



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
2016

**ANDREIA
MARGARIDA SOUSA
SANTOS**

**CONCEÇÃO E EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS
METÁLICAS – UM CASO DE ESTUDO**



**ANDREIA
MARGARIDA SOUSA
SANTOS**

CONCEÇÃO E EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS – UM CASO DE ESTUDO

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação do Professor Doutor Nuno Filipe Ferreira Soares Borges Lopes, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação do Professor Doutor Paulo Jorge de Melo Matias Faria de Vila Real, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

O estágio foi desenvolvido na empresa ARESTALFER sob a responsabilidade da Eng.^a Maria Luísa Moreira da Cruz.

o júri

presidente

Prof.^a Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Prof.^a Doutora Maria Isabel Brito Valente
Professora Auxiliar da Universidade do Minho

Prof. Doutor Nuno Filipe Ferreira Soares Borges Lopes
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Eu gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram para o meu desenvolvimento académico e pessoal.

Ao Professor Nuno Lopes, meu orientador, por todo o apoio, disponibilidade, empenho no desenvolvimento deste trabalho, sendo essencial para a realização do relatório de estágio.

Ao Professor Paulo Vila Real, meu coorientador, pelas sugestões e ajudas durante a elaboração do relatório.

À empresa Arestalfer por ter permitido a realização deste estágio e por estarem sempre disponíveis a ajudar.

À responsável pelo meu estágio na Arestalfer, Eng.^a Luísa Cruz, pela supervisão e ajuda ao longo de todo o estágio.

Aos colaboradores da empresa Arestalfer pelo companheirismo, transmissão de conhecimentos e disponibilidade, em especial ao Vasco Santos, à Ana Gonçalves, ao Eng.^o Luís Pedro, à Catarina Oliveira e ao Sérgio Martins.

Às pessoas que me deram importantes sugestões, em particular ao Eng.^o Matos Silva, ao António Silva, ao Eng.^o Arquiteto José Loureiro, à Eng.^a Dina Silva, ao Eng.^o Paulo Antunes e ao Eng.^o Paulo Cardoso.

A todos os meus colegas e amigos da Universidade de Aveiro, em especial à Maria Cordeiro e à Ana Cruz, por toda a amizade e companheirismo ao longo de todo o percurso académico.

A toda a minha família, em especial aos meus pais, irmã e avós, e ao Carlos Miguel por todo o amor, carinho e motivação demonstrados.

palavras-chave

Estrutura metálica, Orçamentação, Projeto, Planeamento, Preparação e gestão de obra

resumo

O presente trabalho aborda a conceção e execução, de uma obra em estrutura metálica, a Escola Gaspar Frutuoso, descrevendo as suas diferentes fases: a Orçamentação, o Projeto, o Planeamento e Preparação e gestão.

Na Orçamentação é realizado o mapa de medições e a orçamentação da obra. Na orçamentação da obra são descritos os tipos de custos associados a uma obra, diretos e indiretos. Por último, realiza-se um estudo dos gastos mais relevantes para a execução do projeto.

No Projeto apresentam-se os dimensionamentos e cálculos de uma viga, de um pilar, de duas ligações aparafusadas (viga-viga e coluna-viga), de uma ligação soldada coluna-viga e de um chumbadouro, representativos dos restantes componentes da estrutura do edifício.

No Planeamento define-se a listagem, a duração e o encadeamento das tarefas, os recursos e o equipamento necessário de forma a obter-se um Diagrama de *Gantt*, diagramas de tempo e financeiro. Ainda neste ponto apresentam-se motivos e medidas de minimização dos atrasos.

E por fim, na Preparação e gestão de obra explica-se todo o processo e seus intervenientes. Apresentam-se os elementos e fases necessários para o fabrico, o transporte, a montagem, e a atualização do custeio da obra até ao fecho de obra que corresponde á última fase da conceção e execução.

keywords

Steel structures, Building cost, Design, Project schedule, Modeling and workshop drawings preparation

abstract

The present thesis presents the design and execution project design, project schedule, modeling and workshop drawings describing its different stages regarding, budget and project management, for the steel structure of School Gaspar Frutuoso.

In the budget definition stage, the bill of quantities map is prepared. In that stage all costs related to the work packages are forecasts and described, both direct and indirect. At last is prepared a map with the main cost drivers for the project execution.

At design stage, the detailed design calculations of a column and a beam are presented, including beam-beam and column-beam bolted connections design, also a welded beam-column connection, and a column anchor bolt connection are present, these were chosen for being representative of the different components to the structure.

