



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



Institute for Sustainability and
Innovation in Structural Engineering

Contribuição para o desenvolvimento de uma base de dados europeia das propriedades do aço

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

Autor

Carlos André Azevedo Sousa

Orientador

Luís Alberto Proença Simões da Silva

Coorientadora

Liliana Raquel Simões Marques

ISISE, Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Coimbra

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, 2013

AGRADECIMENTOS

Durante este longo percurso académico, experienciei variadas situações e obstáculos cujos resultados contribuíram para um maior enriquecimento tanto a nível pessoal como a nível profissional. Com isto, apresento uma enorme gratificação a todos aqueles que fizeram parte integrante desta experiência.

Em primeiro plano, saliento um especial agradecimento àqueles que me orientaram e apoiaram, durante este percurso dissertativo, nomeadamente, ao Professor Luís Simões da Silva, ao qual agradeço pelos vastos conhecimentos prestados, em muito valiosos, sendo a sua orientação realizada de forma direta e concisa através de críticas construtivas e incentivos conducentes à melhoria do meu progresso, e à coorientadora, Liliana Marques, como uma mais-valia, tendo em conta os seus conhecimentos na área, demonstrando sempre total disponibilidade para a minha orientação, e como um guia para a direção mais correta a seguir, através de discussões e ideias construtivas complementares ao resultado final desta dissertação.

Ao ISISE, pelo apoio prestado e por todo o material disponibilizado com o qual pude construir este projeto nas melhores condições possíveis. Aos membros da ISISE, agradeço toda disponibilidade demonstrada contributiva para a elaboração desta tese.

Aos meus colegas de faculdade que se demonstraram disponibilidade para auxiliar no que fosse necessário e, aos meus grandes amigos com os quais partilhei esta longa experiência académica, rica em bons momentos.

Aos familiares e namorada, por todo o apoio transmitido ao longo destes anos, por sempre acreditarem em mim e pelo incentivo dado a que tudo fosse possível, tornando esta caminhada menos árdua.

Por fim, um especial agradecimento aos meus pais pois, sem eles não era capaz de ter alcançado este objetivo. Agradeço, também, por acreditarem e me incentivarem em todos os momentos deste percurso, tornando-se uma força crucial para o meu melhor desempenho.

RESUMO

Esta dissertação consiste na preparação de uma base de dados europeia relativa às propriedades dos aços correntes e dos aços de alta resistência. Esta base de dados é englobada num projeto europeu designado por SAFEBRICKTILE, o qual consiste no desenvolvimento de um procedimento global de avaliação da segurança dos vários modos de rotura relevantes para estruturas em aço.

A base de dados será constituída pela recolha de variáveis básicas de entrada tais como, as propriedades mecânicas do aço (tensão de cedência, módulo de Young, etc.), as dimensões da secção transversal e as imperfeições materiais e geométricas. A necessidade de recolha destes dados estatísticos prende-se com o estabelecimento de coeficientes parciais de segurança, no contexto dos Eurocódigos Estruturais, que correspondem de forma objetiva a uma caracterização estatística das propriedades reais (materiais e geométricas) dos materiais. Para tal, a base de dados terá de ser sólida e bem organizada, considerando-se uma padronização e uma aplicação desse processo de análise estatístico, tendo em conta regras de conceção propostas.

Assim, neste documento pretende-se, primeiramente, identificar as variáveis básicas e, quando aplicáveis, as respetivas normas de produto e tolerâncias. Também será feita uma demonstração da organização e utilização da base de dados em causa. Como último ponto, observa-se a exposição de uma orientação direcionada para a recolha de dados indispensável ao tratamento estatístico dos mesmos.

ABSTRACT

This dissertation consists of the preparation of a European database on the properties of mild steels and high-strength steels. This database is encompassed within a European project called SAFEBRITILE, which consists in developing a global procedure for the safety assessment of the relevant failure modes to steel structures.

The database is formed by collecting a sufficient number of basic input of a few variables, such as the mechanical properties of the steel (yield strength, Young's modulus, etc.), the dimensions of the cross section and the material and geometrical imperfections. The need to collect these statistical data, relates to the establishment of partial safety factors, in the context of the Structural Eurocodes, which correspond objectively to a statistical characterization of real properties (material and geometric) of materials. For this purpose, the database will need to be solid and well-organized, taking into account the standardization and application of such statistical analysis process, taking into account the design rules.

This document aims firstly to identify the basic variables and, where applicable, the respective product standards and tolerances. Also, the organization and use of the database in question will be provided.

As a final point, we display an orientation directed to the collection of data essential to its statistical treatment.

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e objetivos	1
1.2	Esboço da dissertação	3
2	Estrutura global da base de dados	5
2.1	Introdução	5
2.2	Objetivos	5
2.2.1	Consulta de dados	6
2.2.2	Inserção de dados	7
2.3	Organização proposta	8
2.4	Interface da base de dados	10
3	Variáveis básicas na base de dados	13
3.1	Introdução	13
3.2	Dimensões das secções transversais	15
3.3	Propriedades mecânicas	17
3.4	Imperfeições geométricas	21
3.4.1	Tolerância ao nível da chapa metálica	24
3.4.2	Tolerância dos requisitos de entrega da condição de superfície de chapas metálicas	25
3.4.3	Tolerâncias para garantir a resistência e estabilidade	25
3.4.4	Tolerâncias para garantir o funcionamento	26
3.5	Tensões residuais	27
3.6	Cargas excêntricas	30
4	Exemplo de aplicação	33
4.1	Introdução	33
4.2	Definição geral do exemplo	33
4.2.1	Secção transversal	34
4.2.2	Propriedades mecânicas	36
4.2.3	Imperfeições geométricas	38
4.2.4	Tensões residuais	41
4.2.5	Cargas excêntricas	46
5	Conclusões e desenvolvimentos futuros	49
5.1	Conclusão	49
5.2	Desenvolvimentos futuros	50

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	53
A – Ficha de declaração de confidencialidade	A-1
B – Informação disponibilizada pelo Produtor	B-1
C – Ficha padrão de preenchimento	C-1
D – Fichas Informativas das Normas Europeias	D-1
D1 – EN 10025 – <i>Hot-rolled products of structural steels</i>	D-1
D2 – EN 10029 – <i>Hot rolled steel plates 3 mm thick or above – Tolerances on dimensions, shape and mass</i>	D-4

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Plano de trabalho, SAFEBRIC TILE	2
Figura 2.1 – <i>Flowchart</i> Global da base de dados	9
Figura 2.2 – Imagem de captura do índice da base de dados existente	11
Figura 2.3 - Aplicação móvel de cálculo automático de acordo com o EC3-1-1	12
Figura 3.1 – Normas de produtos para aços estruturais, tabela 2 da EN 1090-2.....	14
Figura 3.2 – Esquema da secção transversal	16
Figura 3.3 – Curva Tensão- Deformação do aço, Publicação L.Simões da Silva et al. (2009)19	
Figura 3.4 – Localização e orientação de amostras e peças para os ensaios, EN 10002-1 (2001).....	20
Figura 3.5 – Geometria de amostras planas proporcionais, EN 10002-1 (2001)	21
Figura 3.6 – Modelação de imperfeições geométricas	Error! Bookmark not defined.
Figura 3.7 – Variabilidade das tensões residuais numa secção transversal da peça (a) modelo ECCS, (b) Exemplo de valor medidos das tensões residuais, Shayan et al(2013)28	
Figura 3.8 – Divisão de um perfil em I por secções	28
Figura 3.9 – Medição de tensões residuais numa peça soldada I, Beg (2007)	30
Figura 3.10 – Cargas aplicadas transversalmente (A) e longitudinalmente (B) num perfil I soldado.....	31
Figura 3.11 – Variação da aplicação das cargas	31
Figura 3.12 – Cargas excêntricas através do ECCS para ensaios no IPE 160, determinando a excentricidade da alma, Taras (2010).....	32
Figura 4.1 – <i>Flowchart</i> secção transversal	34
Figura 4.2 – <i>Flowchart</i> das propriedades mecânicas	36
Figura 4.3 – <i>Flowchart</i> das imperfeições geométricas.....	38
Figura 4.4 – <i>Flowchart</i> das tensões residuais.....	42
Figura 4.5 – <i>Flowchart</i> das cargas excêntricas.....	47
Figura 4.6 – Exemplo de dados estatísticos das cargas excêntricas	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Seriação de opções para a secção transversal	6
Tabela 2.2 – Exemplo da lista de produtores para um IPE 200	7
Tabela 3.1 – Dados e propriedades da secção transversal-.....	16
Tabela 3.2 – Normas Europeias consideradas para as propriedades mecânicas do material ..	17
Tabela 3.3 – Propriedades mecânicas nominais do material, EN 1993-1-1	18
Tabela 3.4 – Ensaios experimentais da tensão do aço por espessura da peça in Simões da Silva et al., Journal of Constructional Steel Research 65 (2009)	19
Tabela 3.5 – Normas Europeias consideradas relativamente às tolerâncias das chapas e placas metálicas	22
Tabela 3.6 – Exemplo de tolerâncias ao nível da chapa de aço laminada a quente	24
Tabela 3.7 – Tolerância da condição de superfície das chapas de aço	25
Tabela 3.8 – Exemplo de um critério da EN 1090-2 – tolerância essencial.....	26
Tabela 3.9 – Exemplo de um critério da EN 1090-2 – tolerância de funcionamento	27
Tabela 3.10 – Exemplo de inserção de dados para as tensões residuais numa chapa metálica	29
Tabela 4.1 – Detalhes iniciais para a secção transversal	34
Tabela 4.2 – Dados geométricos da secção	35
Tabela 4.3 – Propriedades geométricas da secção.....	35
Tabela 4.4 – Propriedades do aço	36
Tabela 4.5 – Escolha da classe e qualidade do aço	37
Tabela 4.6 – Valores nominais das propriedades mecânicas.....	37
Tabela 4.7 – Euronormas relativamente às propriedades mecânicas	37
Tabela 4.8 – Normas relativas às tolerâncias permitidas nas chapas metálicas	39
Tabela 4.9 – Geometria e tolerâncias de um exemplo para uma chapa metálica	39
Tabela 4.10 – Exemplo de tolerâncias permitidas para garantir a resistência e estabilidade, EN 1090-2	40
Tabela 4.11 – Exemplo de tolerâncias permitidas para garantir o bom funcionamento, EN 1090-2	41
Tabela 4.12 – Detalhes iniciais das tensões residuais	42
Tabela 4.13 – Detalhes iniciais da inserção de dados das tensões residuais	43

Tabela 4.14 – Exemplo de inserção de dados experimentais para as tensões residuais, análise à secção A.....	44
Tabela 4.15 – Exemplo de inserção de dados experimentais para as tensões residuais, análise à secção B.....	45
Tabela 4.16 – Exemplo de inserção de dados experimentais para as tensões residuais, análise à secção C.....	46
Tabela 4.17 – Detalhes iniciais das cargas excêntricas	47
Tabela 4.18 – Escolha de dados das cargas excêntricas	48

SIMBOLOGIA

x-x – eixo longitudinal de um elemento
y-y – eixo de uma secção transversal
z-z – eixo de uma secção transversal
b – largura de uma secção transversal
h – altura de uma secção transversal
d – altura da parte reta da alma
h_i – altura da alma
t_w – espessura da alma
t_f – espessura do banzo
f_y – tensão de cedência
f_u – tensão última
ε_y – extensão de cedência
ε_u – extensão última
E – módulo de elasticidade
G – módulo de distorção
I_y – momento de inércia de flexão relativo ao eixo y-y
I_z – momento de inércia de flexão relativo ao eixo z-z
W_{el,y} – módulo de flexão elástica relativo ao eixo y-y
W_{el,z} – módulo de flexão elástica relativo ao eixo z-z
i_y – raio de giração em torno do eixo y-y
i_z – raio de giração em torno do eixo z-z
I_t – momento de inércia de torção
I_w – momento de inércia de encurvatura
t – espessura
L – comprimento designado por L
L_{y,z} – comprimento efetivo no eixo y-y ou z-z
a – comprimento designado por a
n – número de ensaios
e_{0y,z} – excentricidade em relação ao eixo y-y ou z-z
e_{0w} – excentricidade em relação à encurvatura
θ – rotação
σ – tensão do material

ABREVIATURAS

CMM – Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista

EN – Norma Europeia

EC – Eurocódigo

EXC – Classe de execução

ECCS – European Commission for Coal and Steel

SAFEBRITILE – Standardization of Safety Assessment Procedures across Brittle to Ductile
Failure Modes

WP – Work package (Tarefa)

1 INTRODUÇÃO

Como nota prévia à apresentação dos objetivos e ao enquadramento desta dissertação, há que frisar o facto de esta estar englobada num projeto de carácter europeu no qual é desenvolvida uma base de dados europeia. Assim, algumas tabelas, expressões e figuras, são apresentadas na língua inglesa.

1.1 Enquadramento e objetivos

Esta dissertação encontra-se inserida num projeto proposto pela Direcção-Geral de Investigação e Inovação da Comissão Europeia, onde o acrónimo do projeto é dado por SAFEBRIC TILE, tendo como título, *Standardization of Safety Assessment Procedures across Brittle to Ductile Failure Modes*, com referência RFSR-2013-00023. Assim, este projeto tem como objetivos aqueles especificados nos pontos seguintes:

- O desenvolvimento de um procedimento de avaliação objetiva e consistente para a avaliação da segurança dos vários modos de rotura relevantes para estruturas em aço. O procedimento unificado conduzirá a procedimentos codificados incluíveis nos Eurocódigos estruturais havendo possibilidade de cobertura de modos de rotura dúcteis (impulsionados pela plasticidade), de modos de falhas semi-dúcteis (impulsionados pela estabilidade) e de modos de falha frágeis (impulsionados pela fratura);
- O desenvolvimento de um procedimento de avaliação de segurança alternativo mais complexo, no qual será pré-estabelecido um factor de segurança para definição de dada regra de verificação da segurança;
- A reavaliação de várias regras do Eurocódigo 3 cobrindo os modos de rotura tratados no projeto, a fim de cumprir os procedimentos de avaliação de segurança desenvolvidos.
- O desenvolvimento conceptual e de manutenção de uma base de dados europeia de propriedades do aço resultantes de testes experimentais.

O plano de trabalho proposto consiste, em geral, num processo de avaliação de segurança desenvolvido por consideração da possibilidade de existência ou não de um factor de segurança previamente estabelecido. É realizado em conformidade com o anexo D da EN 1990 e, no seu seguimento, será criada uma base de dados tendo em conta os resultados dos testes e a caracterização das variáveis básicas sobre os modos de rotura em foco (dúcteis, frágeis, semi-dúcteis). Considerando-se os procedimentos desenvolvidos, materializa-se a avaliação da fiabilidade de regras, existentes no Eurocódigo 3, sendo de notar que novas regras, conformes aos requisitos de segurança, são desenvolvidas sempre que necessário.

Abaixo, deparamo-nos com o plano de trabalho pretendido em modo esquemático.

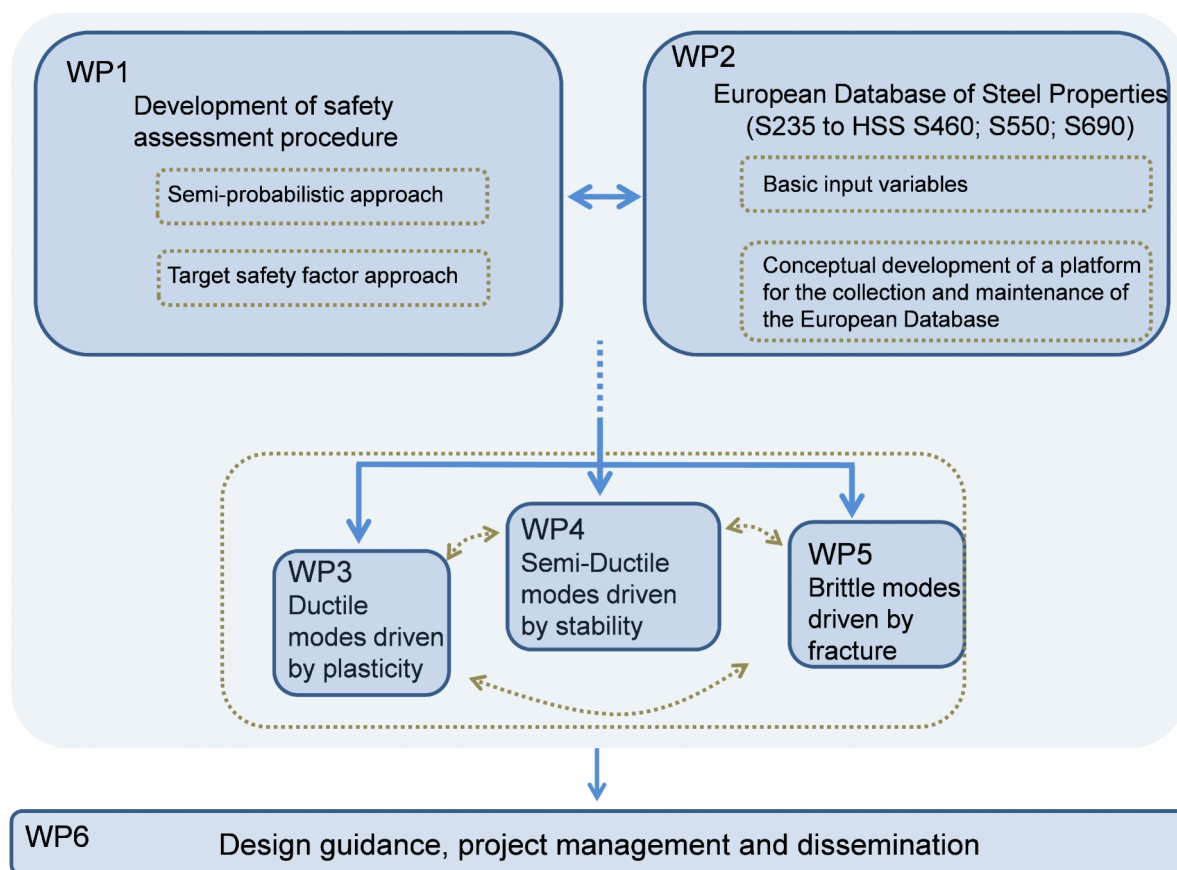


Figura 1.1 – Plano de trabalho, SAFEBRICKTILE

O plano de trabalho desenvolvido e considerado é o WP2 (Tarefa 2), onde será abordada uma base de dados Europeia, considerando as variáveis básicas, e onde se procederá à recolha de resultados de ensaios experimentais para essa plataforma, tal como é de notar na figura 1.1.

