,1} = \frac{0,6 \times \pi \times 16,933 \times 10^{-3} \times 41 \times 10^{-3} \times 360 \times 10^3}{1,25} = 376,887 \text{ kN} \quad (6.32)$$

$$B_{p,Rd,2} = \frac{0,6 \times \pi \times 16,933 \times 10^{-3} \times 16 \times 10^{-3} \times 490 \times 10^3}{1,25} = 200,189 \text{ kN} \quad (6.33)$$

Neste exemplo a menor resistência, e por isso condicionante, corresponde à resistência da chapa de menor espessura.

$$B_{p,Rd,2} > F_{t,Ed} \tag{6.34}$$

$$\text{Rácio} = \frac{150}{200,189} = 0,749 \exists \text{ segurança} \tag{6.35}$$

Por fim verifica-se a solicitação da ligação à combinação de ações através da expressão 4.23.

$$\frac{200}{241,275} + \frac{150}{1,4 \times 197,399} = 1,372 > 1,0 \nexists \text{ segurança} \tag{6.36}$$

Além de não se verificar a segurança para a combinação de ações anterior, conclui-se ainda que esta é a condição mais condicionante à segurança da ligação.

### 6.3 Resolução do exemplo Excel

Nesta seção será então descrita a resolução do exemplo enunciado na seção anterior recorrendo a folha de Excel desenvolvida sobre as considerações estabelecidas ao longo deste documento.

**Características da Ligação**

número de chapas ligadas	2	
espessura, t [mm]	1 41	2 16
Classe de aço	S 235	S 355
fy [N/mm <sup>2</sup> ]	215	355
fu [N/mm <sup>2</sup> ]	360	490

**Tipologia** *Simples* **Tipo de rebatagem**

nº de fiadas de parafusos verticais	2
nº de fiadas de parafusos horizontais	1

**Tipo de furo** *Normal round holes*

**Conformidade do Aço** *Estruturas feitas de aços respeitando a EN 10025 com exceção dos aços respeitando a EN 10025-5*

**Exposição/protecção do Aço** *Aço exposto à atmosfera ou a outras influências corrosivas*

e1 [mm]	85	Verifica
e2 [mm]	85	Verifica
p1 [mm]		Desnecessária a Verificação!
p2 [mm]	165	Verifica

**Resistências**  
**Inputs**  
**Célula Configurável**  
**Verificações**

**Coefficientes parciais de segurança**

yM0	1
yM2	1,25
yM3	1,25
yM3_ser	1,1
yM7	1,1

OK

Figura 6.2 - Printscreen da aplicação em ambiente Excel - Zona de configuração de ligação

A Figura 6.2 apresenta a parte da folha de *Excel* onde o utilizador pode configurar as características principais da ligação. No canto superior esquerdo da figura encontra-se a zona onde o utilizador pode definir o tipo de ligador que pretende usar, esta escolha é feita através de listas interdependentes, isto é, a escolha de uma dada categoria condiciona as subcategorias disponíveis para escolha e assim sucessivamente de acordo com a hierarquização proposta na seção 3.4. No lado direito da zona anterior o utilizador poderá introduzir o número de chapas, respectivas propriedades (espessura, classe de aço), número de ligadores, tipo de furo, distâncias aos extremos da chapa e entre parafusos e ainda os restantes parâmetros de forma a possibilitar a verificação das mesmas. Como podemos observar na Figura 6.3 já estão inseridos todos os dados gerais da ligação e do ligador.

**Valor de Cálculo da Resistência individual**

**Resistência ao corte or plano de corte**

fub [N/mm2]	800
Fv,Rd	77,2078

**Resistência ao esmagamento**

Direção do maior eixo	perpendicular à direção de transmissão de esforços			
ad	de extremidade	1	1	
	interiores			
k1	de extremidade	2,5		
	interiores			
Factor de redução	devido ao furo	1		
Fb,Rd				150,5280

**Resistência à Tração**

k2	0,9
Ft,Rd	90,2419

**Resistência ao punçãoamento**

Bp,Rd	160,1499
-------	----------

**Valor de Cálculo de Pré-esforço**

Fp,Cd	Não Aplicável
-------	---------------

**Valor da Resistência ao escorregamento**

número de planos de atrito	1
Tipo de verificação	ELU
ks	1
Classe da Superfície de Atrito	C
Fs,Rd	Não Aplicável