In the project schedule phase, all activities with duration, predecessor and successor, resources and equipment needed are put in a Gantt diagram, and financial needs over time diagrams. A brief risk analysis on project delays and corrective measures is also presented.

Finally, on the modeling and workshop drawings preparation all process and respective key persons involved are described. The necessary means for fabrication, transport, erection and management are presented, including cost control and project closure after completion of execution.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Contextualização.....	1
1.2	A empresa	2
1.3	Organização do documento.....	3
2	Orçamentação da obra Escola Gaspar Frutuoso	7
2.1	Introdução	7
2.2	Medições	7
2.3	Orçamento.....	8
2.4	Avaliação do custo.....	15
3	Projeto da Escola Gaspar frutuoso	17
3.1	Introdução	17
3.2	Regulamentação	18
3.3	Ações.....	19
3.4	Combinações de ações	25
3.5	Caracterização mecânica dos materiais	29
3.6	Caracterização geométrica	30
3.7	Programa de cálculo – Autodesk Structural Robot Analysis.....	31
3.8	Dimensionamento	32
3.9	Ligações aparafusadas	40
3.10	Ligações soldadas	61
3.11	Chumbadouro.....	68
3.12	Verificação ao fogo.....	75

4	Planeamento da obra Escola Gaspar Frutuoso.....	79
4.1	Introdução	79
4.2	Listagem de tarefas	80
4.3	Duração das tarefas	81
4.4	Encadeamento das tarefas	82
4.5	Diagrama de Gantt	83
4.6	Planeamento da Obra	84
4.7	Recursos	82
4.8	Equipamento necessário.....	83
4.9	Diagramas de recursos, tempo e financeiro	89
4.10	Atrasos	90
5	Preparação e gestão da obra Escola Gaspar Frutuoso.....	91
5.1	Introdução	91
5.2	Direção de obra	92
5.3	Preparação de Obra	93
5.4	Aprovisionamentos	101
5.5	Fabrico	103
5.6	Transporte	109
5.7	Montagem	109
5.8	Custeio de obra	115
5.9	Fecho de obra.....	116
6	Considerações Finais	117
	Referências bibliográficas	121
	Anexos	i

Anexo A – Orçamento da Obra Escola Gaspar Frutuoso	iii
Anexo B – Desenhos de corte	vii
Anexo C – Desenhos de conjunto	xxvii
Anexo D – Desenhos de montagem	xxxiii
Anexo E – Folha de rosto	xlv
Anexo F – Requisição de material	xlix
Anexo G – Esquema de pintura	liii
Anexo H – Pedido de compra	lvii
Anexo I – Ensaio às soldaduras	lxi
Anexo J – Relatório dos momentos de aperto dos parafusos	lxv

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Instalações da empresa (Arestalfer, 2015).	2
Figura 2 - Interior da fábrica (Arestalfer, 2015).	3
Figura 3 - Planta de Identificação dos Corpos Estruturais.....	6
Figura 4 - Transporte de Contentor 40 pés OT.	12
Figura 5 - Plataforma elevatória.	13
Figura 6 – Multifunções.....	13
Figura 7 - Andaimos.....	14
Figura 8 - Distribuição de custos na Obra Escola Gaspar Frutuoso.	15
Figura 9 - Corpos A, B e C e Passadiços.	17
Figura 10 - Corpos E, F e G.....	18
Figura 11 - Deformações da viga 544 para os Estados Limites de Utilização.	28
Figura 12 - Deformações da coluna 1106 para os Estados Limites de Utilização.....	29
Figura 13 – a) Pórtico da estrutura na direção xz; b) Pórtico da estrutura na direção yz. .	30
Figura 14 - Parâmetros do perfil HEB300.	31
Figura 15 - Viga e coluna considerados na análise.....	32
Figura 16 – a) Diagrama de esforço axial da viga 177; b) Diagrama de momentos da viga 177.....	33
Figura 17 – a) Diagrama de esforço axial na coluna 1106; b) Diagrama de momentos na coluna 1106; c)Diagrama de esforço transversal na coluna 1106.	33
Figura 18 - Distribuição de forças em ligações aparafusadas sujeitas ao corte e em ligação aparafusadas pré-esforçadas (Simões & Santiago, 2003).	42
Figura 19 - Parafuso de cabeça hexagonal (SBE, 2015).....	42
Figura 20 – a) Diagrama de Esforço Axial nas vigas a ligar; b) Diagrama de Momentos nas vigas a ligar.	43
Figura 21 – a) Esquema da ligação aparafusada viga-viga; b) Esquema 3D da ligação aparafusada viga-viga.	44
Figura 22 – Modelação de uma chapa de extremidade saliente sob a forma de peças em T separadas (CEN, 2010e).....	45
Figura 23 - Forças resultantes nas filas de parafusos na ligação aparafusada viga – viga.	49
Figura 24 - Modificação do momento de projeto pela força axial (SCI/BCSA, 2013).	49
Figura 25 – a) Modo de rotura 1; b) Modo de rotura 2.....	50