O desenvolvimento desta base de dados tem como objetivo principal o tratamento estatístico das variáveis relevantes a ser consideradas no procedimento de avaliação de segurança a ser desenvolvido no WP1. Estas variáveis básicas de entrada são fundamentalmente as propriedades mecânicas do aço (tensão de cedência, módulo de Young, etc.), as dimensões da secção transversal e das suas imperfeições materiais e geométricas.

A padronização e a aplicação de um processo de análise estatística para as regras de conceção trazem evidentes vantagens. Estes aspetos podem ser alcançados através do desenvolvimento e manutenção de uma base de dados que trate estatisticamente os parâmetros de entrada.

Esta necessidade tem sido relatada por muitos autores, e será concretizada no WP2 onde os resultados das medições dos testes existentes serão avaliados e tratados estatisticamente de forma padronizada.

Futuramente, a base de dados será disponibilizada para a comunidade de aço estrutural (pesquisadores, projetistas, indústria), criando-se uma padronização em relação ao tratamento de novas regras de projeto e à avaliação de segurança. Dentro da SAFEBRIC TILE, efectuar-se-á o desenvolvimento conceptual de uma plataforma para receber esses mesmos dados. A base de dados europeia fornece resultados de trabalhos experimentais anteriores, bem como uma caracterização estatística composta pelas propriedades relevantes para o cálculo da resistência. Além disso, as folhas de relatórios padrão são aqui definidas para o futuro conjunto de propriedades básicas.

Nesta dissertação, demonstra-se como se procede à organização da base de dados, bem como se definem os dados a ser recolhidos e a ser transmitidos para a comunidade, tendo em linha de conta um padrão que visa uniformizar e facilitar a leitura dos dados. Esta base de dados também terá como função apoiar uma aplicação móvel que tem como conceito a verificação da estabilidade de elementos em aço de secções esbeltas.

1.2 Esboço da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos.

- No **Capítulo 1** é descrito o projeto europeu englobado neste texto dissertativo, bem como os principais objetivos requeridos nesta investigação e respetiva utilidade.
- No **Capítulo 2** será demonstrada a estrutura global proposta para a base de dados, onde serão descritos os principais objetivos a cumprir com a realização da base de dados.

Serão expostas as várias opções de edição e de consulta à base de dados, desde a consulta de produtos existentes, informação sobre produtores e das tolerâncias de fabrico, à inserção de dados através de ensaios experimentais para o tratamento de dados, onde serão estipuladas várias fases para cada um dos ensaios. Também será mencionado o tratamento estatístico dos dados e do material exposto ao público.

- No **Capítulo 3** são apresentadas as variáveis básicas consideradas para a inserção e análise da base de dados e a correspondência às normas em vigor. Por sua vez, apresenta-se a descrição detalhada de cada passo considerado para a base de dados, onde são demonstradas as propostas de padronização para os dados experimentais a inserir e onde se evidencia um exemplo clarificativo do proposto.
- O **Capítulo 4** terá como principal objetivo demonstrar as diferentes formas de lidar com a base de dados. Expõe-se as particularidades da base de dados e, também, um exemplo de aplicação descritivo, em detalhe, de cada uma dessas particularidades.
- Finalmente, no **Capítulo 5** são descritas as principais conclusões desta investigação e os pontos com maior relevância, tal como desenvolvimentos futuros da base de dados proposta.

2 ESTRUTURA GLOBAL DA BASE DE DADOS

2.1 Introdução

A criação desta base de dados fundamenta-se na necessidade de criação de uma plataforma de suporte ao procedimento de avaliação da segurança dos vários modos de rotura. Esta terá por função de disponibilizar, de forma padronizada, uma distribuição estatística das diferentes variáveis básicas, descritas no capítulo 3.

Neste capítulo são expostos os objetivos a cumprir pela base de dados, tais como as diferentes opções de consulta disponíveis nesta e as várias fases de inserção de dados de ensaios experimentais com o tratamento estatístico disponibilizado ao público.

2.2 Objetivos

Os objetivos a cumprir com a base de dados prendem-se com as várias opções existentes de inserção e de consulta de dados a desenvolver na mesma.

Um dos objetivos baseia-se no facto de poderem ser considerados ensaios experimentais para a calibração de modelos numéricos, através da reprodução fiel daqueles. Tais ensaios são realizados em ambientes controlados, como por exemplo em universidades e nas produtoras de aço. O assunto em causa fora discutido numa reunião do SAFEBRIC TILE, realizada em Junho de 2013 na Universidade de Coimbra.

É de referir que estes ensaios serão salvaguardados, caso o utilizador assim o pretendam, disponibilizando-se apenas os dados estatísticos globais, sem associação a qualquer produto. Deste modo, tal confidencialidade obterá oficialização através de uma declaração, a qual se encontra no anexo A.

De notar que nesta base de dados serão desenvolvidos algoritmos para as propriedades de secções transversais, tratamento estatístico, tolerâncias das normas e descrição uniformizada de dados de ensaios experimentais.

De forma individual, nos subcapítulos seguintes, descrevem-se os objetivos a cumprir na consulta de dados e na edição de dados uma vez que ambos abordam um tema com elevada abrangência.

2.2.1 Consulta de dados

No que diz respeito à consulta de dados, a mesma é exequível em três diferentes casos:

- Consulta de produtos existentes;
- Consulta de informação sobre os produtores;
- Consulta de tolerância de fabrico.

Em seguida, descreve-se, de forma detalhada, aquilo que será disponibilizado ao utilizador relativamente a cada um dos casos referidos anteriormente.

Em relação à consulta de produtos existentes, a mesma será feita em concordância com a associação de produtores, fornecendo-se ao utilizador um leque de produtos relacionados com um determinado produto. Tomando por exemplo o caso de um utilizador que deseje saber que produtora fornece perfis laminados IPE 200, sendo proporcionada uma lista dos diferentes fornecedores cuja disponibilidade do produto se encontra em sua posse.

Nas tabelas 2.1 e 2.2, apresentam-se exemplos da exposição das secções transversais feita ao utilizador quando estes pretendam consultar ou inserir dados.

Tabela 2.1 – Seriação de opções para a secção transversal

Cross-section:

<i>Section</i>	<i>List of products</i>	<i>Insert the dimensions</i>	<i>List of producers</i>
----------------	-------------------------	------------------------------	--------------------------

Em análise, ao seleccionar uma das alternativas, o utilizador depara-se com um leque de informações, demonstrando-se, na tabela 2.2, uma lista alternativa dos produtos disponíveis.

Tabela 2.2 – Exemplo da lista de produtores para um IPE 200

Cross-section:

IPE 200	<i>Cross-section dimensions and properties</i>	<i>List of producers</i>	<i>Product data</i>	<i>Product Norms</i>
ARCELOR MITTAL			<i>Consult producer</i>	
CELSA			<i>Consult producer</i>	
(...)			<i>Consult producer</i>	

Com a escolha da secção, o utilizador poderá consultar dados estatísticos relacionados com esta mas, tendo em conta o acordo de confidencialidade relativo aos dados, não será possibilitada a sua associação a um produtor.

Após o conhecimento dos produtores e fornecedores do produto escolhido, o utilizador terá como a hipótese de consultar informação sobre um produtor específico. Assim, com a criação de uma ficha padrão, cujo conteúdo incide sobre dados relevantes da empresa em questão, a informação relativa ao produto será exposta ao utilizador. De notar que, tal como demonstrado na tabela 2.1, é dada a possibilidade ao utilizador de aceder diretamente a uma lista de produtores, ao invés de, primeiramente, selecionar um produto.

No anexo B, localiza-se uma ficha padrão dos dados pretendidos a serem fornecidos pelos produtores e um exemplo de um produtor que facultou esses mesmos dados para uma aplicação móvel que estima a resistência de colunas e de vigas de aço, de acordo com EC3-1-1, v2.0.1 (2013).

2.2.2 Inserção de dados

A inserção de dados tem como objetivo estabelecer a padronização das variáveis básicas, individualmente. Demonstrar-se-á tanto o tipo de dados pretendido para cada análise de modo a proceder para o tratamento estatístico, tal como as diferentes fases inerentes a cada variável integradas pela norma de produto, pela fase do ensaio correspondente e pela sua associação ao produto em causa.

Esta base de dados poderá ter a capacidade de analisar todas as características necessárias no âmbito de secções soldadas, secções compostas (laminadas e soldadas) e secções laminadas, sendo esta última já inserida na base de dados e descrita no subcapítulo 2.4. Uma vez que a

recolha de dados terá de ser feita de forma homogénea e padronizada, as secções aceitáveis deverão ser recorrentes mas, tendo em conta o facto de o projeto se encontrar numa fase inicial, as secções a considerar ainda não se encontram totalmente definidas.

De modo a tornar os ensaios experimentais mais claros, o utilizador terá a faculdade de inserir uma foto bibliografia dos ensaios com o intuito de constatar factos não definidos, tais como as condições de fronteiras da peça em estudo.

2.3 Organização proposta

Com base nos subcapítulos anteriores, foram estabelecidos variados níveis de análise constituintes dos principais objetivos da base de dados. Assim, na figura 2.1, apresenta-se um *flowchart* global da estrutura e organização adotada para a base de dados.

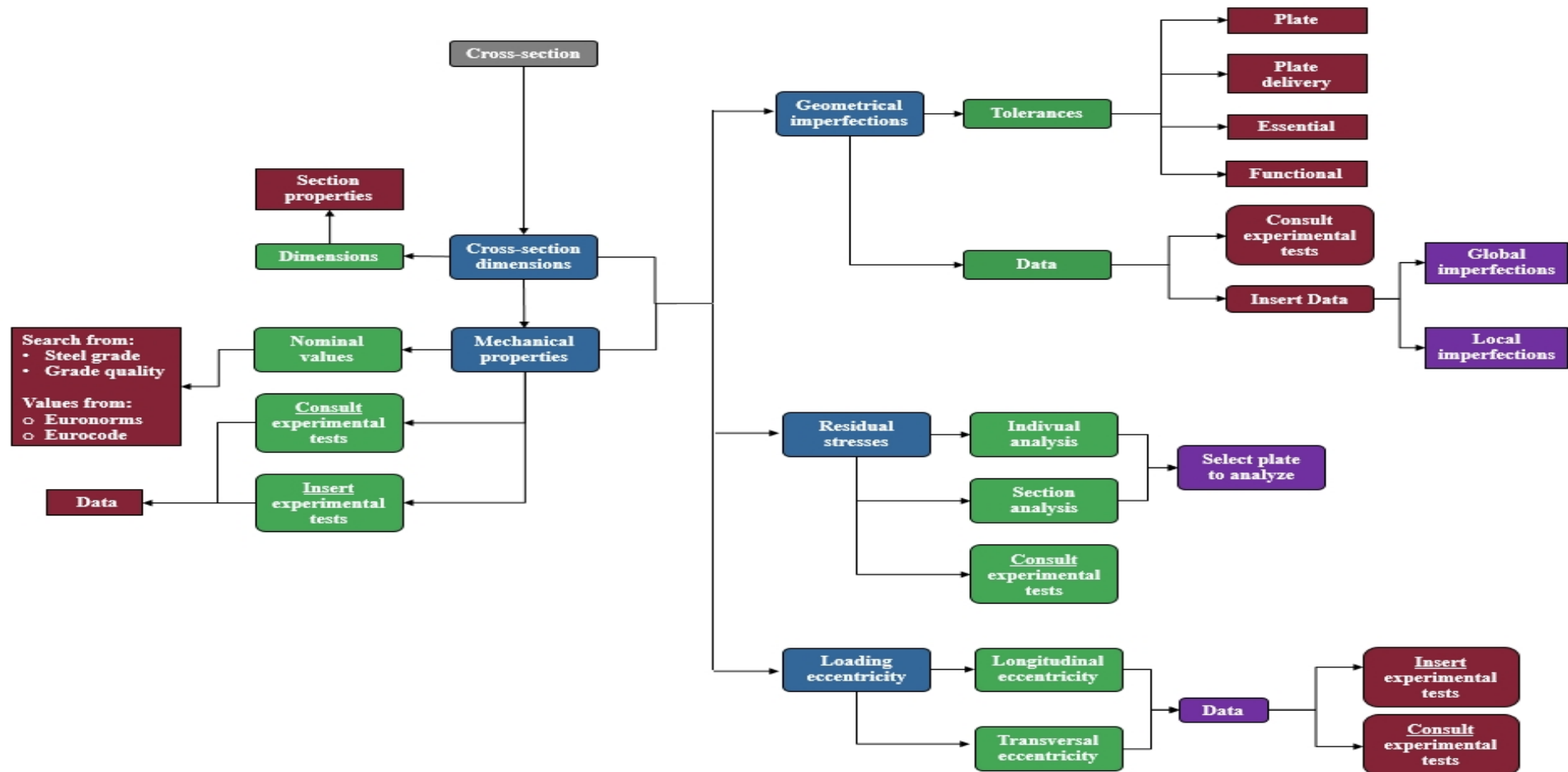


Figura 2.1 – Flowchart Global da base de dados

Analisando a figura 2.1, observa-se o pressuposto a alcançar para a base de dados, indicando e descrevendo o que se requer em cada um dos níveis indicados. Este *flowchart* será analisado individualmente, por variável, no capítulo 4.

Num primeiro nível, figura a hipótese de consulta às normas de produtos e às propriedades nominais dos mesmos, encaminhando o utilizador para um ficheiro a descarregar ou apresentando tal ficheiro na plataforma da base de dados.

Num segundo nível expõe-se ao utilizador a possibilidade de inserção de dados experimentais (das variáveis básicas definidas no capítulo 3), Possibilitando-se o recurso à utilização de secções pré-existentes ou até mesmo à inserção de novas secções transversais. Relativamente a esta última opção, a base de dados estabelecerá automaticamente as tolerâncias de produto relativas às secções transversais (nos casos em que tal se aplique) expondo-as, em seguida, com o intuito de consulta por parte do utilizador. Todos os dados inseridos serão posteriormente tratados e analisados na sua globalidade. Em seguida, serão expostos ao público para consulta mas, note-se que projetam-se como dados globais, isto é: o utilizador possui a hipótese de consultar certo dado estatístico de uma variável base através da classe do aço ou de uma secção transversal mas, só nos casos em que os dados fornecidos para esses ensaios sejam suficientes para que possa haver tratamento estatístico, sendo que estes devido ao acordo de confidencialidade, nunca serão associados diretamente a um produtor.

Numa terceira fase, o utilizador têm a possibilidade de fornecer apenas dados de ensaios das propriedades mecânicas, indicando-se ao mesmo quais as normas a que deve de reportar. Caso o utilizador queira seguir outra norma não referida, terá de referir quais as normas consideradas.

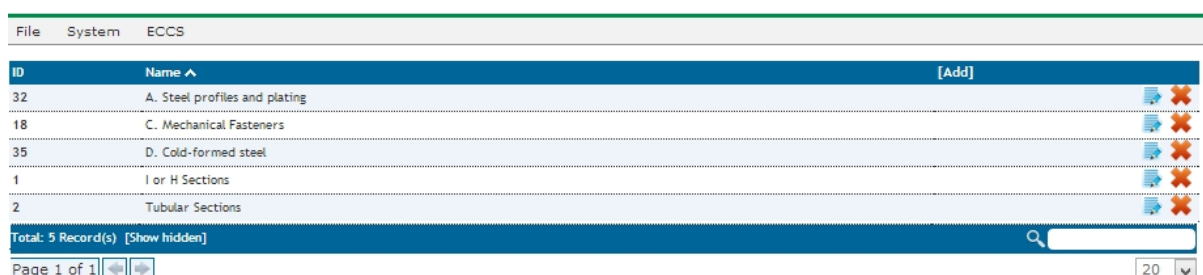
É de notar que os dados inseridos pelo utilizador nesta base de dados poderão ser importados através de folhas de cálculo.