**Resistência ao esforço normal de tração na chapa**

Anet	
Nnet,Rd	Não Aplicável

Figura 6.3 - *Printscreen* da aplicação em ambiente *Excel* - Zona de apresentação de valores

Por último, a Figura 6.4 apresenta a verificação de segurança da ligação em relação aos esforços aplicados, inseridos pelo utilizador. Podemos concluir que a folha de *Excel* encontra-se bem definida visto que ambas as resoluções produzem os mesmos valores, podendo variar apenas em décimas. Para além desta ligação, a folha de cálculo *Excel* foi testada para outras configurações de ligação (não apresentadas neste trabalho) de modo a ajudar na depistagem de erros e até execução de ajustes nos critérios a usar.

Verificação de esforços			
Fv,Ed		200	
Ft,Ed		150	

Verificação do parafuso ao corte	Não Verifica	154,4156	1,2952
Verificação ao esmagamento da chapa	Não Verifica	150,5280	1,3287
Verificação do parafuso à tração	Verifica	180,4838	0,8311
Verificação ao punçoamento da chapa	Verifica	160,1499	0,9366
Verificação à resistência ao esforço normal de tração na chapa	Não Aplicável	Não Aplicável	Não Aplicável
Verificação da resistência ao escorregamento	Não Aplicável	Não Aplicável	Não Aplicável
Verificação à combinação de corte com tracção	Não Verifica	-	1,8888

Figura 6.4 - *Printscreen* da aplicação em ambiente *Excel* - Zona de verificação de esforços

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 Conclusões

O presente trabalho permitiu confirmar o imenso potencial que os dispositivos móveis têm para oferecer do domínio da engenharia civil.

Apesar de ainda não estar disponível a aplicação, podemos afirmar que esta trará inúmeros benefícios para a engenharia civil na área das ligações metálicas: na vertente dos ligadores metálicos, i) introduz, possivelmente, um dos mais completos catálogos digitais de ligadores metálicos disponíveis no mercado, abrangendo não só as características básicas do ligador mas também os respectivos elementos normativos e ainda os seus produtores; ii) oferece uma ferramenta de dimensionamento de ligações baseada no EN 1993 Parte 1-8, simples e intuitiva, contrariamente aos complexos softwares existentes; iii) estrutura de base de dados preparada para inserção de novos ligadores. Na vertente das ligações, i) oferece a possibilidade de procurar, verificar ou, ainda, pré-visualizar uma solução de ligação estrutural, evitando todo o processo integral de dimensionamento que muitas vezes se torna moroso; ii) incorpora as inúmeras fontes de elementos de pré-dimensionamento (ex.: tabelas, ensaios experimentais) num só local.

Do ponto de vista global, a aplicação permite transportar um conjunto de ferramentas de dimensionamento estrutural, que até há bem pouco tempo apenas se encontravam disponíveis para computador diretamente para um dispositivo móvel. A proposta de integração de todas as aplicações *ECCS* permitirá oferecer ao utilizador um maior leque de funcionalidades numa só ferramenta, e ainda possibilitará a junção de todas as bases de dados.