Figura 26 – a) Diagrama de Momentos na viga e na coluna a ligar; b) Diagrama de Esforço Axial na viga e na coluna a ligar.....	52
Figura 27 – a) Esquema da ligação aparafusada coluna-viga; b) Esquema 3D da ligação aparafusada coluna-viga.....	52
Figura 28 - Tipo de configuração da junta (CEN, 2010e).	53
Figura 29 - Representação dos parâmetros geométricos (SCI/BCSA, 2013).	54
Figura 30 –Grupo de parafusos das linhas 2 e 3.	55
Figura 31: a) Resistência individual dos parafusos; b) Resistência do grupo dos parafusos das linhas 2 e 3.	57
Figura 32 - Forças resultantes nas filas de parafusos na ligação aparafusada coluna – viga.	59
Figura 33 – a) Diagrama de Momentos na viga e na coluna da ligação soldada; b) Diagrama de Esforço Axial na viga e na coluna da ligação soldada.	61
Figura 34 – a) Esquema da ligação soldada coluna-viga; b) Esquema 3D da ligação soldada coluna-viga.....	62
Figura 35 - Distribuição de forças na ligação soldada da viga à coluna (SCI/BCSA, 2013).	62
Figura 36 – Largura efetiva do banzo da viga (SCI/BCSA, 2013).	63
Figura 37 - Comprimento da alma da coluna resistente à tração (SCI/BCSA, 2013).	64
Figura 38 - Ligação soldada coluna – viga.	67
Figura 39 – Esquemas do chumbadouro utilizado.	69
Figura 40 - Reações na base da coluna do chumbadouro.	70
Figura 41 - Posições das reações em relação ao centro de gravidade da coluna (SCI/BCSA, 2013).	71
Figura 42 - Determinação do braço binário z para ligações de bases de colunas (CEN, 2010e).	72
Figura 43 – Área da peça em T equivalente comprimida (SCI/BCSA, 2013).	73
Figura 44 - Diagrama de momentos para a viga 177 para a combinação do fogo.....	76
Figura 45 – Curvas de variação da temperatura do perfil obtido com o programa <i>Elefir-EN</i> (Vila Real & Franssen, 2015b).	76
Figura 46 – a) Diagrama de momentos na direção y no pilar 1106; b) Diagrama de momentos na direção z no pilar 1106; c) Diagrama de esforço axial no pilar 1106.....	77

Figura 47 – Curvas de variação da temperatura do perfil obtido com o programa <i>Elefir-EN</i> (Vila Real & Franssen, 2015b).	78
Figura 48 - Planeamento da Obra Escola Gaspar Frutuoso.	85
Figura 49 - Diagrama de acumulação de custo por tempo, obtido do programa <i>Microsoft Project</i>	89
Figura 50 - Diagrama de horas por cada trabalhador, obtido do programa <i>Microsoft Project</i>	90
Figura 51 – Matriz recomendada para a determinação das classes de execução (CEN, 2011).	92
Figura 52 - Desenho de corte.	96
Figura 53 - Desenho de conjunto.	96
Figura 54 - Desenho de montagem.	98
Figura 55 - Listagem de fixações da obra em estudo.	100
Figura 56 - Fábrica da Arestalfer.	103
Figura 57 - Corte por Serra.	104
Figura 58 - Corte por Plasma.	104
Figura 59 - Máquina de furação.	105
Figura 60 – a) Limpeza de peças; b) Peças após a limpeza.	106
Figura 61 - Realização da armação em fábrica.	106
Figura 62 - Realização de soldaduras em fábrica.	107
Figura 63 -Soldadura em obra de uma viga a um pilar.	107
Figura 64 - Limpeza de solda.	108
Figura 65 - Aplicação do tratamento superficial.	108
Figura 66 - Local da obra em estudo.	109
Figura 67 - Montagem da obra da Escola Gaspar Frutuoso.	112