2.4 Interface da base de dados

A interface planeada para a base de dados terá como suporte uma base de dados pré-existente criada com o intuito de funcionar como uma plataforma de apoio a aplicações móveis, propostas pelo European Commission for Coal and Steel (ECCS). De notar que esta surge em parceria com a Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista (CMM) e a OneSource, Consultadoria Informática,Lda.

A opção por a organização desta base de dados advém do facto de tal plataforma já se encontrar ativa, a qual servirá como apoio. O conteúdo desta já engloba dados fornecidos por produtores, o que será uma mais-valia devido ao acréscimo de informação na base de dados proposta.

Atendendo ao facto de que esta base de dados terá como suporte a plataforma pré-existente, na figura 2.2 apresenta-se uma imagem dessa plataforma.



ID	Name	[Add]
32	A. Steel profiles and plating	
18	C. Mechanical Fasteners	
35	D. Cold-formed steel	
1	I or H Sections	
2	Tubular Sections	

Figura 2.2 – Base de dados existente

O eventual acesso à base de dados pré-existente torna possível que o material a constar na base de dados, resultante da proposta apresentada neste documento, seja atingido em conformidade com o maior grau de semelhança expetável no que concerne à sua organização e disposição.

Até ao presente momento, encontram-se planeadas quatro aplicações móveis, sendo que duas delas já se encontram disponíveis no mercado. No que toca às restantes, uma delas encontra-se em fase final do processo e outra encontra-se programada, apoiando-se nos novos dados inseridos na base de dados proposta nesta dissertação.

Na figura 2.2, apresenta-se uma imagem relativa à aplicação existente, em que esta consiste num programa de cálculo automático, que estima a resistência de colunas e de vigas de aço, de acordo com EC3-1-1, à qual integra uma base de dados de perfis laminados de secção I e H.



Figura 2.3 - Aplicação móvel de cálculo automático de acordo com o EC3-1-1

Como fora referido anteriormente, nesta base de dados constam dados previamente fornecidos por produtores, nomeadamente, secções em I e em H, perfis tubulares, etc.. A estes dados serão acrescentadas novas secções, por parte do utilizador, desde que respeite o padrão exigido para o seu preenchimento.

3 VARIÁVEIS BÁSICAS NA BASE DE DADOS

3.1 Introdução

Como referido no Capítulo 1, as variáveis básicas são necessárias para o projeto em estudo tendo em conta a necessidade de recolha de dados estatísticos correspondentes a estas variáveis. Por sua vez, tais dados prendem-se com o estabelecimento de coeficientes parciais de segurança, atribuindo, de forma objetiva, uma caracterização estatística das propriedades reais (materiais e geométricas) dos materiais.

Neste capítulo, abordaremos as regras de conceção para a padronização e aplicação do processo de análise estatística. As variáveis básicas consideradas para a inserção de dados são, designadamente:

- Secção transversal;
- Propriedades mecânicas do material;
- Imperfeições:
 - Imperfeições geométricas;
 - Tensões residuais;
 - Cargas excêntricas.

Considerando a realização do estudo em harmonia com o Anexo D do EN 1990, englobante do projeto assistido por ensaios experimentais e constante nas normas relativas às variáveis básicas, tem-se em apreço as Normas Europeias. Estabelece-se a EN 1090-2 como ponto de partida onde, através da tabela 2 da mesma, podemos consultar tais normas expositoras das tolerâncias e dos requisitos técnicos de entrega para os produtos em estudo, como demonstrado na figura 3.1.

Products	Technical delivery requirements	Dimensions	Tolerances
I and H sections	EN 10025-1 and EN 10025-2 EN 10025-3 EN 10025-4 EN 10025-5 EN 10025-6 As relevant	Not available	EN 10034
Hot-rolled taper flange I sections		Not available	EN 10024
Channels		Not available	EN 10279
Equal and unequal leg angles		EN 10056-1	EN 10056-2
T Sections		EN 10055	EN 10055
Plates, flats, wide flats		Not applicable	EN 10029 EN 10051
Bars and rods	EN 10017, EN 10058, EN 10059, EN 10060, EN 10061	EN 10017, EN 10058, EN 10059, EN 10060, EN 10061	
Hot finished hollow sections	EN 10210-1	EN 10210-2	EN 10210-2
Cold formed hollow sections	EN 10219-1	EN 10219-2	EN 10219-2
NOTE EN 10020 gives definitions and classifications of grades of steel. Steel designations by name and number are given in EN 10027-1 and -2 respectively.			

Figura 3.1 – Normas de produtos para aços estruturais, tabela 2 da EN 1090-2

No decorrer deste projeto, idealizou-se uma ficha de consulta relativa às normas, inserida na base de dados em relação a cada variável base. Para o efeito, elaboraram-se múltiplas fichas informativas de normas, como apoio e forma de consulta, na plataforma da base de dados. De referir que apenas duas destas fichas informativas se encontram no anexo D.

Para além do que será aqui demonstrado, no anexo C encontra-se uma ficha padrão de preenchimento de dados, como sugerida nos capítulos anteriores, de modo a fornecer ao utilizador um preenchimento mais facilitado e conciso para posterior tratamento de dados.

3.2 Dimensões das secções transversais

Tendo em conta o proposto para a organização da base de dados, no Capítulo 2, todas as características, sejam elas propriedades mecânicas ou imperfeições (tensões residuais, imperfeições geométricas e cargas excêntricas), terão como ponto de partida a secção transversal.

Nesta fase será pedido ao utilizador que insira os dados geométricos da secção em estudo consultando as normas relativas ao produto e às tolerâncias, sendo estas últimas posteriormente descritas no subcapítulo que diz respeito às imperfeições a nível de tolerâncias locais máximas e mínimas (chapa metálica).

Atendendo ao facto de que nesta base de dados poderemos analisar as características das secções soldadas, das secções compostas (laminadas e soldadas) e das secções laminadas (já constituídas na base de dados), a recolha de dados terá de ser feita de forma homogênea e padronizada. De notar que as secções a ser aceites deverão ser consideradas recorrentes mas, uma vez que o projeto se encontra numa fase inicial, estas ainda não foram definidas.

Caso o utilizador queira analisar secções soldadas (secções não correntes como as I, H ou tubulares), confere-se-lhe a hipótese de optar por inserir o número de partes que constituem a secção e a sua posição.

Para melhor compreensão do proposto, exemplificar-se-á com uma secção soldada constituída por placas metálicas, demonstrando os dados geométricos e as respetivas propriedades do perfil na figura 3.2. As propriedades geométricas do perfil serão obtidas automaticamente pela base de dados, através de algoritmos de cálculo.

De referenciar que a secção seguinte será utilizada como exemplo para os capítulos seguintes deste documento, denominando-se, doravante, IPE 1172x162.

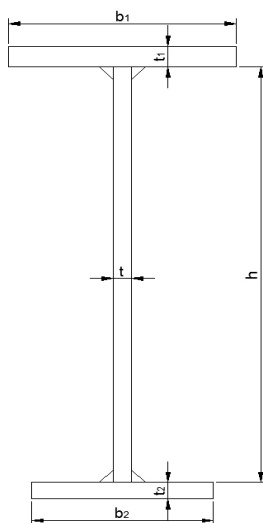


Figura 3.2 – Esquema da secção transversal

Tabela 3.1 – Dados e propriedades da secção transversal-

Cross-section dimensions:

h	1172 [mm]
b₁	300 [mm]
b₂	120 [mm]
t_w	12 [mm]
t_{f1}	18 [mm]
t_{f2}	10 [mm]

Cross-section properties:

A	20664 [mm ²]
G	162,21 [kg/m]
I_y	1,65x10 ⁹ [mm ⁴]
I_z	3,24x10 ⁵ [mm ⁴]
W_{el,y}	540,95 [mm ³]
W_{el,z}	1,10x10 ⁷ [mm ³]
i_y	282,73 [mm]
i_z	3,96 [mm]
I_t	1,22x10 ⁶ [mm ⁴]
I_w	2,88x10 ¹⁰ [mm ⁶]

3.3 Propriedades mecânicas

O desempenho em segurança de estruturas de aço requer uma rigorosa avaliação de certas propriedades mecânicas do aço como por exemplo, a tensão, a deformação e o alongamento após a rotura, Simões da Silva et al., (2009). Dito isto, torna-se crucial ter uma base de dados onde se poderá recorrer a ensaios realizados para uma melhor compreensão das propriedades mecânicas do aço tendo em conta às várias classes de aço existentes. Assim, admite-se a hipótese de o utilizador considerar, através de quatro formas distintas, os dados que pretende obter sendo que, nas primeiras três opções, estas propriedades estão relacionadas com uma secção transversal, seja ela pertencente à base de dados ou uma a inserir pelo utilizador para estes casos de estudo. Em último recurso, admite-se a hipótese de as propriedades mecânicas serem realizadas por testes experimentais de tração ou de impacto, posteriormente descritos, não se relacionando com uma secção transversal.

Em relação às normas tomadas em consideração para as propriedades mecânicas do material, aquelas relacionam-se com os ensaios e com as condições técnicas gerais de entrega, encontrando-se designadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Normas Europeias consideradas para as propriedades mecânicas do material

Euronorms:

ISO 6892	<i>Metallic materials – Tensile testing</i>
EN 10025	<i>Hot-rolled products of structural steels</i>
EN 10045	<i>Metallic materials – Charpy impact test</i>

Em primeiro plano, oferece-se ao utilizador um leque de classes e de qualidades de aço entre os quais poderá optar. Através destas componentes, possibilita-se o alcance de valores nominais das propriedades mecânicas do material, valores esses já normalizados. Por outro lado, também será fornecida uma ficha informativa das normas passíveis de consulta, apresentando-se as mesmas no anexo D. Assim, na tabela 3.2, deparamo-nos com um exemplo do aludido anteriormente.

Tabela 3.3 – Propriedades mecânicas nominais do material, EN 1993-1-1

Steel properties:

<i>Steel grade</i>	S275
<i>Steel quality</i>	J0
<i>Cross-section</i>	IPE 1172x162
E	210 [GPa]
G	81 [GPa]
f_y	265 [GPa]
f_u	430 [GPa]
ε_u ≥	19,64

Como segunda opção, temos a possibilidade dada ao utilizador de pesquisa dos valores pré-existent na base de dados, valores esses fornecidos por exemplo, por uma produtora e, correspondentes às propriedades mecânicas que esta garante como, também, às normas correspondentes.

Numa terceira opção, no seguimento das anteriores, o utilizador poderá inserir os seus próprios dados que, por sua vez, serão posteriormente tratados e analisados. Para a inserção desses dados, é cedida ao utilizador uma série de componentes que deverão ser devidamente preenchidos para futura análise e representação dos resultados. Na tabela 3.4, situada infra, é apresentado um exemplo, retirado de uma publicação de Simões da Silva et al. (2009), alusivo aos dados necessários para a base de dados, previamente tratados pelo utilizador.

Tabela 3.4 – Ensaios experimentais da tensão do aço por espessura da peça in Simões da Silva et al., Journal of Constructional Steel Research 65 (2009)

Table 1
Hot-rolled steel grades and qualities according to EN 10025-2

Steel grades and qualities	Minimum yield strength R_{eH} (MPa)				Tensile strength R_m (MPa)		Minimum percentage elongation after fracture $L_0 = 5.65 \sqrt{S_0}$		
	Nominal thickness (mm)				Nominal thickness (mm)		Nominal thickness (mm)		
	≤ 16	$> 16 \leq 40$	$> 40 \leq 63$	$> 63 \leq 80$	< 3	$\geq 3 \leq 100$	$\geq 3 \leq 40$	$> 40 \leq 63$	$> 63 \leq 100$
S235JR	235	225	215	215	360-510	360-510	26	25	24
S235J0	235	225	215	215	360-510	360-510			
S235J2	235	225	215	215	360-510	360-510	24	23	22
S275JR	275	265	255	245	430-580	410-560	23	22	21
S275J0	275	265	255	245	430-580	410-560			
S275J2	275	265	255	245	430-580	410-560	21	20	19
S355JR	355	345	335	325	510-680	470-630	22	21	20
S355J0	355	345	335	325	510-680	470-630			
S355J2	355	345	335	325	510-680	470-630			
S355K2	335	345	335	325	510-680	470-630	20	19	18

Com base no citado anteriormente, o utilizador poderá inserir os seus próprios dados através de duas maneiras distintas: numa primeira forma, através da exibição de uma tabela com os dados ou, numa segunda forma, através da curva tensão-deformação. Os dados resultantes serão tratados e analisados posteriormente de modo a exercer uma função de pesquisa. Tendo em vista a inserção desses dados, é cedida ao utilizador uma série de componentes cujo preenchimento deverá ser respeitado para futura análise e representação dos resultados. Na tabela 3.4 (supra), é apresentado um exemplo dos dados expostos em tabela e, na figura 3.3 (infra) é apresentada a curva tensão-deformação, retirada de uma publicação de Simões da Silva et al. (2009), alusiva aos dados necessários para a base de dados, previamente tratados pelo utilizador.

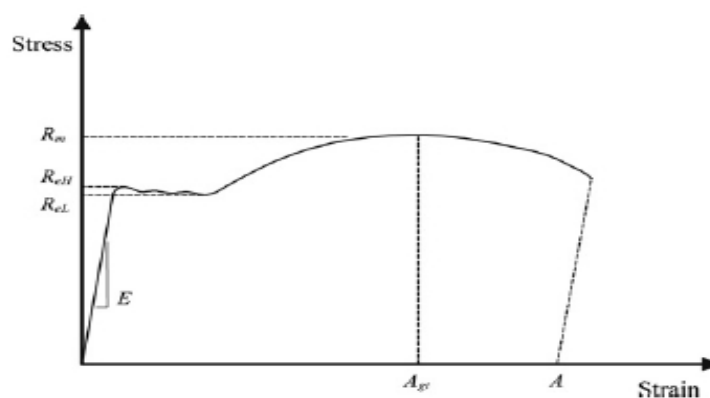


Figura 3.3 – Curva Tensão- Deformação do aço, Publicação Simões da Silva et al. (2009)

Na quarta e última opção, temos que o utilizador poderá inserir as propriedades mecânicas do material através de ensaios de tração uniaxiais, estabelecidos de acordo com a norma ISO 6892, sendo também aceite testes experimentais de impacto de acordo com a EN 10045-1. A localização e orientação das amostras e peças para os testes estão apresentadas infra, nas figuras 3.4 e 3.5, de acordo com o anexo A da EN 10025. Estes ensaios, ao serem analisados através de amostras, não serão relacionados diretamente com uma secção transversal constituinte na base de dados, antes utilizados apenas para avaliação das propriedades mecânicas do material. Assim, os resultados a apresentar serão expostos de forma idêntica à descrita anteriormente neste subcapítulo.