### 7.2 Sugestões para trabalhos futuros

Ao longo deste trabalho foram surgindo algumas ideias sobre potenciais trabalhos de continuação e/ou complemento desta: i) implementação da metodologia de cálculo estabelecida pela EN 1993 Parte 1-3, de modo a aumentar o leque de ligadores dimensionáveis; ii) incremento da base de dados atual de ligadores metálicos com a recolha e análise de elementos normativos (ex.: normas Americanas); iii) implementação da vertente de ligações metálicas em ambiente *Excel* e o respectiva recolha de *sources* de ligações pré-dimensionadas, e finalmente, a concretização da aplicação em ambiente informático.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NP EN 1993-1-1:2005 (2010a). “Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios”. European Standard, Commission of the European Communities, Bruxelas.
- NP EN 1993-1-8:2005 (2010b). “Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço – Parte 1-8: Projecto de ligações”. European Standard, Commission of the European Communities, Bruxelas.
- EN 1993-1-3:2006 (2006). “Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting”. European Standard, Commission of the European Communities, Bruxelas.
- EN 14399-1 (2005). “High-strength structural bolting assemblies for preloading – Part 1: General requirements”. European Standard, Commission of the European Communities, Brussels
- EN 14399-3 (2005) “High-strength structural bolting assemblies for preloading – Part 3: System HR – Hexagon bolt and nut assemblies”. European Standard, Commission of the European Communities, 2005b.
- EN 14399-4 (2005). “High-strength structural bolting assemblies for preloading – Part 4: System HV – Hexagon bolt and nut assemblies”. European Standard, Commission of the European Communities, Brussels.
- EN 14399-8 (2007). “High-strength structural bolting assemblies for preloading – Part 8: System HV – Hexagon fit bolt and nut assemblies”. European Standard,, Commission of the European Communities, Brussels.
- EN 14399-10 (2009a). “High-strength structural bolting assemblies for preloading – Part 10: System HRC – Hexagon bolt and nut assemblies“. European Standard, Commission of the European Communities, Brussels.
- EN 15048-1 (2007). “Non-preloaded structural bolting assemblies – Part 1: General requirements”. European Standard, Commission of the European Communities, Brussels.
- EN 1090-2 (2008) “Execution of steel structures and aluminum structures - Part 2: Technical requirements for steel structures” European Standard, Commission of the European Communities, Brussels.
- Esteves, C. (2013). “Desenvolvimento de plataforma online para o sector da construção metálica”. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra, (em curso).

- Faella, C., Piluso, V. and Rizzano, G. (2000). “Structural steel semirigid connections : theory, design and software” . .
- ISO 10642 (2004). “Hexagon socket countersunk head screws”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva .
- ISO 4014 (2011). “Hexagon head bolts – Product grades A and B”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 4016 (2011). “Hexagon head bolts – Product grades C”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 4017 (2011). “Hexagon head screws – Product grades A and B”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 4026 (2003). “Hexagon socket set screws with flat point”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 4027 (2003). “Hexagon socket set screws with cone point”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 4028 (2003). “Hexagon socket set screws with dog point”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 4029 (2003). “Hexagon socket set screws with cup point”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 4762 (2004). “Hexagon socket head cap screws”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 14585 (2011). “Hexalobular socket pan head tapping”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 14586 (2011). “Hexalobular socket countersunk head tapping screws” International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 1481 (2011). “Slotted pan head tapping screws”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 1482 (2011). “Slotted countersunk (flat) head tapping screws” International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 1483 (2011). “Slotted raised countersunk (oval) head tapping screws” International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 15482 (1999). “Cross recessed countersunk head drilling screws with tapping screw thread”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.

- ISO 10666 (1999). “Drilling screws with tapping screw thread – Mechanical and functional properties”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 15480 (1999). “Hexagon washer head drilling screws with tapping screw thread”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 15481 (1999). “Cross recessed pan head drilling screws with tapping screw thread”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 15483 (1999). “Cross recessed raised countersunk head drilling screws with tapping screw thread”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 10510 (1999). “Tapping screw and washer assemblies with plain washers”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 7049 (2011). “Cross-recessed pan head tapping screws”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 2702 (2011) “Heat-treated steel tapping screws – Mechanical properties”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 15973 (2000). “Closed end blind rivets with break pull mandrel and protruding head – AIA/St”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 15974 (2000). “Closed end blind rivets with break pull mandrel and countersunk head – AIA/St”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 15976 (2002). “Closed end blind rivets with break pull mandrel and protruding head – St/St”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 15983 (2002). “Open end blind rivets with break pull mandrel and protruding head – A2/A2”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 15979 (2002). “Open end blind rivets with break pull mandrel and protruding head – St/St”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 4033 (2012). “Hexagon nuts, style 2 – Product grades A and B” International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 4032 (2012). “Hexagon nuts, style 1 – Product grades A and B” International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 898-1 (2009). “Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 1 Bolts, screws and studs with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.