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Mapa de quantidades da Obra.....	8
Tabela 2 - Peso volúmico.....	20
Tabela 3 - Restantes cargas permanentes.....	21
Tabela 4 - Sobrecargas.....	21
Tabela 5 - Valores recomendados para os limites dos deslocamentos verticais (Simões, 2014).	27
Tabela 6 - Limites da deformação horizontal em estruturas porticadas.	28
Tabela 7 - Classificação dos aços europeus pela norma EN 10025-2 (CEN, 2004).....	29
Tabela 8 - Valores nominais da tensão de cedência f_{yb} e da tensão de rotura à tração f_{ub} de parafusos.	30
Tabela 9 - Verificação da compressão da viga 177 e da coluna 1106	35
Tabela 10 – Verificação da torção na viga e na coluna.	36
Tabela 11 - Verificação da flexão composta na viga 177 e na coluna 1106.....	37
Tabela 12 – Comparação do valor do momento crítico obtido com dois programas diferentes.....	38
Tabela 13 – Fatores de interação k_{ij} calculados a partir do Método 1 referentes à viga 177 e ao coluna 1106	40
Tabela 14 - Geometria dos parafusos utilizados no cálculo.	43
Tabela 15 - Resistência à tração da chapa.	45
Tabela 16 - Valor da resistência à compressão do banzo e da alma da viga.	46
Tabela 17 – Comparação dos valores obtidos no Robot e na folha de cálculo da resistência à tração da alma da viga.....	46
Tabela 18 – Cargas que podem ser suportadas pelas linhas dos parafusos.	47
Tabela 19 – Cargas que podem ser suportadas pelas linhas dos parafusos atualizadas.....	48
Tabela 20 - Valor de cálculo da resistência individual de peças da ligação solicitadas ao corte e/ou à tração	51
Tabela 21 - Modos de rotura de uma peça em T equivalente (SCI/BCSA, 2011).....	55
Tabela 22 - Resistência à tração do banzo da coluna.....	56
Tabela 23 - Resistência à tração da chapa.	56
Tabela 24 – Resistência da alma da coluna à tração.	57

Tabela 25 – Comparação dos valores obtidos no Robot e na folha de cálculo da resistência à tração da alma da viga.....	58
Tabela 26 – Cargas que podem ser suportadas pelas linhas dos parafusos.	58
Tabela 27 - Valores de cálculo do momento resistente.	59
Tabela 28 - Valor de cálculo da resistência individual de peças da ligação solicitadas ao corte e/ou à tração	60
Tabela 29 - Valor da força na ligação soldada coluna – viga.	63
Tabela 30 – Resistência da alma da coluna e largura efetiva na zona de tração.....	64
Tabela 31 – Resistência da alma da coluna na zona de compressão.	65
Tabela 32 – Resistência do reforço da alma e resistência ao corte da coluna reforçado. ..	66
Tabela 33 - Cálculo da ligação soldada coluna - viga.	68
Tabela 34 – Forças de projeto nos banzos das colunas.....	71
Tabela 35 – Forças de projeto nas peças em T equivalente da chapa base.....	72
Tabela 36 – Resistência da peça em T equivalente comprimida.	74
Tabela 37 - Resistência dos parafusos ao corte e ao esmagamento.	74

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras minúsculas latinas

a	Relação entre a área da alma e a área bruta de uma secção transversal
a_g	Valor de cálculo da aceleração à superfície de um terreno do tipo A
a_{gr}	Valor de referência da aceleração máxima à superfície de um terreno do tipo A
b	Largura de uma secção transversal
b_b	Largura da viga
b_{eff}	Largura efetiva da ligação de um elemento diagonal a uma corda
c	Largura de apoio adicional
d_0	Diâmetro do furo para um parafuso
f_{jd}	Valor de cálculo da resistência da junta à compressão localizada
f_u	Tensão de rotura do aço
f_{ub}	Tensão de rotura do parafuso
f_y	Tensão de cedência do aço
f_{yb}	Tensão de cedência do parafuso
h	Altura de uma secção transversal
h_j	Distância entre o centro de compressão e a linha i
h_N	Distância entre a força axial e o centro de compressão
h_w	Altura da alma de um perfil
k	Altura da cabeça do parafuso
k_w	Fator de comprimento efetivo dependentes das condições de apoio nas extremidades do tramo de comprimento L
k_{wc}	Coefficiente de redução
k_{yy}	Fator de interação

k_{yz}	Fator de interação
k_z	Fator de comprimento efetivo dependente da restrição à flexão em torno de z
k_{zy}	Fator de interação
k_{zz}	Fator de interação
l_{eff}	Comprimento efetivo de um cordão de ângulo
n	Razão entre o esforço axial atuante e o esforço axial plástico da secção bruta
q	Coefficiente de comportamento
r	Raio alma/banzo em perfis
t	Espessura de um elemento
t_f	Espessura do banzo de um perfil
t_b	Espessura do banzo de uma viga
t_p	Espessura da chapa
t_w	Espessura da alma de um perfil
t_{wc}	Espessura da alma de uma coluna
z_g	Distância entre o ponto de aplicação de uma carga e o centro de corte de uma secção
z_j	Parâmetro de assimetria de uma secção em relação ao eixo y