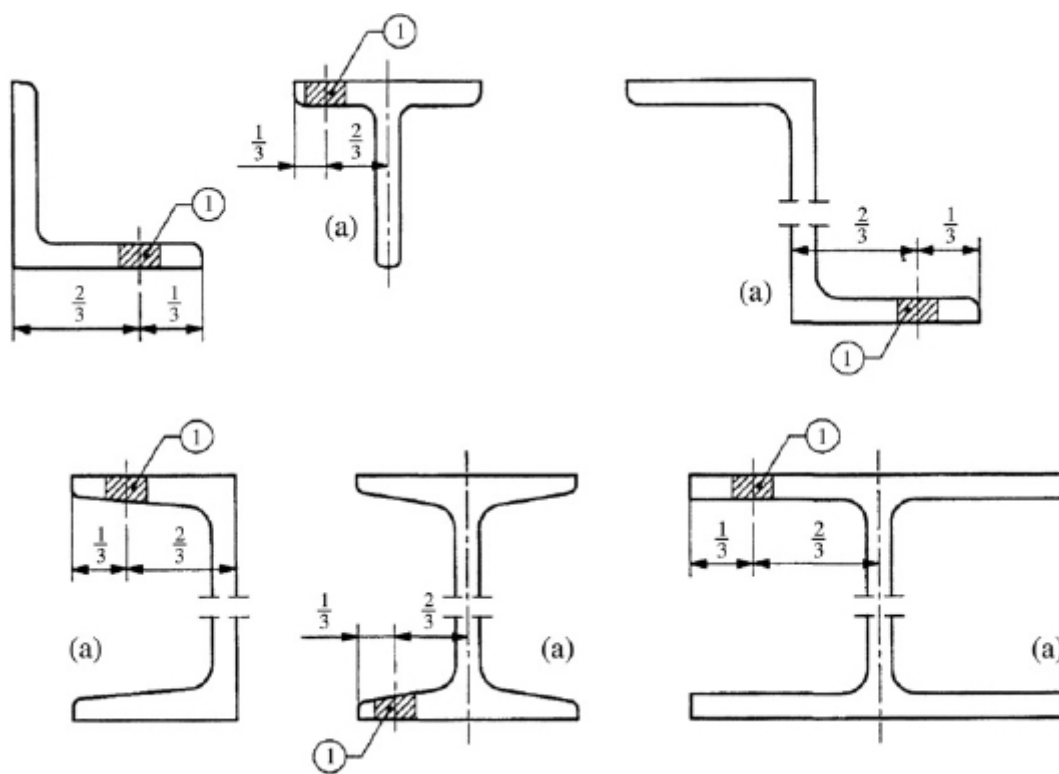


Figura 3.4 – Localização e orientação de amostras e peças para os ensaios, EN 10002-1
(2001)

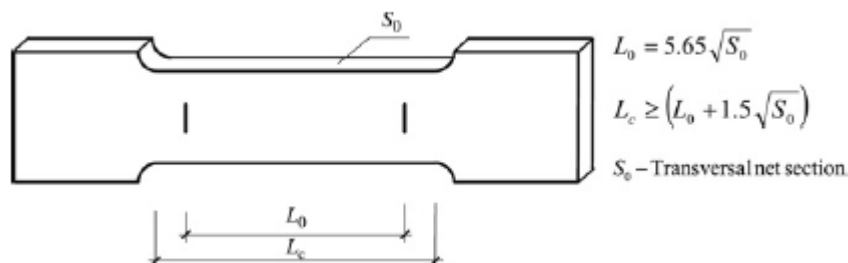


Figura 3.5 – Geometria de amostras planas proporcionais, EN 10002-1 (2001)

3.4 Imperfeições geométricas

As imperfeições geométricas encontram-se em estrita ligação com as inevitáveis imperfeições das estruturas reais traduzindo-se tanto no afastamento do comportamento real de um elemento comprimido em relação ao comportamento teórico, como no não alcance da carga crítica, em geral. O surgimento de tais imperfeições deve-se, nomeadamente, à falta de linearidade, à falta de retilinearidade, à falta de planura ou a imperfeições nas suas dimensões e forma. De notar que não são apenas as consideradas em obra mas antes, aquelas resultantes desde o fabrico das chapas metálicas até à imperfeição máxima na verificação da resistência e da estabilidade da peça e do seu funcionamento.

Tornar-se-á, então, possível delinear várias fases para a medição e controlo dessas imperfeições, sendo estes dados fornecidos ao utilizador como condições a garantir. Tendo isto em conta, estipulou-se 4 fases de medições e controlo sendo que, para cada uma delas, serão fornecidas fichas informativas no que diz respeito a tais tolerâncias, às normas respetivas e ao tipo de medições a considerar para cada uma das fases. Estas serão apenas de consulta das condições a garantir sendo que, numa fase final, será requisitado ao utilizador a inserção de dados experimentais, provendo o tipo de ensaio que é pretendido e quais os dados fundamentais. Essas tais normas consideradas encontram-se na tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Normas Europeias consideradas relativamente às tolerâncias das chapas e placas metálicas

Euronorms:

EN 10079	<i>Definition of steel products</i>
EN 10051	<i>Continuously hot-rolled uncoated plate</i>
EN 10029	<i>Hot rolled steel plates 3 mm thick or above – Tolerances on dimensions, shape and mass</i>
EN 1090	<i>Execution of Steel Structures and Aluminium</i>

Neste sentido, as fases com maior relevância, para o controlo das imperfeições geométricas enunciadas, serão delineadas pelas tolerâncias presentes em cada uma delas e pela ordem designada. Assim, numa primeira fase, teremos tolerâncias ao nível da chapa metálica; numa segunda fase, tolerâncias dos requisitos de entrega da condição de superfície de chapas metálicas; numa terceira fase, tolerâncias como garantias à resistência e estabilidade; e, por fim, numa quarta fase, tolerâncias com o intuito de garantir o funcionamento da estrutura.

Seguidamente, comporta-se o fornecimento ao utilizador de uma modelação de imperfeições geométricas com o intuito de inserir os dados relativos a cada tipo de imperfeição tal como das suas componentes, tendo em conta tanto uma análise global como uma análise local. Posto isto, a modelação de imperfeições geométricas requeridas para a base de dados é a seguinte:

Tabela 3.6 – Modelação de imperfeições geométricas

Imperfeições globais [perfil soldado]	
Tipo de imperfeição	Componente
Membro na globalidade	
Reforço longitudinal na globalidade	
Imperfeições locais [placa metálica]	
Tipo de imperfeição	Componente
Painel e sub-painel local	
Torção nos reforços locais	

Os pontos seguintes dedicam-se à explicação detalhada das fases de medição e do controlo das suas imperfeições geométricas. Também serão apresentadas as normas relativas a cada

uma dessas fases e, por fim, uma situação exemplificativa para melhor compreensão do proposto.

3.4.1 Tolerância ao nível da chapa metálica

As tolerâncias, ao nível da chapa metálica, poderão ser consideradas nas imperfeições locais. Estas deverão ser medidas em momento anterior à formação dos perfis soldados, razão pela qual a primeira fase de medição e controlo das mesmas tem por base a tolerância referida neste ponto.

Posto isto, é de ter em conta as Normas Europeias EN 10029 e EN 10051 estipuladoras das medições e controlo das tolerâncias de dimensões, das formas e massas, onde será dada tanto a possibilidade, ao utilizador, de descarregar a ficha informativa desta norma Europeia, como a de comprar a norma em questão.

Para melhor compreensão, apresenta-se um exemplo na tabela 3.6 das tolerâncias propostas pela EN 10029, ao nível do seu comprimento, largura e massa da chapa de aço, onde os valores utilizados correspondem ao exemplo referido supra, neste capítulo.

Tabela 3.7 – Exemplo de tolerâncias ao nível da chapa de aço laminada a quente

Cross-section geometry:

h	1172 [mm]
tr	12 [mm]
L	4800 [mm]

EN 10029

Download

Buy

Tolerances:

Excess of mass	6 [kg]	
Tolerance on width	<i>Lower:</i> 0 [mm]	<i>Upper:</i> 20 [mm]
Tolerance on length	<i>Lower:</i> 0 [mm]	<i>Upper:</i> 30 [mm]
Tolerance on thickness	<i>Lower:</i> -0,5 [mm]	<i>Upper:</i> 1,2 [mm]

3.4.2 Tolerância dos requisitos de entrega da condição de superfície de chapas metálicas

Neste ponto, referente às tolerâncias sobre os requisitos de entrega da condição de superfície das chapas metálicas fornecidas pela espessura destas, é de notar a normatividade de tais requisitos estabelecidos pela EN 10163-2 que trata daqueles relativos à entrega da chapa e placa metálica.

Estas tolerâncias serão demonstradas ao utilizador através da espessura estabelecida, primordialmente, na base de dados.

Na tabela 3.7, denota-se um exemplo, para melhor compreensão do que fora referido supra, utilizando-se dados relevantes em relação aos valores estipulados nos pontos anteriores:

Tabela 3.8 – Tolerância da condição de superfície das chapas de aço

EN 10163-2	<i>Download</i>	<i>Buy</i>
<i>Nominal thickness</i>	12 [mm]	
<i>Maximum permissible depth of imperfections</i>	0,3 [mm]	

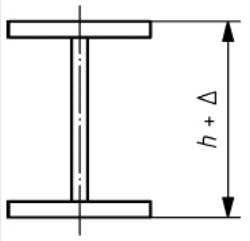
3.4.3 Tolerâncias para garantir a resistência e estabilidade

Agora, é de considerar o nível do perfil metálico, tendo em atenção o facto de que, na base de dados, será permitida a inserção de dados ao nível desta fase sem que, antes, seja efetuada a inserção dos dados relativos às fases anteriores, ao nível da chapa metálica.

Imperam aqui os critérios e parâmetros dados pela Norma Europeia EN 1090-2 (Anexo D – Tolerâncias essenciais) entre os quais, aquelas tolerâncias máximas essenciais permitidas para cumprir os critérios de resistência mecânica e de estabilidade na estrutura metálica.

Pelo facto de se tratar de uma base de dados contínua, e tendo em conta a secção transversal estabelecida inicialmente, fornecem-se ao utilizador as tolerâncias máximas permitidas por cada critério estabelecido na EN 1090-2, exemplificando um deles na tabela 3.8.

Tabela 3.9 – Exemplo de um critério da EN 1090-2 – tolerância essencial

EN 1090-2 Number	Download Criterion	Buy Parameter	Permitted deviation
1		Overall depth h :	$\Delta = -h/50$
		h [mm] = 1200	Δ [mm] = -24,0

De referir que os desvios permitidos não incluem as deformações elásticas induzidas pelo peso próprio das componentes.

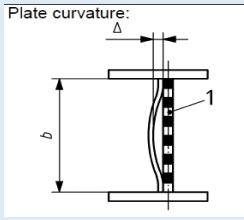
3.4.4 Tolerâncias para garantir o funcionamento

No que concerne às imperfeições geométricas e respetivas tolerâncias de garantia do funcionamento da estrutura, tanto a nível de critérios como de parâmetros, encontram correspondência naqueles utilizados no ponto anterior. De notar que, neste ponto, tais tolerâncias dizem respeito àquelas necessárias para atender a uma função diferente de estabilidade e resistência mecânica, como por exemplo a da aparência e do ajustamento.

De modo a saber qual o desvio Δ permitido torna-se necessário, em primeiro lugar, estipular o tipo de classe de execução que melhor se enquadra devido à existência de uma série de desvios realizados em duas classes, sendo a classe 1 correspondente às execuções EXC1 e EXC2 e a classe 2 às execuções EXC3 e EXC4.

Seguidamente, na tabela 3.9, encontra-se presente um exemplo de um critério de tolerância geométrica, tendo em conta uma classe de execução EXC2 e com recurso aos dados anteriormente estabelecidos.

Tabela 3.10 – Exemplo de um critério da EN 1090-2 – tolerância de funcionamento

EN 1090-2	<i>Download</i>	<i>Buy</i>		
Number	Criterion	Parameter	Permitted deviation	
4		Deviation Δ on the web height b :	$\Delta = \pm b/100$ But $\Delta \geq 5$ mm	$\Delta = \pm b/100$ But $\Delta \geq 5$ mm
		b [mm] = 1172	Δ [mm] = -11,72	Δ [mm] = -7,81

De referir que, tal como no ponto anterior, os desvios permitidos não incluem as deformações elásticas induzidas pelo peso próprio das componentes.

3.5 Tensões residuais

As tensões residuais são outro tipo de imperfeição a inserir na base de dados. Em relação às mesmas, é de ter presente que os primeiros estudos realizados, no que diz respeito à curva de distribuição e amplitude das tensões residuais em secções de aço estruturais, tiveram como mentores: Alpsten (1967); Young (1971,1972), para secções laminadas a quente; e, Brozzetti (1971) para os elementos de placa e secções soldadas. Como a base de dados em causa encontra-se, inicialmente, prevista para elementos de placa e secções soldadas, teve-se em apreço os ensaios executados por Brozzetti (1971) para uma adequada compreensão dos dados recolhidos.

Para uma cuidada avaliação da variabilidade das tensões residuais, solicita-se ao utilizador a inserção dos valores da tensão ao longo da secção transversal da peça na base de dados. Tal é exemplificado na figura 3.7, retirada de uma publicação de Shayan et al. (2013) onde se efectuou 63 medições reais distribuídas pela secção como também a comparação com um modelo de variabilidade de tensões residuais teórico não-dimensional dado pelo ECCS (1984).

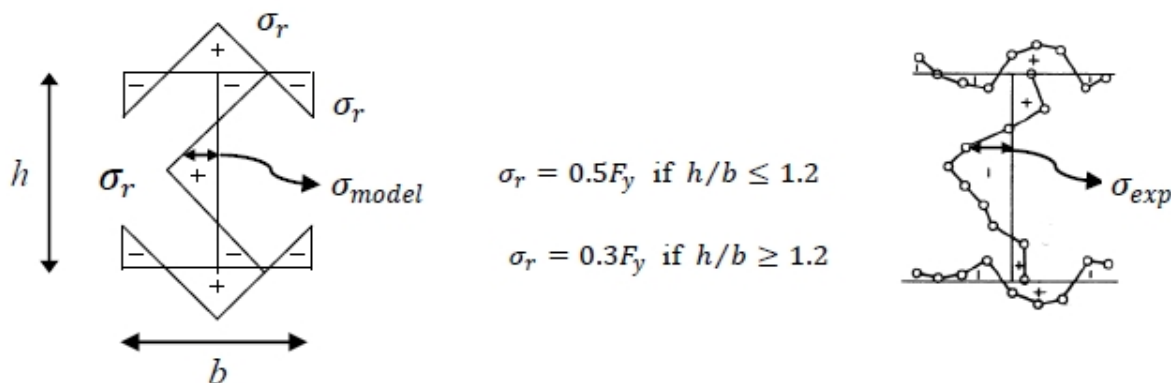


Figura 3.6 – Variabilidade das tensões residuais numa secção transversal da peça (a) modelo ECCS, (b) Exemplo de valor medidos das tensões residuais, Shayan et al (2013)

Com base nas secções soldadas referentes aos perfis em análise, as tensões residuais terão diferentes valores ao longo da fabricação da peça. Posto isto, optou-se pelo estudo da variabilidade das tensões residuais que, por sua vez, será faseada conforme a secção em causa. Assim, na primeira fase, a secção em análise será a chapa metálica; na segunda fase, será a do perfil soldado; e, por fim, numa terceira fase, a do perfil soldado com reforços. De notar que a última fase poderá ser incorporada na fase da soldagem do perfil.

Assim, atribui-se ao utilizador a opção por uma secção através de um perfil padrão, como demonstrado na figura 3.8.

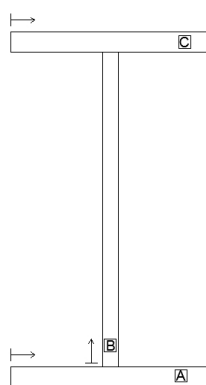


Figura 3.7 – Divisão de um perfil em I por secções

Posteriormente à seleção da secção em estudo, propõe-se a inserção dos dados por parte do utilizador, tanto do número total de segmentos em que se realizou o ensaio como o valor da tensão residual dado a cada um desses segmentos. É dada a hipótese de análise simultânea de dois ou mais valores por nó, tal como é expresso no exemplo da tabela 3.10 (ensaio realizado através de valores não reais). É ainda crucial referir que, pelo facto de se tratar de uma base de dados, haverá imposição de um limite máximo e/ou um limite mínimo a ser analisado posteriormente de modo a que os valores a tratar harmonizem-se como amostras aceitáveis.

Tabela 3.11 – Exemplo de inserção de dados para as tensões residuais numa chapa metálica

Section	Total n parts	N part	σ value		
A	10	1	-187	-184	-185,5
		2	-115	-112	-113,5
		3	-34	-33	-33,5
		4	23	22	22,5
		5	227	225	226
		6	375	371	373
		7	124	122	123
		8	-157	-154	-155,5
		9	-35	-32	-33,5
		10	-78	-77	-77,5

No que respeita às seguintes fases, a sua análise só poderá ser materializada aquando da inserção dos valores relativos às chapas metálicas constituintes do perfil soldado, sendo tal análise semelhante à demonstrada anteriormente.

Tendo em conta a análise a ser feita ao tratamento de dados das tensões residuais, na figura 3.9 é demonstrado um estudo feito às tensões residuais de uma peça de secção em I soldada, com recurso a um aço de alta resistência.

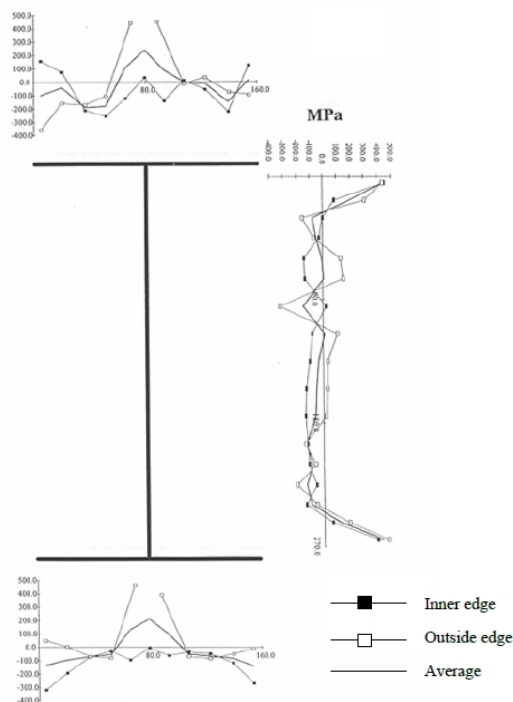


Figura 3.8 – Medição de tensões residuais numa peça soldada I, Beg (2007)

3.6 Cargas excêntricas

As cargas excêntricas serão os últimos dados requisitados na base de dados. Estas excentricidades, no plano da alma, tornam-se inevitáveis na prática daí que o seu impacto deva ser alvo de exame. Tais cargas são consideradas imperfeições tendo sido objeto de um trabalho de investigação conduzido por Elgaaly e Nunan (1989), Elgaaly e Salkar (1991) e Elgaaly et al. (1989,1991b,1992b), daí o recurso a estas publicações e respetivas conclusões. Posto isto, impõe-se, para futuros ensaios experimentais, a consideração de dois tipos de cargas: uma transversal e outra longitudinal (carga axial), como demonstrado pela figura 3.10. A avaliação das imperfeições resultantes destes dois tipos de cargas é necessária uma vez que, no caso de subsistência de excentricidades da carga aplicada no banzo do perfil, proporcionar-se-á uma torção na peça indesejada e não contabilizada. Já a carga axial aplicada com uma excentricidade, sobre o eixo da peça, poderá provocar um momento fletor não previsto inicialmente.