- ISO 898-2: 2012 “Mechanical properties of properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 2: Nuts with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread” International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 3506-1:2009. “Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners – Part 1: Bolts, screws and studs”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 3506-2 (2009). “Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners – Part 2: Nuts”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 3506-2 (2009). “Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners – Part 2: Nuts”. International Standard, the International Organization for Standardization, Geneva.
- Gervásio, H., Simões da Silva, L. (2007). “Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas: Métodos Avançados”. CMM - Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, Coimbra.
- Santiago, A., Simões da Silva, L. (2003). “Manual de Ligações Metálicas”. CMM-Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, Coimbra.
- Simões da Silva, L. (2005). “Ligações metálicas: métodos avançados de análise e dimensionamento.” Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra.
- Simões, R. (2007). “Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas”. CMM - Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, Coimbra.
- Oldham, R., Wolstenholme, A., (2012). “Cost Planning Through Design Stages”. The Steel Insight Series. 2nd Volume, Tata Steel, Gardiner & Theobald and BCSA.
- SCI P358, (2002). “Joints in steel construction. Simple Connections to Eurocode 3”. the Steel Construction Institute, Tata Steel and the British Constructional Steelwork Association, United Kingdom
- SCI P398, (1997). “Joints in steel construction. Moment-resistant Connections to Eurocode 3”. the Steel Construction Institute, Tata Steel and the British Constructional Steelwork Association, United Kingdom

## ANEXOS

### A-1 Relatório-tipo de Dimensionamento

#### Summary of Results

---

**Fastener: C 1.2.1 – Countersunk Hexagon - Non-preloaded bolt assemblies in carbon steel and alloy steel**

**Shear Resistance per Shear plane**

**F<sub>v,Rd</sub> [kN]: 241,275**

**Bearing Resistance**

**F<sub>b,Rd</sub> [kN]: 188,16**

**Tension Resistance**

**F<sub>t,Rd</sub> [kN]: 197,399**

**Punching Shear Resistance**

**B<sub>p,Rd</sub>[kN]: 200,189**

**Verification**

**$\Sigma F_{v,Rd}/F_{v,Ed} \leq 1$ : 0,829**

**$F_{b,Rd}/F_{v,Ed} \leq 1$ : 1,063**

**$\Sigma F_{t,Rd}/F_{t,Ed} \leq 1$ : 0,760**

**$B_{p,Rd}/F_{t,Ed} \leq 1$ : 1,063**

**Combined Shear and Tension: 1,372**

*Connection is not safe!*

---

#### Cross-section properties

##### Fastener

---

##### Designation

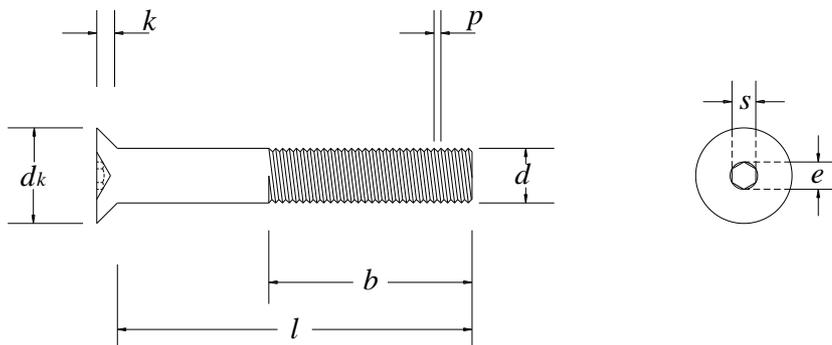
**Category:** Non-preloaded bolt assemblies in carbon steel and alloy steel

**Sub-Category:** Countersunk

**Type:** Hexagon

##### Dimensions

---



**d[mm]**

mín: 19,67

máx=nom:20

**dm[mm]:**16,933

**dk[mm]**

mín: 36,05

máx: 40,32

**p[mm]:** 2,5

**k[mm]:** 10,16

**s[mm]**

mín: 12,032

nom: 12

máx: 12,212

**e[mm]**

mín: 13,716

**b[mm]**

mín: 52

**l[mm]**

máx:100

**Area**

**A[mm<sup>2</sup>]:**314,159

**As[mm<sup>2</sup>]:**244,790

**Property Class**

8.8

**fu[N/mm<sup>2</sup>]:**800

**Sheet**

**Dimensions**

**t1[mm]:** 41

**t2[mm]:** 16

**Material Property**

[1]

**Grade:** S235

**Quality:** J0  
**fy[N/mm2]:** 215  
**fu[N/mm2]:**360

[2]  
**Grade:** S355  
**Quality:** J0  
**fy[N/mm2]:** 355  
**fu[N/mm2]:** 490