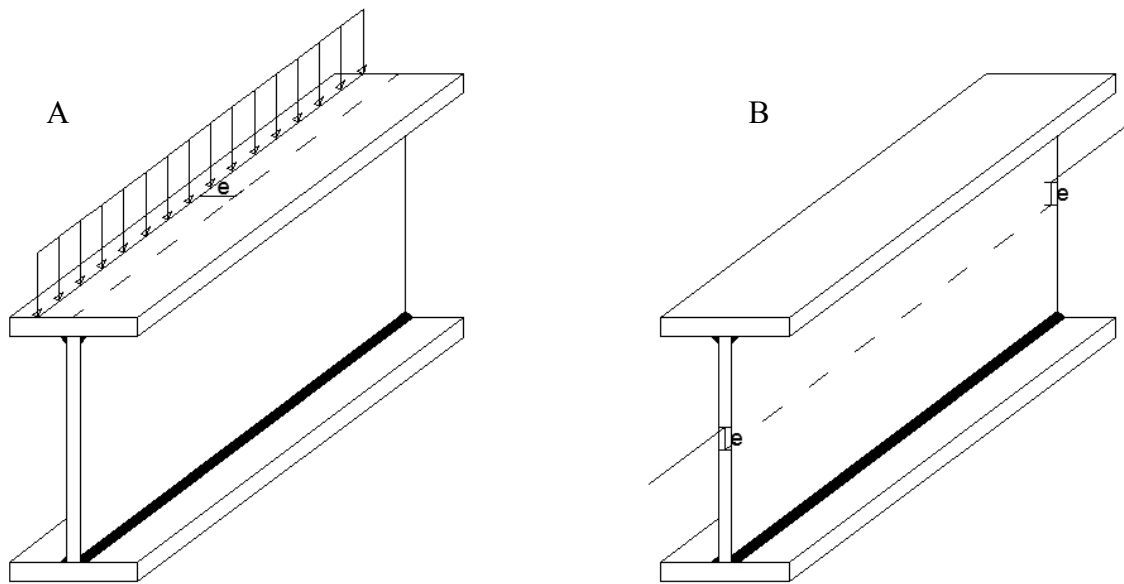


Figura 3.9 – Cargas aplicadas transversalmente (A) e longitudinalmente (B) num perfil I soldado

Após a inserção dos ensaios relativos a esta imperfeição existente na base de dados, o utilizador terá acesso aos dados recolhidos e tratados de modo a facultar a consulta de uma média e de um desvio padrão resultantes da excentricidade daquela.

Outro dado relevante prende-se com o facto de estas cargas não serem perpendiculares nem ao banzo nem à alma logo, poderão ser inclinadas ou não (ver figura 3.11), encontrando-se este tema ainda em discussão.

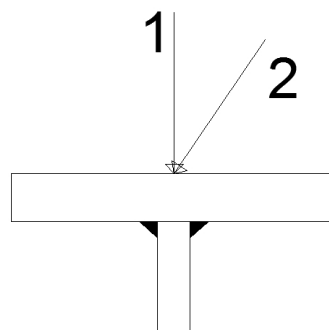


Figura 3.10 – Variação da aplicação das cargas

Como exemplo do tipo de dados e resultados pretendidos na base de dados, recorreu-se a um ensaio realizado pelo ECCS onde subsiste uma excentricidade da carga tanto pelo facto de esta ter sido colocada no centro de gravidade da alma como pelo facto de a alma ser excêntrica em relação à sua posição nominal. Com isto e tendo em conta a figura 3.12, retirada de Taras (2010), esta expõe o ensaio de uma secção laminada IPE 160 para uma carga aplicada axialmente, ensaio este contemplado como exemplo para o pretendido para a base de dados.

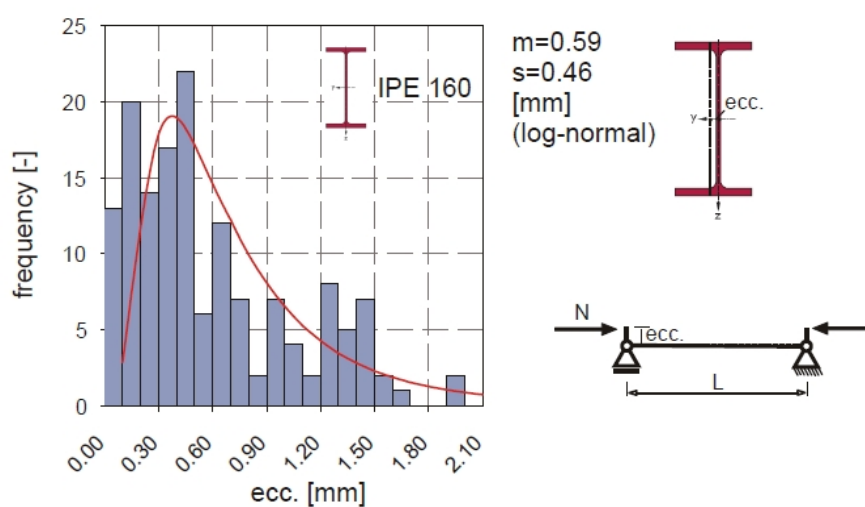


Figura 3.11 – Cargas excêntricas através do ECCS para ensaios no IPE 160, determinando a excentricidade da alma, Taras (2010)

4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

4.1 Introdução

Com base na estrutura referida no capítulo 2 e na organização dos dados das variáveis de base definidas no capítulo 3, neste capítulo abordar-se-á um exemplo de aplicação da base de dados, evidenciando um seguimento conciso do pretendido.

4.2 Definição geral do exemplo

Neste capítulo, há que ter em conta o facto de existirem variadas formas de lidar com a base de dados (como explicado anteriormente). O utilizador poderá apenas consultar dados e tolerâncias ou optar por inserir dados de ensaios e, como a base de dados abrange múltiplos temas, torna-se inconcebível um exemplo de aplicação englobante de todas as funcionalidades da mesma. Posto isto, institui-se um exemplo com a particularidade de que o utilizador irá inserir dados de ensaios experimentais das variáveis básicas descritas no capítulo 3.

Neste exemplo, o utilizador ensaiou uma secção soldada, com perfil em I, de uma coluna com 4,8 metros de comprimento, introduzindo as respetivas características geométricas do perfil pois estes não constavam na base de dados. Ao nível das propriedades mecânicas, o utilizador optou por empregar os valores nominais de um aço S275.

Assim, realizar-se-ão ensaios experimentais (apenas representativos) para as imperfeições definidas como variáveis básicas no capítulo 3, nomeadamente, a tensão residual, as imperfeições geométricas e as cargas excêntricas. No caso das tensões residuais, efetua-se uma análise global, avaliando a secção na 2ª fase (ver subcapítulo 3.5), que se trata de uma avaliação das tensões residuais de uma secção sem inserção de reforços. Já no caso das imperfeições geométricas, exemplifica-se qual o procedimento para a consulta das tolerâncias normativas existentes no perfil em estudo. Por fim, no caso das cargas excêntricas, procede-se à consulta de resultados experimentais.

Tendo em conta o *flowchart* exposto no capítulo 2, apresentar-se-á, para estes casos em particular, um *flowchart* crescente de modo a averiguar em que ponto se encontra situado o caso em estudo.

4.2.1 Secção transversal

Como fora proposto anteriormente (subcapítulo 3.2), o utilizador ensaiou uma coluna de perfil em I soldada. De modo a inserir esta secção transversal na base de dados, requer-se a inserção dos dados geométricos da mesma. Posto isto, a averiguação deste patamar é visível através do *flowchart* apresentado na figura 4.1.

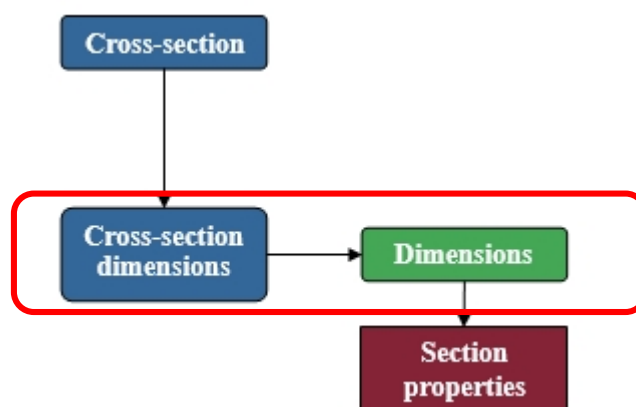


Figura 4.1 – *Flowchart* secção transversal

Nas tabelas seguintes (4.1 à 4.4) é manifesto o processo a realizar para a inserção dos dados.

Tabela 4.1 – Detalhes iniciais para a secção transversal

Cross-section:

<i>Section</i>	<i>List of products</i>	<i><u>Insert the dimensions</u></i>	<i>List of producers</i>
----------------	-------------------------	-------------------------------------	--------------------------

Num primeiro passo, o utilizador terá de seleccionar uma das opções dadas (ver tabela 4.1). Neste caso em particular, o utilizador irá inserir as características geométricas da secção.

Tabela 4.2 – Dados geométricos da secção

Cross-section dimensions:

h	1172 [mm]
b₁	300 [mm]
b₂	120 [mm]
t_w	12 [mm]
t_{f1}	18 [mm]
t_{f2}	10 [mm]

Num segundo passo, o utilizador terá de inserir as características geométricas da secção no entanto, sendo uma secção soldada, é dada a possibilidade de considerar a secção monossimétrica (como é o caso).

Com a introdução dos dados geométricos, seriam expostas ao utilizador todas as propriedades geométricas pertencentes à secção, estabelecidas no capítulo 3, através de algoritmos previamente fixados. Neste exemplo, apenas foram tidas em conta algumas propriedades geométricas, de modo que a tabela seguinte (4.3) não se tornasse muito extensa.

Tabela 4.3 – Propriedades geométricas da secção

Cross-section properties:

A	20664 [mm ²]
G	162,21 [kg/m]
I_y	1,65x10 ⁹ [mm ⁴]
I_z	3,24x10 ⁵ [mm ⁴]
W_{el,y}	540,95 [mm ³]
W_{el,z}	1,10x10 ⁷ [mm ³]
i_y	282,73 [mm]
i_z	3,96 [mm]
I_t	1,22x10 ⁶ [mm ⁴]
I_w	2,88x10 ¹⁰ [mm ⁶]

4.2.2 Propriedades mecânicas

No que diz respeito às propriedades mecânicas do material, estas podem ser avaliadas de várias formas, como é verificável no subcapítulo 3.3. Assim, será exemplificado como recorrer aos valores nominais das propriedades mecânicas do material. Nas tabelas seguintes (4.4 à 4.7), expõe-se ao utilizador como poderá optar por este processo e, sendo possível observar através do *flowchart* (figura 2.2) onde se engloba o caso em estudo.

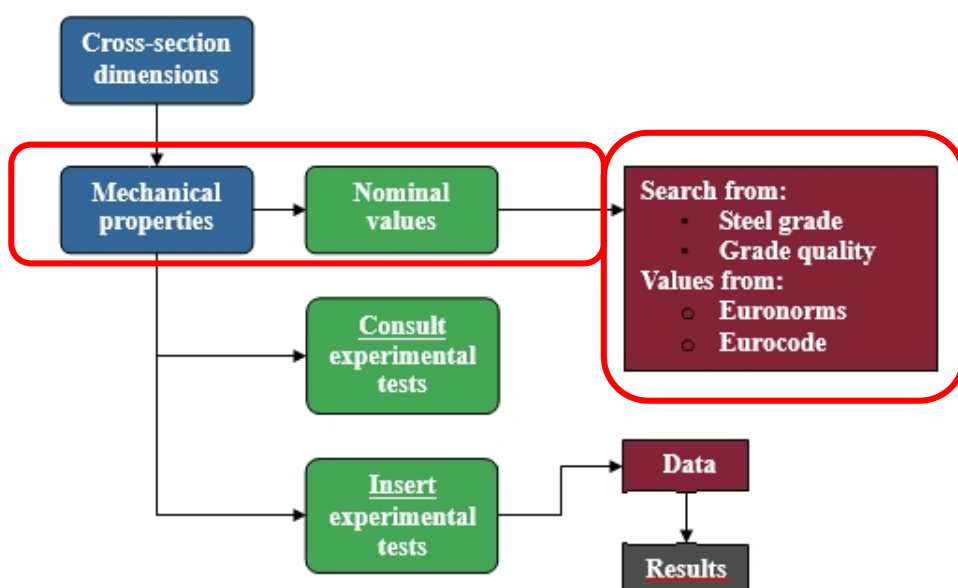


Figura 4.2 – *Flowchart* das propriedades mecânicas

Tabela 4.4 – Propriedades do aço

Steel properties:

<i>Steel</i>	<i>Choose nominal values</i>	<i>Insert test values</i>
--------------	------------------------------	---------------------------

Em análise, numa primeira fase, seleciona-se os valores nominais das propriedades do aço.

Tabela 4.5 – Escolha da classe e qualidade do aço

<i>Steel grade</i>	S275
<i>Steel quality</i>	J0
<i>Cross-section</i>	IPE 1172x162

Na tabela supra, é apresentado um leque de classes de aço, desde aços comuns, com início no S235, até aços de alta resistência (como o S690). Também é adotada a qualidade do aço, demonstrando-se as respetivas qualidades, estabelecidas pela EN 10025.

Assim, na tabela seguinte estabelecem-se os valores nominais através de algoritmos previamente fixados para a base de dados. Na tabela 4.7, é exposto as respetivas normas de produto, sendo possível descarregar uma ficha informativa ou mesmo comprar a norma, como já fora descrito no capítulo anterior.

Tabela 4.6 – Valores nominais das propriedades mecânicas

Steel properties:

E	210 [GPa]
G	81 [GPa]
f_y	265 [GPa]
f_u	430 [GPa]
ε_u ≥	19,64

Tabela 4.7 – Euronormas relativamente às propriedades mecânicas

Euronorms:

ISO 6892	<i>Metallic materials – Tensile testing</i>	<i>Download</i>	<i>Buy</i>
EN 10025	<i>Hot-rolled products of structural steels</i>	<i>Download</i>	<i>Buy</i>
EN 10045	<i>Metallic materials – Charpy impact test</i>	<i>Download</i>	<i>Buy</i>

4.2.3 Imperfeições geométricas

Como demonstrado supra neste documento, no subcapítulo 3.4, as imperfeições geométricas podem ser divididas em dois planos. O primeiro plano incide sobre as imperfeições a nível local enquanto o segundo plano incide sobre imperfeições a nível global. Para ambos os planos, foram realizados ensaios experimentais (não reais). Através do flowchart apresentado na figura 4.3, podemos constatar em que situação se encontra a variável básica em estudo.