### Geometry Properties

**Type of structure:** Structures made from steels conforming to EN 10025 except steels conforming to EN 10025-5

**Structure exposition:** Steel exposed to the weather or other corrosive influences

**Number of Fasteners:** 2

### Hole disposition

**e1[mm]:** 85  
**e2[mm]:** 85  
**e3[mm]:** -  
**e4[mm]:** -  
**p1[mm]:** -  
**p2[mm]:** 165

**Hole type:** Normalized  
**d0[mm]:** 22

---

### Loading

**Fv,Ed[kN]:**200  
**Ft,Ed[kN]:**150

---

### Shear Resistance per Shear plane

**Shear plane's Number:** 1  
**Shear plane zone:** Unthreaded  
**A[mm<sup>2</sup>]:** 316,16  
 **$\alpha_v$ :** 0,6  
**Fv,Rd[kN]:** 241,275

---

### Bearing Resistance

[1]  
 **$\alpha_b$ :** 1,0  
 **$\alpha_d$ :** 1,288  
**fub/fu:** 2,22

**Thickness reduction:** Yes

**t1,r[mm]:** 35,92

**Fb,Rd,1[kN]:** 517,248

[2]

**$\alpha_b$ :** 1,0

**$\alpha_d$ :** 1,288

**fub/fu:** 1,633

**Fb,Rd,2[kN]:** 313,6

**Single lap joint with one row of bolts:** Yes

**Fb,R[kN]:** 188,160

**Tension Resistance**

**k2:** 0,63

**Ft,Rd[kN]:** 197,399

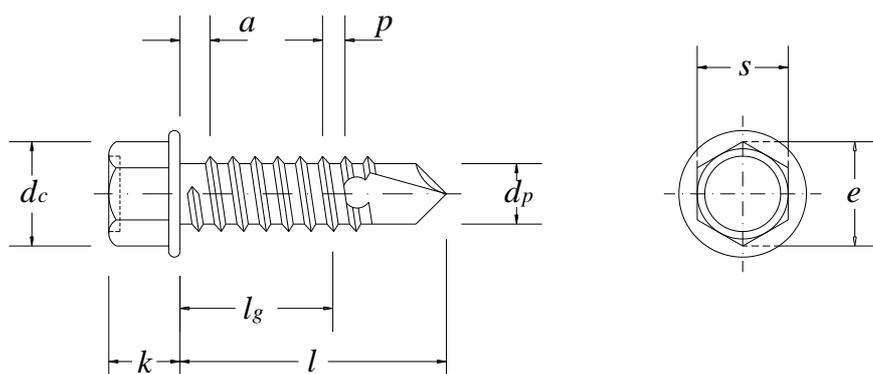
**Punching shear Resistance**

**Bp,Rd,top[kN]:** 376,887

**Bp,Rd,bottom[kN]:** 200,189

## A-2 Ficha-Tipo de Produto

**Hexagon washer head drilling screws with tapping screw thread**



**Dimensions**

**dc[mm]**

**mín:** 9,8

**máx:** 10,5

**dp[mm]**

**mín:** 3,7

**máx:** 4,3  
**p[mm]:** 1,6  
**a[mm]:** 1,6  
**k[mm]**  
     **mín:** 3,8  
     **nom=máx:** 4,3  
**s[mm]**  
     **mín:** 7,78  
     **nom=máx:** 8,0  
**e[mm]**  
     **mín** 8,71  
**l[mm]**  
     **mín:**13  
     **máx:** 50  
**lg[mm]:**  
     **mín:** 3,7  
     **máx:** 39,5

---

### Cross-section

**A[mm<sup>2</sup>]:** 18,096

### Material Properties:

---

<b>Classe do parafuso</b>	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
<b>fyb [N/mm<sup>2</sup>]</b>	240	320	300	400	480	640	900
<b>fub [N/mm<sup>2</sup>]</b>	400	400	500	500	600	800	1000

---

### Standards

**Dimensional:** ISO 15480  
ISO 1478

**Material Properties:** ISO 10666

**Coating and protection:** ISO 4042

**Dimensional Tolerance:** ISO 4759-1

**Test and Inspection:** ISO 3269