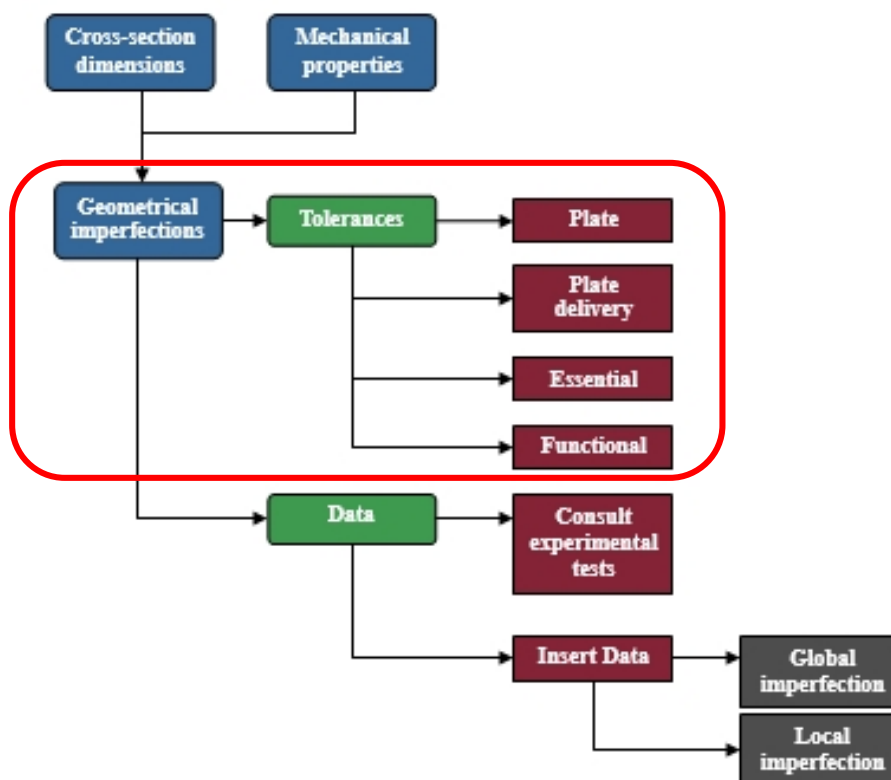


Figura 4.3 – *Flowchart* das imperfeições geométricas

Seguidamente, é proposto o acesso às normas (para consulta) por parte do utilizador, daí a sua idoneidade para descarregar o ficheiro diretamente da base de dados ou, se necessário, para proceder à compra da mesma. Deste modo, na tabela 4.8 encontram-se indicadas as normas das tolerâncias da placa e da chapa metálica.

Tabela 4.8 – Normas relativas às tolerâncias permitidas nas chapas metálicas

Euronorms:

EN 10163-2	<i>Delivery requirements for surface condition of hot rolled steel plates, wide flats and sections</i>	<i>Download</i>	<i>Buy</i>
EN 10079	<i>Definition of steel products</i>	<i>Download</i>	<i>Buy</i>
EN 10051	<i>Continuously hot-rolled uncoated plate</i>	<i>Download</i>	<i>Buy</i>
EN 10029	<i>Hot rolled steel plates 3 mm thick or above – Tolerances on dimensions, shape and mass</i>	<i>Download</i>	<i>Buy</i>

Para além da exposição das normas para consulta, também serão expostas as tolerâncias correspondentes à secção escolhida, na qual o utilizador poderá efetuar a sua consulta mas, também, ser-lhes-á permitido elaborar pesquisa para outras secções. Na tabela 4.9, referem-se as tolerâncias para uma dada secção escolhida, tolerâncias essas estabelecidas através de algoritmos, de acordo com as normas em vigor.

Tabela 4.9 – Geometria e tolerâncias de um exemplo para uma chapa metálica

Cross-section geometry:

h	1172 [mm]
t_f	12 [mm]
L	4800 [mm]

Tolerances:

EN 10029

<i>Excess of mass</i>	6 [kg]	
<i>Tolerance on width</i>	<i>Lower: 0 [mm]</i>	<i>Upper: 20 [mm]</i>
<i>Tolerance on length</i>	<i>Lower: 0 [mm]</i>	<i>Upper: 30 [mm]</i>
<i>Tolerance on thickness</i>	<i>Lower: -0,5 [mm]</i>	<i>Upper: 1,2 [mm]</i>

Num segundo plano com incidência sobre as imperfeições globais, será apresentado na mesma ordem de ideias do que sucedeu, para as imperfeições geométricas locais. A norma que fará correspondência entre as tolerâncias e este tipo de imperfeição geométrica será a EN 1090-2, no seu anexo D, tendo em consideração apenas os parâmetros mais relevantes.

Nas tabelas 4.10 e 4.11, encontram-se representadas quatro tolerâncias em que duas designam-se essenciais e outras duas de funcionamento, respetivamente. Pelo anexo D da EN 1090-2, as tolerâncias essenciais garantem a resistência e a funcionalidade da peça, enquanto as tolerâncias funcionais garantem o funcionamento da peça.

Tabela 4.10 – Exemplo de tolerâncias permitidas para garantir a resistência e estabilidade, EN 1090-2

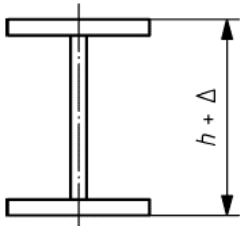
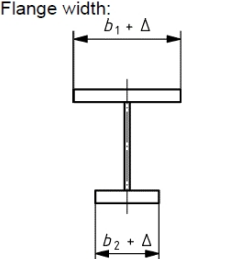
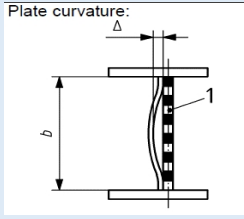
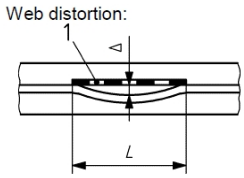
<i>Number</i>	<i>Criterion</i>	<i>Parameter</i>	<i>Permitted deviation</i>
1		Overall depth h:	$\Delta = -h/50$
		h [mm] = 1200	Δ [mm] = -24,0
2		Width b1 or b2:	$\Delta = -b/100$
		b1 [mm] = 300	Δ [mm] = -3,0
		b2 [mm] = 120	Δ [mm] = -1,20

Tabela 4.11 – Exemplo de tolerâncias permitidas para garantir o bom funcionamento, EN 1090-2

<i>Number</i>	<i>Criterion</i>	<i>Parameter</i>	<i>Permitted deviation</i>	
4		Deviation Δ on the web height b :	$\Delta = \pm b/100$ But $\Delta \geq 5$ mm	$\Delta = \pm b/100$ But $\Delta \geq 5$ mm
		b [mm] = 1172	Δ [mm] = -11,72	Δ [mm] = -7,81
5		Deviation Δ on the web height b :	$\Delta = \pm b/100$ But $\Delta \geq 5$ mm	$\Delta = \pm b/100$ But $\Delta \geq 5$ mm
		b [mm] = 1172	Δ [mm] = -11,72	Δ [mm] = -7,81

De referir que a base de dados estará preparada, através de algoritmos, para efetuar e apresentar todas estas tolerâncias de forma automática.

4.2.4 Tensões residuais

Neste tipo de imperfeição, há que adotar uma de entre duas hipóteses, nomeadamente, uma análise individual (chapa metálica) ou uma análise global (peça). A existência destas deve-se à possibilidade de análise das tensões residuais em diferentes fases, desde as tensões de uma chapa isolada até a um perfil com reforços, embora não seja obrigatória a inserção, por parte do utilizador, dos valores relativos a estas fases. Assim, na figura 4.4, apresenta-se um *flowchart* referente ao proposto nesta exemplificação.

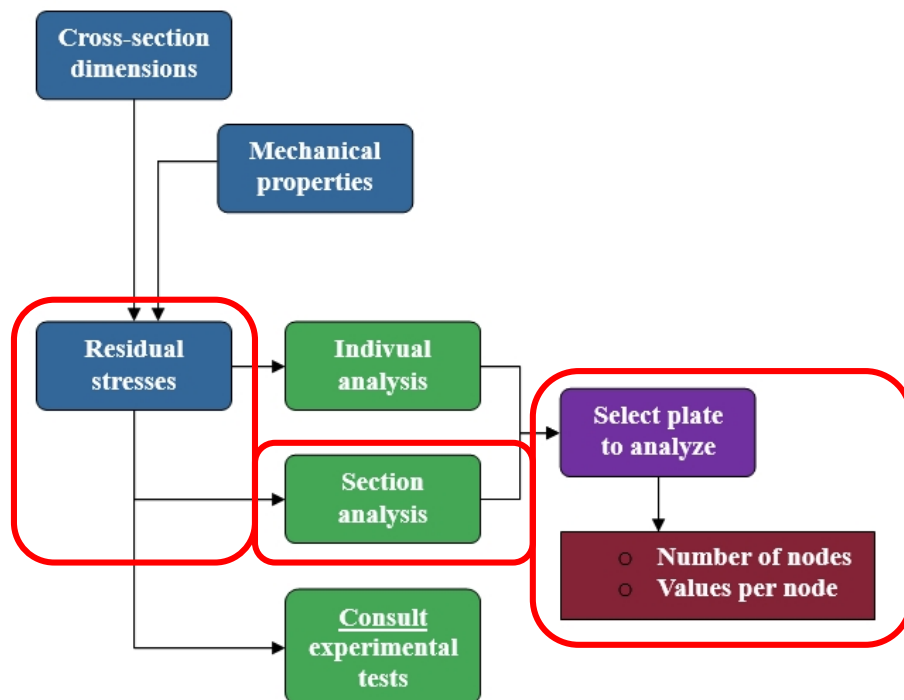


Figura 4.4 – *Flowchart* das tensões residuais

Em análise, é de notar primeiramente, a escolha do tipo de análise a realizar (ver tabela 4.12). Como segundo temos a atribuição automática, por parte da base de dados, da secção em estudo. Em momento ulterior, disponibilizar-se-á uma secção padrão de modo a proceder à escolha da secção onde serão inseridos os dados experimentais relativos a esta imperfeição.

Tabela 4.12 – Detalhes iniciais das tensões residuais

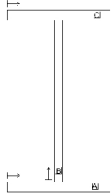
Details residual stresses:

<i>Cross-section</i>	IPE 1172x162		
<i>Steel</i>	S 275 J0		
<i>Residual stresses</i>	<i>Individual analysis</i>	<i>Section analysis</i>	<i>Consult experimental tests</i>

Da tabela 4.13 à 4.15, expõe-se um exemplo de um ensaio experimental para uma secção soldada, exemplo este alcançado através de valores aleatórios.

Tabela 4.13 – Detalhes iniciais da inserção de dados das tensões residuais

Details:

<i>Section</i>	IPE 1172x162	
		
<i>Steel plate A</i>	<i>Number of nodes: 20</i>	<i>Values per node: 3</i>
<i>Steel plate B</i>	<i>Number of nodes: 15</i>	<i>Values per node: 3</i>
<i>Steel plate C</i>	<i>Number of nodes: 15</i>	<i>Values per node: 3</i>

Em apreciação, será requerido ao utilizador que insira tanto o número de nós estudados como o número de medições feitas ao longo da espessura. Com a inserção desses valores, estabelecer-se-á um quadro padrão de modo a que o utilizador possa inserir os seus dados experimentais, tal como se verifica nas tabelas seguintes (Tabela 4.14 à Tabela 4.16).

Tabela 4.14 – Exemplo de inserção de dados experimentais para as tensões residuais, análise à secção A

<i>Section</i>	<i>Total n part</i>	<i>N part</i>	<i>σ value</i>		
A	20	1	75	74	73
		2	23	21	19
		3	2	1,5	1
		4	-15	-14,5	-14
		5	-85	-83	-81
		6	-165	-164,5	-164
		7	-333	-332	-331
		8	-230	-228	-226
		9	-141	-139,5	-138
		10	-87	-85	-83
		11	-76	-75,5	-75
		12	-53	-52,5	-52
		13	-22	-21,5	-21
		14	-8	-7	-6
		15	15	14	11
		16	29	27,5	26
		17	45	44	43
		18	32	31	30
		19	32	30	28
		20	18	17,5	17

Tabela 4.15 – Exemplo de inserção de dados experimentais para as tensões residuais, análise à secção B

<i>Section</i>	<i>Total n part</i>	<i>N part</i>	<i>σ value</i>		
B	15	1	-174	-184	-179
		2	-128	-112	-120
		3	-30	-33	-31,5
		4	26	20	23
		5	38	25	31,5
		6	72	83	77,5
		7	114	124	119
		8	234	223	228,5
		9	374	371	372,5
		10	134	122	128
		11	-169	-156	-162,5
		12	-45	-31	-38
		13	-92	-75	-83,5
		14	-65	-50	-57,5
		15	-45	-49	-47

Tabela 4.16 – Exemplo de inserção de dados experimentais para as tensões residuais, análise à secção C

<i>Section</i>	<i>Total n part</i>	<i>N part</i>	<i>σ value</i>		
C	15	1	-187	71	-185,5
		2	-115	-114	-113,5
		3	-34	-33	-33,5
		4	23	19	21,5
		5	26	25	25,5
		6	85	82	84
		7	127	124	125,5
		8	227	226	225
		9	375	373	373
		10	124	122	123
		11	-157	-154	-156,5
		12	-35	-31	-33
		13	-78	-76	-76,5
		14	-54	-52	-52
		15	-52	-50	-50,5

Nesta exemplificação, apenas seriam inseridos ensaios para uma fase de medição das tensões residuais mas, como foi mencionado anteriormente no capítulo 3, fica ao critério do utilizador a análise ou não das peças em estudo nas diferentes fases, daí que a base de dados seja preparada para o efeito.

4.2.5 Cargas excêntricas

Neste caso, deparamo-nos com a consulta de dados estatísticos dos ensaios realizados às cargas excêntricas. A abordagem deste ponto tem como função a de exemplificar este tipo de análise englobada na base de dados e, uma vez que, não surgem dados experimentais na base de dados suficientes para disponibilizar os dados pretendidos, proceder-se-á a uma distribuição estatística com valores não reais.

De modo a compreender o tipo de análise e a situá-la na estrutura global da base de dados, na figura 4.5 temos o *flowchart* correspondente às cargas excêntricas.

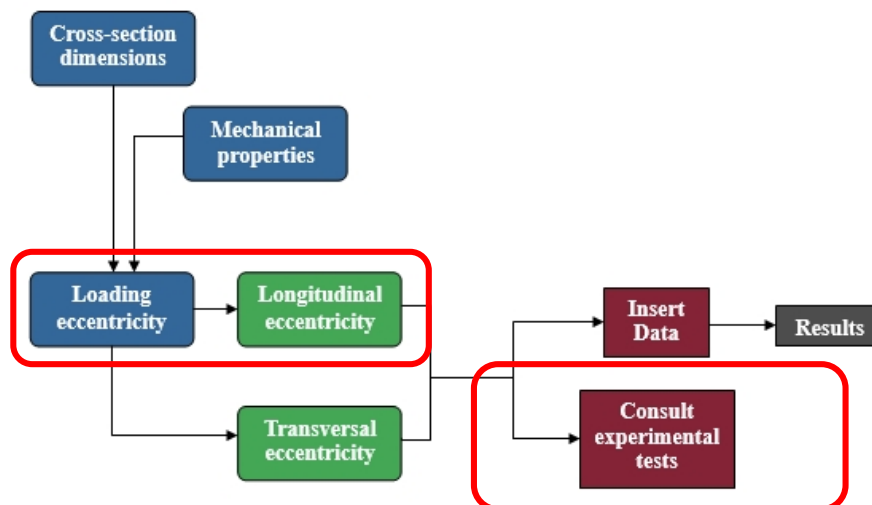


Figura 4.5 – *Flowchart* das cargas excêntricas

De acordo com a figura 2.1, será apresentada uma distribuição estatística de um determinado perfil realizado, cumprindo-se a confidencialidade dos produtores (tal como mencionado no capítulo 2), ou seja, revelam-se apenas dados devidamente tratados dos ensaios experimentais recolhidos. Nas tabelas seguintes (4.17 e 4.18) expõe-se os passos necessários para atingir o pretendido, englobando-se na mesma ordem de ideias dos pontos anteriores deste capítulo, enquanto na figura 4.6 são expostos os resultados.

Como sucede nos casos anteriores, o ponto de partida é a classe do aço e a secção transversal, apresentando na tabela 4.17 os seguintes detalhes:

Tabela 4.17 – Detalhes iniciais das cargas excêntricas

Details loading eccentricity:

<i>Cross-section</i>	IPE 1172x162	
<i>Steel</i>	S 275 J0	
<i>Load eccentricity</i>	<i>Longitudinal eccentricity</i>	<i>Transversal eccentricity</i>

Com a seleção do tipo de cargas pretendido, procede-se para a seleção do tipo de análise ambicionada (como sucede na tabela 18).

Tabela 4.18 – Escolha de dados das cargas excêntricas

Longitudinal eccentricity:

<i>Insert data</i>	<i><u>Consult experimental tests</u></i>
--------------------	--

Visto que a opção será a de consultar dados estatísticos de ensaios experimentais, a base de dados apresentará, automaticamente, os dados correspondentes à secção e à classe do aço previamente designados (figura 4.6).

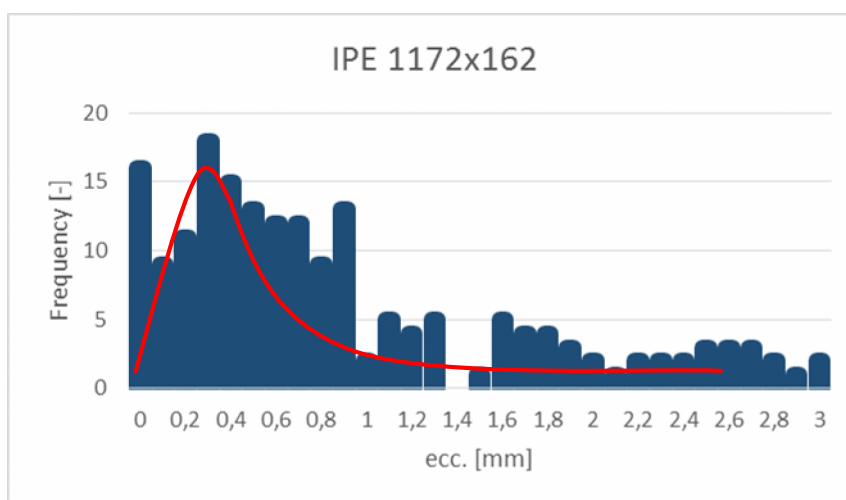


Figura 4.6 – Exemplo de dados estatísticos das cargas excêntricas

De referir que o utilizador poderá consultar outros dados estatísticos, caso assim o pretendam, como também poderão optar por outro tipo de classe do aço ou por outra secção transversal.

5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1 Conclusão

O estudo realizado ao longo desta dissertação terá como função primordial a de fornecer apoio tanto a programas como à comunidade de aço estrutural, podendo ser visto como a abertura de uma janela de oportunidades cujo fim resulta na aprendizagem e compreensão das variáveis básicas mencionadas no corpo de texto deste documento. Esta base de dados irá complementar a pré-existente criada pela ECCS, em parceria com a CMM e a OneSource. Assim, tratar-se-á de uma mais-valia para as aplicações móveis, que têm sido alvo de desenvolvimento, uma vez que a base de dados será mais vasta e mais completa relativamente à disponibilizada atualmente.

No que diz respeito à base de dados, esta já engloba tanto os algoritmos relativos às tolerâncias estabelecidas pela EN 1090-2 (anexo D), como aqueles algoritmos estabelecidos para algumas propriedades geométricas de perfis soldados. De frisar a realização de um exemplo completo de todas as variáveis básicas de acordo com o pretendido para a base de dados.

É de referenciar o facto de que as normas mencionadas, ao longo do texto dissertativo em questão, serem providas da possibilidade de atualização e complementação com outras normas associadas às variáveis em estudo.

Por fim, e embora este projeto se encontre numa fase inicial, é necessário referir que, tendo em conta o facto de a base de dados incidir sobre as propriedades do aço que, por sua vez, têm por base o estudo dos modos de rotura dúcteis e frágeis dos materiais, torna-se primordial a clareza e a concisão da informação recolhida pelo utilizador de modo a que, num ulterior tratamento de dados executado por quem seja competente para tal, a análise e compreensão dos dados inseridos pelo utilizador seja mais inteligível.

5.2 Desenvolvimentos futuros

Em primeiro plano, há que mencionar os trabalhos que ficaram por realizar no âmbito do descrito neste documento. Como ponto primário temos os tipos de secção que serão aceites nesta base de dados para o devido tratamento de dados, como também alguns cálculos numéricos e algoritmos interligados com o cálculo das propriedades das secções e das tolerâncias permitidas (realizado apenas para algumas normas). A inserção de novas normas relativas a outro tipo de secção e aos algoritmos correspondentes também não foi abordada nesta dissertação, remetendo-se para trabalhos futuros. Outro assunto em estado pendente incide sobre a consideração ou não de condições-fronteira no que concerne aos ensaios experimentais, sejam essas condições consideradas nas imperfeições geométricas ou nas cargas excêntricas.

Em segundo plano, ficará por designar um encontro futuro entre a OneSource, Consultadoria Informática, Lda. e os responsáveis por este projeto, com o intuito de ajustar pormenores atinentes à organização e à interface da base de dados aludida.

Em último plano, há que delinear o facto de este projeto Europeu se encontrar numa fase inicial ao que irá acrescer novas críticas e/ou problemas relacionáveis com a própria base de dados, ficando assim em aberto a hipótese de futuros trabalhos aos quais não houve alusão.

Tendo em conta que esta dissertação é uma contribuição para o desenvolvimento de uma base de dados, que consiste num projeto Europeu que se encontra em fase inicial, irá acrescer críticas e/ou problemas relacionáveis com a própria base de dados, ficando assim em aberto a hipótese de futuros trabalhos aos quais não houve alusão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livro

Beer,H.,Schulz,G. (1970), “Bases théoriques des courbes Européennes de flambement”,
Construction Métallique nº3.

Artigo em Revista

Beg,D., Kozlevcar,P. (2007). “Residual stresses in welded elements made of high strengtg
steel”, ECCS – TC8.

Elgaaly, M., and Nunan, W. (1989). “Behavior of Rolled Section Web Under Eccentric Edge
Compressive Loads,” ASCE J. Struct. Eng., Vol. 115, No. 7, pp. 1561–1578.

Simões da Silva, L., Rebelo, C., Nethercot D., Marques, L., Simões, R. (2008). “Statistical
Evaluation of the Lateral-Torsional Buckling Resistance of Steel I-beams, Part 2: Variability
of steel properties”. J. of Const. Steel Res., 64, pp. 832-849.

Artigo em Atas de Congresso

ECCS (1978). “European Recommendations for Steel Construction”, European Convention
for Constructional Steelwork, Brussels.

Elgaaly, M., and Salkar, R. (1991a). “Behavior of Webs Under Eccentric Compressive Edge
Loads,” in Contact Loading and Local Effects in Thin-Walled Plated and Shell Structures:
IUTAM 1990 Symposium in Prague, Springer-Verlag, Berlin.

Elgaaly, M., and Salkar, R. (1991b). “Web Crippling Under Edge Loading”, Proc. 1991 AISC
Nat. Steel Constr. Conf.

Elgaaly, M., Salkar, R., and Du, C. (1991b). “Analytical Study of Web Crippling Under Edge
Compressive Loads”, Proc. 5th Int. Conf. Comput. Exp. Meas., Montreal, Quebec, Canada,
Elsevier, New York.

S.Shayan et al (2013). “System realibility of steel frames designed by inelastic analysis”,
Proceeding of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council,
St.Louis, Missouri, April 16-20, 2013.

Relatório Técnico

Elgaaly, M., and Salkar, R. (1992), “Web Behavior and Ultimate Capacity Under Inplane Compressive Loads”, report submitted to the National Science Foundation.

Tese de Doutorado

Taras, A. (2010), “Contribution to the development of consistency stability design rules for steel members”, PhD thesis, Graz University of Technology.

Especificação

EN 10002-1 (2001), “Tensile test metallic materials”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

EN 10002-2 (1992). “Tensile testing of metallic materials. – Part 2: Verification of the force measuring system of the tensile testing machine”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

EN 10020 (2000). “Definition and classification of grades of steel”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

EN 10025-1 (2004). “Hot rolled products of structural steels – Part 1: General technical delivery conditions”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

EN 10025-2 (2004). “Hot rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

EN 10025-3 (2004). “Hot rolled products of structural steels – Part 3: Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

EN 10025-4 (2004). “Hot rolled products of structural steels – Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

EN 10025-5 (2004). “Hot rolled products of structural steels – Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

EN 10025-6 (2004). “Hot rolled products of structural steels – Part 6: Technical delivery conditions for flat products of high yield strength structural steels in the quenched and tempered condition”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

EN 10029 (1991). “Hot rolled steel plates 3 mm thick or above – Tolerances on dimensions, shape and mass”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

- EN 10045-1 (1990). “Metallic materials – Charpy impact test – Part 1: Test method”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.
- EN 10079 (1994). “Definição dos produtos de aço”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.
- EN 10163-2 (1991). “Delivery requirements for surface condition of hot rolled steel plates, wide flats and sections – Parte 2: Plate and wide flats”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.
- EN 1090-2 (2008). “Execution of Steel Structures and Aluminium Structures – Part 2: Technical Requirements for Steel Structures”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.
- Eurocode 3 (2006). EN 1993-1-5;2006, Eurocode 3. “Design of steel structures. Plated structural elements”, CEN, Brussels.
- Eurocódigo 3 (2010). NP EN 1993-1-1:2010, Eurocódigo 3. “Projecto de estruturas de aço. Regras gerais e regras para edifícios”, CEN, Bruxelas.
- ISO 6892-1 (2009). “Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature”.
- ISO 6892-2 (2011). “Metallic materials – Tensile testing – Part 2: Method of test at elevated temperature”.
- NP EN 10051 (1994). “Chapas, bandas largas e bandas cortadas longitudinalmente, laminadas a quente em contínuo, de aços ligados e não-ligados”, CEN – European committee for Standardization, Brussels.

Site da Internet

- ECCS@ (2013). <http://www.steelconstruct.com/site/>. European Commission for Coal and Steel (página de internet oficial), Brussels.

ANEXOS

A – Ficha de declaração de confidencialidade

Confidentiality Agreement

Steel Producers Data for European Database of Steel Properties

This Agreement, effective on __/__/__,
is by and between _____ ("Disclosing Party"),
with offices at _____, and
University of Coimbra ("Receiving Party"),
with offices at Coimbra - Portugal.

The Disclosing Party intends to disclose certain Confidential Information to the Receiving Party for the following purpose of an European Database of Steel Properties.

Now, therefore, in consideration of the Disclosing Party making such confidential information available to the Receiving Party, the Receiving Party hereby agrees as follows:

1. Confidential Information shall not be disclosed and shall include technical data or specifications, compilations of information, records, testing methods, business or financial information, research and development activities, product plans, and customer and supplier information.
2. Confidential Information shall not include disclosed information to the extent that:
 - (a) The Receiving Party can demonstrate that such disclosed information was known prior to the time of its disclosure under this Agreement;
 - (b) Was independently developed or discovered by the Receiving Party without use of the Confidential Information;
 - (c) Written permission is obtained from the Disclosing Party or his/her authorized representative;
3. The Receiving Party acknowledges that the Disclosing Party claims ownership of the Confidential Information disclosed by the Disclosing Party.

The Disclosing Party agrees that the Disclosed Information will be used by the Receiving Party for statistical purposes and that such information is made available to the public.







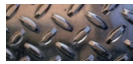
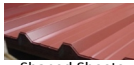
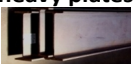
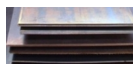

In Witness whereof, the Parties hereto have caused this Agreement to be executed.

DISCLOSING PARTY	RECEIVING PARTY
Signature: _____	Signature: _____
Name: _____	Name: _____
Title: _____	Title: _____
Date: __/__/__	Date: __/__/__

B – Informação disponibilizada pelo Produtor

Logo of the company	
<p>Products: Describe all products manufactured in general; Use images for each product; Show the type of products in each general product.</p>	<p>Contacts: Should include: Name; Address; Phone number; E-mail; GPS coordinates.</p>
Describe about the company	

Exemplo, dados fornecidos pelo Grupo FERPINTA.

FERPINTA, PORTUGAL		
<p>Products</p> <p>Tubes</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  Steel Tubes for Precision Applications </div> <div style="text-align: center;">  Structural Hollow Sections </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  Steel Tubes Suitable for Welding and Threading </div> <div style="text-align: center;">  Special Sections </div> </div> <p>Channels</p> <div style="text-align: center;">  Open Sections </div> <p>Plates</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  Coils and Cut Length Sheets </div> <div style="text-align: center;">  Hot-Rolled Embossed Steel Plates </div> </div> <div style="text-align: center;">  Shaped Sheets </div> <p>Hot rolled steel merchand shapes and heavy plates</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  Hot rolled steel merchand shapes </div> <div style="text-align: center;">  Heavy plates </div> </div> <p>Accessories</p> <div style="text-align: center;">  Pipe fittings </div>	<p>Contacts</p> <p>FERPINTA – Ind. Tubo Aço de F.P.T., S.A. Carregosa, Ap. 26 3730 - 956 Vale de Cambra PORTUGAL</p> <p>Tel: +351 256 411 400 Fax: +351 256 412 049</p> <p>E-mail: info@ferpinta.pt http://www.ferpinta.pt MAPS</p>	<p>About us</p> <p>The Group Ferpinta is guided by the flexibility and immediate response to new challenges of tomorrow, focusing on areas of added value in a process of continuous adjustment to new economic scenarios, usually more extensive and aggressive.</p> <p>One concern dominated by component quality and added value strategy, where the ability to preview is reflected in the type of investment steel (production and distribution of welded steel tubes), tourism, agricultural equipment and livestock.</p> <p>The management model is consistent and sustained, assuming the role of Human Resources as a productive factor essential in a global organizational design and global.</p> <p>A mission of creating and distributing more and more wealth, contributing to the welfare of global society.</p> <p><i>Group Ferpinta - dream of the future.</i></p>

C – Ficha padrão de preenchimento

Esta ficha padrão de preenchimento será apenas informativa, onde será descrito os parâmetros necessários para cada variável base, demonstrando as unidades e informação extra para cada um desses parâmetros.

Para o preenchimento dos dados é recomendado que o utilizador insira os seus dados experimentais em folhas de documento EXCEL, para posteriores tratamentos dos mesmos.

Este documento será apresentado em língua Inglesa, pelos mesmos motivos que foi mencionado anteriormente.

STANDART GUIDE

This document describes the data required for each basic variable, where the corresponding units will be displayed, if they exist.

This document is only to show the data required, the test values are to be delivered in an excel document and imported to the database. Alternatively, they can awlays be directly uploaded in the database,.

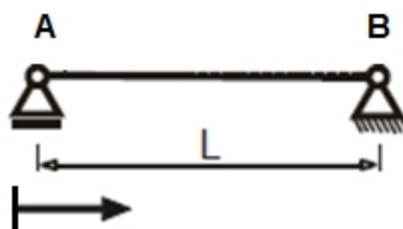
It is not necessary to perform tests for all basic variables. In some cases nominal values may be used.

First step, identification of the source who performed the experimental tests.

Identity:

Source

For all experimental tests, the order of the segments is given by the next figure.



Cross-section geometry

Cross-section Dimensions:

Designation	G	Kg/mm
Dimensions	h	mm
	b1	mm
	b2	mm
	tw	mm
	tf1	mm
	tf2	mm

The cross-section properties are automatically calculated, by the database through an algorithm.

Mechanical properties

Mechanical properties:

Steel		
t	mm	
Section		
fy	MPa	
fu	MPa	
εu		
E	MPa	

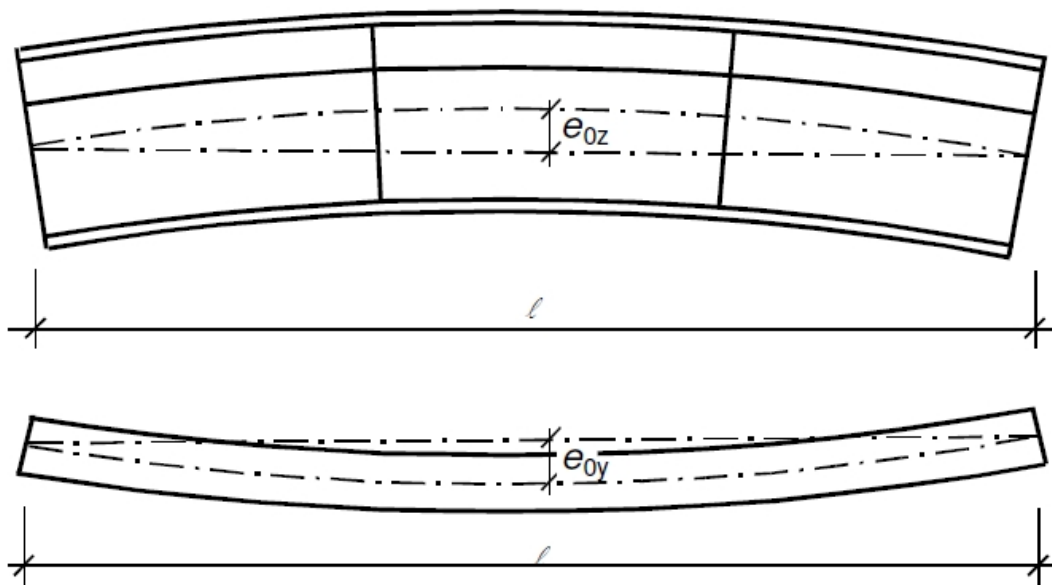
Geometrical imperfections

Geometrical imperfections:

Section		
L total	mm	

Global

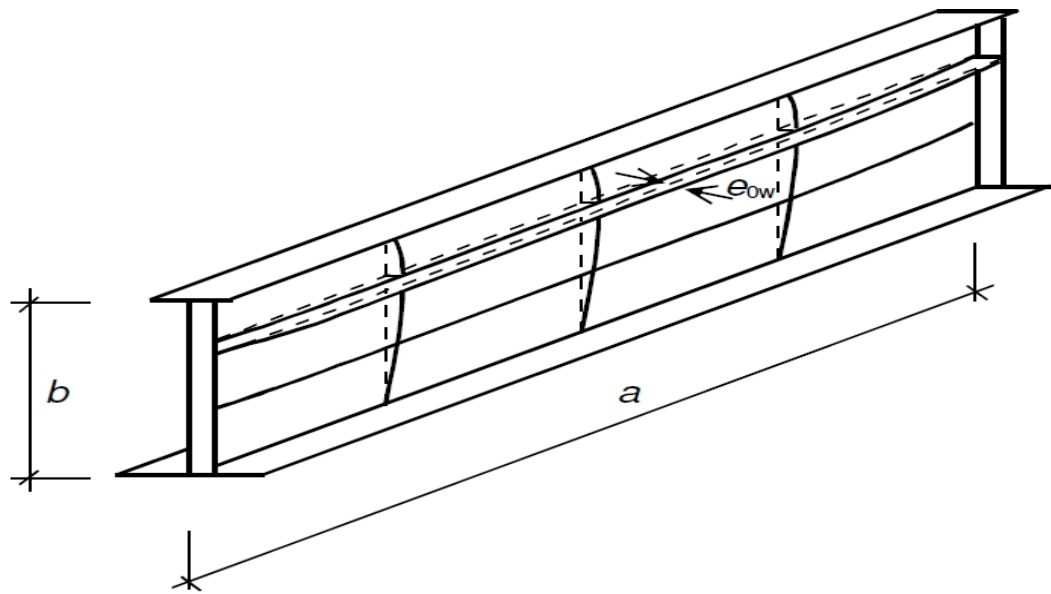
The first analysis is the global member with the length \underline{L} , how is demonstrated in the figure below.



Global member with length L:

Segments		Number of segments study in the test experimental
N segment		Number of segment to insert the eccentricity
Lz	mm	
e0z	mm	
Ly	mm	
e0y	mm	

The second analysis is the global longitudinal stiffener with length a , how is demonstrated in the following figure.

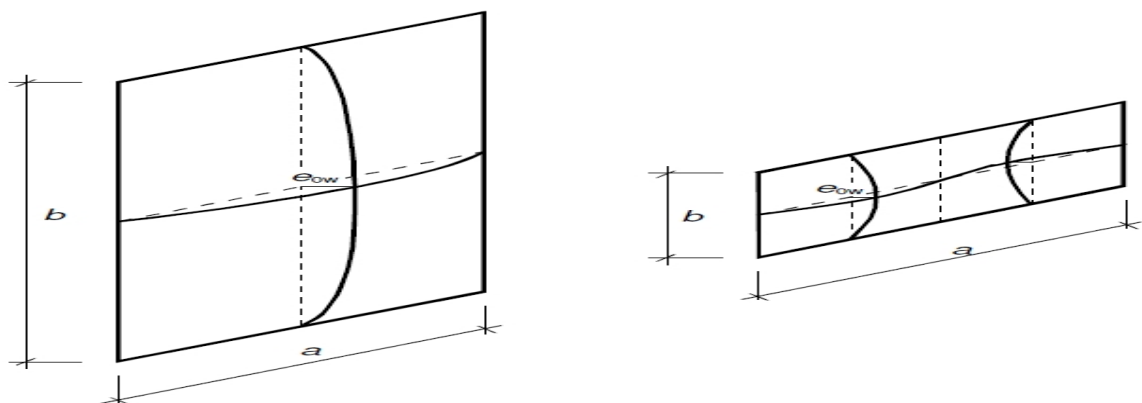


Global longitudinal stiffener with length a:

b	mm	
a	mm	
Segments		Number of segments study in the test experimental
N segment		Number of segment to insert the eccentricity
e0w	mm	

Local

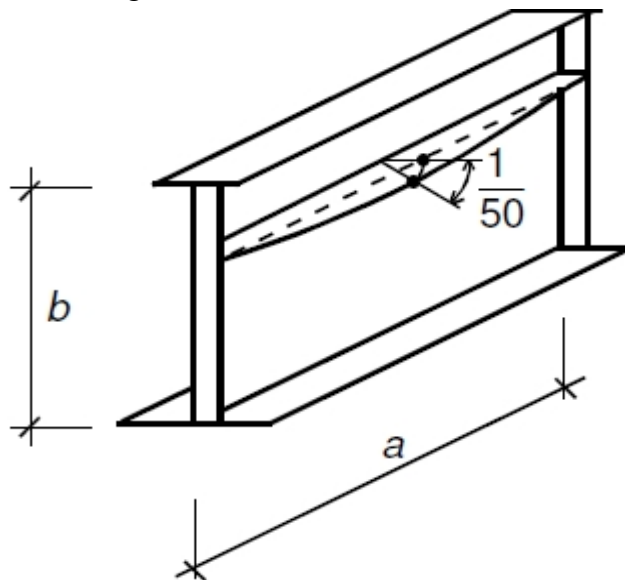
For the local analysis, this can be analyzed in two ways, the first is analysis is demonstrated in the below figure and treat the local panel or subpanel.



Local panel or subpanel:

b	mm	
a	mm	
Segments		Number of segments study in the test experimental
N segment		Number of segment to insert the eccentricity
e_{0w}	mm	

The second local analysis is to the local stiffener or flange subject to twist, how is demonstrated in the below figure.

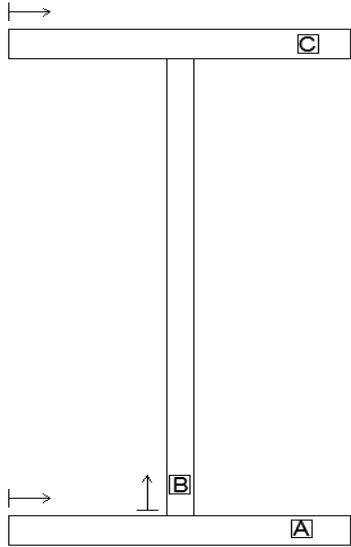


Local stiffener or flange subject to twist:

b	mm	
a	mm	
Segments		Number of segments study in the test experimental
N segment		Number of segment to insert the eccentricity
θ	rad	

Residual stresses

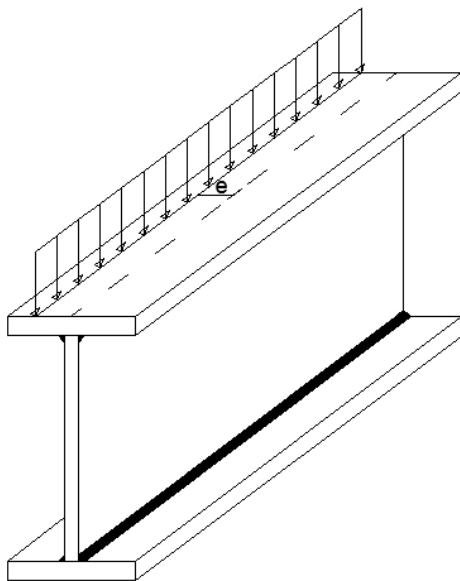
Residual stresses:

Section		
Values per sub-section		The σ values must be introduced by a sub-section
Number of nodes		Number of nodes by sub-section
Values per node		Introduce 3 values per node, for as many nodes as required

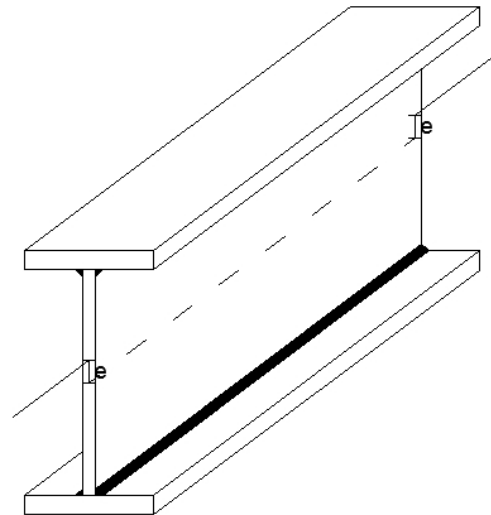
Eccentricity loads

Eccentricity Loads:

Test number		
Steel grade	MPa	
Section		
Case	Case A or Case B	Choosing the case study, that is show in the below figure.
L	mm	
Load	KN	
θ	degrees	If the load is not perpendicular
Eccentricity	mm	



Case A



Case B

Additional data

For additional data, the user can use standard norms not established in the database, and is necessary to refer the standard use.

Can also include a photo bibliography of the experimental tests.

D – Fichas Informativas das Normas Europeias

D1 – EN 10025 – *Hot-rolled products of structural steels*

Non-alloy structural steels according to European standart

Standart	Grades	Minimum yield strength [Mpa]						Tensile strenght [Mpa]		Minimum elongation %				Notch impact test	
		Nominal thickness [mm]						Nominal thickness [mm]		Nominal thickness [mm]				Temperature	Min. Absorbed energy
		≤ 16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤125	>3 ≤100	>100 ≤125	>3 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤100	>16 ≤125	°C	J
EN 10025-2	S235JR	235	225	215			195	360-510	350-510	26	25	24	22	20	27
	S235J0													0	27
	S235J2													-20	27
	S275JR	275	265	255	245	235	225	410-560	400-540	23	22	21	19	20	27
	S275J0													0	27
	S275J2													-20	27
	S355JR	355	345	335	325	315	295	470-630	450-600	22	21	20	18	20	27
	S355J0													0	27
	S355J2													-20	27
	S355K2													-20	40
	S450J0	450	430	410	390	380		550-720	530-770	17				0	27
	E295	295	285	275	265	255	245	470-610	450-610	20	19	18	16	-	-
	E335	335	325	315	305	295	275	570-710	550-710	16	15	14	12	-	-
E360	360	355	345	335	325	305	670-830	650-830	11	10	9	8	-	-	

Weldable fine grain structural steels according to European standart

Standart	Grades	Minimum yield strength [Mpa]					Tensile strenght [Mpa]	Minimum elongation %		
		Nominal thickness [mm]					Nominal thickness [mm]	Nominal thickness [mm]		
		≤ 16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>3 ≤100	>3 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤100
EN 10025-5	S235J0W	235	225	215	215	215	360-510	26	25	24
	S235J2W									
	S355J0WP	355	345	-	-	-	470-630	22	-	-
	S355J2WP									
	S355J0W	365	345	335	325	315	470-630	22	21	20
	S355J2W									
	S355K2W									

Structural steels with improved atmospheric corrosion resistance according to European standart

Standart	Grades	Minimum yield strength [Mpa]						Tensile strenght [Mpa]					Minimum elongation %	Notch impact test	
		Nominal thickness [mm]						Nominal thickness [mm]						Temperature	Min. Absorbed energy
		≤ 16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤125	≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤125		°C	J
EN 10025-4	S275M	275	265	255	245		240	370-530	360-520	350-510			24	-20	40
	S355M				325		320			440-600		430-590	22	-20	40
	S355M L	355	345	335	325		320	470-630	450-610	440-600		430-590	22	-50	27
	S460M												17	-20	40
	S460M L	460	440	430	410	400	385	540-720	530-710	510-690	500-680	490-660	17	-50	27

D2 – EN 10029 – Hot rolled steel plates 3 mm thick or above – Tolerances on dimensions, shape and mass

Normas de referência

EN 10079

EN 10163

Exemplo de designação do produto

Ex.:

Tolerância nominal de 20 mm, tolerância de espessura classe A, com a largura nominal de 2000 mm, com bordas aparadas, com comprimento nominal de 4500 mm, com tolerâncias de nivelamento normais do aço S235JR, como específica na EN 10025:

Placa EN 10029 – 20A x 2000 x 4500

Aço EN 10025 – S235JR

Espessura

As placas podem ser fornecidas com as seguintes classes:

Classe A Para tolerâncias mínimas dependendo das espessuras nominais;

Classe B: Para tolerâncias mínimas fixadas em 0,3 mm;

Classe C: Para todas as tolerâncias adicionais dependendo das espessuras nominais;

Classe D: Para tolerâncias simétricas dependendo das espessuras nominais;

Tolerâncias da espessura das chapas Tolerances on thickness of the plates									Table 1					
espessura nominal [mm]	Tolerâncias de espessura nominal [mm]								Espessura máxima da placa [mm]					
	Classe A		Classe B		Classe C		Classe D		Largura nominal da placa					
	Desvio inferior	Desvio superior	Desvio inferior	Desvio superior	Desvio inferior	Desvio superior	Desvio inferior	Desvio superior	> 600 <2000	2000 <2500	2500 <3000	3000 <3500	3500 < 4000	> 4000
3 < 5	-0,4	0,8	-0,3	0,9	0	1,2	-0,6	0,6	0,8	0,9	0,9	-	-	-
5 < 8	-0,4	1,1	-0,3	1,2	0	1,5	-0,75	0,75	0,9	0,9	1	1	-	-
8 < 15	-0,5	1,2	-0,3	1,4	0	1,7	-0,85	0,85	0,9	1	1	1,1	1,3	1,2
15 < 25	-0,8	1,3	-0,3	1,6	0	1,9	-0,95	0,95	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4
25 < 40	-1	1,4	-0,3	1,9	0	2,2	-1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4
40 < 80	-1	1,8	-0,3	2,5	0	2,8	-1,4	1,4	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
80 < 150	-1	2,2	-0,3	2,9	0	3,2	-1,6	1,6	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7
150 < 250	-1,2	2,4	-0,3	3,3	0	3,6	-1,8	1,8	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	-

Largura

Tolerâncias de largura
Tolerances on width Table 2

Largura nominal [mm]	Tolerância [mm]	
	Desvio inferior	Desvio superior
600 < 2000	0	20
2000 < 3000	0	25
> 3000	0	30

Comprimento

Tolerâncias de comprimento
Tolerances on length Table 3

Comprimento nominal [mm]	Tolerância [mm]	
	Desvio inferior	Desvio superior
< 4000	0	20
4000 < 6000	0	30
6000 < 8000	0	40
8000 < 10000	0	50
10000 < 15000	0	75
15000 < 20000	0	100

Nivelamento

Qualidade do aço L	Produto com um limite de resistência máxima fixado em 460 N/mm ²
Qualidade do aço H	Produto com um limite de resistência superior a 460 N/mm ² e não superior a 700 N/mm ²

Tolerâncias de nivelamento, classe N
Normal tolerances on flatness Table 4

Espessura nominal [mm]	Comprimento de medição [mm]			
	Qualidade do aço L		Qualidade do aço H	
	1000	2000	1000	2000
3 < 5	9	14	12	17
5 < 8	8	12	11	15
8 < 15	7	11	10	14
15 < 25	7	10	10	13
25 < 40	6	9	9	12
40 < 250	5	8	8	11

Tolerâncias de nivelamento, classe S
Normal tolerances on flatness Table 5

Espessura nominal [mm]	Comprimento de medição [mm]					
	Qualidade de aço L				Qualidade de aço H	
	Largura da placa					
	< 2750			≥ 2750		
1000	2000	1000	2000	1000	2000	
≥ 3 < 8	4	8	5	10		
≥ 8 ≤ 250	3	6	3	6		

Massa

Tolerâncias de massa
Excess mass

Table 6

Espessura Nominal [mm]	Classe	Tolerâncias de espessura [mm]		Excesso de massa [kg]				
		Superior	Inferior	Largura Nominal				
				≥ 600 <2000	≥2000 <2500	≥2500 <3000	≥3000 <3500	≥3500
≥ 3 < 5	A	-0,4	0,8	8,5	9,5	10,5	-	-
	B	-0,3	0,9	11	12	13,5	-	-
	C	0	1,2	19	20,5	21,5	-	-
	D	-0,6	0,6	3,5	4,5	5,5	-	-
≥ 5 < 8	A	-0,4	1,1	7	7,5	8,5	9	-
	B	-0,3	1,2	9	9,5	10	11	-
	C	0	1,2	19	20,5	21,5	-	-
	D	-0,8	0,6	3,5	4,5	5,5	-	-
≥ 8 < 15	A	-0,5	1,2	6	6	5,5	7	7,5
	B	-0,3	1,4	7,5	8	8,5	9	9,5
	C	0	1,7	10,5	11	11,5	12	12,5
	D	-0,85	0,85	3	3	3,5	4	4,5
≥ 15 < 25	A	-0,6	1,3	4,5	4,5	5	5	5,5
	B	-0,3	1,6	6	6	6,5	6,5	7
	C	0	1,9	7,5	8	8	8,5	8,5
	D	-0,95	0,95	3	3	3	3,5	3,5
≥ 25 < 40	A	-0,8	1,4	3,5	4,5	4	4	4
	B	-0,3	1,9	5	6	5,5	5,5	5,5
	C	0	1,9	5	8	6,5	6,5	6,5
	D	-1,1	1,1	3	3	3	3,5	3,5
≥ 40 < 80	A	-1	1,8	3,5	3,5	4	4	4
	B	-0,3	2,5	5	5	5,5	5,5	5,5
	C	0	2,8	5	6	5,5	5,5	5,5
	D	-1,4	1,4	3	3	3	3,5	3,5
≥ 80 < 150	A	-1	2,2	3,5	3,5	4	4	4
	B	-0,3	2,9	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	C	0	3,2	4,5	4,5	4,5	5	5
	D	-1,6	1,6	3	3	3	3,5	3,5
≥ 150 < 250	A	-1,2	2,4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	B	-0,3	3,3	4	4	4	4	4
	C	0	3,6	4	4	4	4	4
	D	-1,8	1,8	3	3	3	3	3