Letras maiúsculas latinas

A	Área da secção lisa de um parafuso; Área bruta ou total da secção
A_{nt}	Área útil solicitada à tração
A_{nv}	Área útil solicitada ao corte
$A_{v,y}$	Área bruta de corte da secção (perfis ou parafusos) na direção y
$A_{v,z}$	Área bruta de corte da secção (perfis ou parafusos) na direção z
A_s	Área útil de um parafuso, medida na zona roscada

$B_{p,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao punçoamento da cabeça do parafuso e da porca
C1	Coefficiente dependente da forma do diagrama de momentos fletores e condições de apoio
C2	Coefficiente dependente da forma do diagrama de momentos fletores e condições de apoio
C3	Coefficiente dependente da forma do diagrama de momentos fletores e condições de apoio
C_d	Valor nominal ou uma função dos valores de cálculo de certas propriedades dos materiais
E	Módulo de elasticidade
E_d	Valor de cálculo do efeito das ações
$F_{1,min}$	Valor da resistência mínima da linha de parafusos 1
$F_{2,min}$	Valor da resistência mínima da linha de parafusos 2
$F_{3,min}$	Valor da resistência mínima da linha de parafusos 3
$F_{3,min,red}$	Valor da resistência mínima reduzida da linha de parafusos 3
$F_{b,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao esmagamento por parafuso
$F_{c,Ed}$	Forças de projeto no banzo da viga em compressão
$F_{c,fb,Rd}$	Valor de cálculo da resistência da alma e do banzo da viga à compressão
$F_{c,pl,Rd}$	Valor de cálculo da resistência à compressão da fundação
$F_{c,Rd}$	Resistência mínima à compressão da ligação e, se for o caso, a resistência ao corte da alma do painel
$F_{c,wb,Rd}$	Valor de cálculo da resistência da alma da viga à tração
$F_{c,wc,Rd}$	Valor de cálculo da resistência da alma da coluna na zona de compressão
F_{global}	Valor de cálculo da resistência global da ligação
F_{ri}	Valor de cálculo da resistência efetiva da tensão de projeto

$F_{ri,Rd}$	Valor da resistência da tração em projeto das linhas de parafusos
$F_{s,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite último
$F_{t,Ed}$	Valor de cálculo do esforço de tração por parafuso no estado limite último
$F_{t,Rd}$	Valor de cálculo da resistência à tração por parafuso
$F_{T,Rd}$	Valor de cálculo da resistência à tração do banzo de uma peça em T
$F_{t,1,Rd}$	Valor de cálculo da resistência à tração para modo 1
$F_{t,2,Rd}$	Valor de cálculo da resistência à tração para modo 2
$F_{t,3,Rd}$	Valor de cálculo da resistência à tração para modo 3
$F_{t,s,Ed}$	Valor de cálculo da resistência do reforço da alma da coluna de projeto
$F_{t,s,Rd}$	Valor da força de projeto do reforço da alma da coluna
$F_{t,tb,Rd}$	Valor de cálculo da resistência do banzo da viga à tração para uma coluna sem reforço
$F_{t,wb,Rd}$	Valor de cálculo da resistência da alma da viga à tração
$F_{t,wc,Rd}$	Valor de cálculo da resistência da alma da coluna à tração
$F_{tx,Rd}$	3.16
$F_{v,Ed}$	Valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no estado limite último
$F_{v,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao esforço transversal por parafuso
G	Módulo de distorção
G_k	Valor característico das ações permanentes
H	Altitude do local da obra
I_t	Constante de torção uniforme
I_w	Constante de empenamento
I_y	Momento de inércia de uma secção em relação a y
I_z	Momento de inércia de uma secção em relação a z

L	Comprimento de um elemento
M_{CR}	Momento crítico
$M_{c,Rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente
M_{Ed}	Valor de cálculo do momento fletor atuante
$M_{mod,Ed}$	Momento atuante modificado
$M_{N,y,Rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente em torno de y, reduzido devido ao esforço axial
$M_{N,z,Rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente em torno de z, reduzido devido ao esforço axial
$M_{y,Ed}$	Valor de cálculo do momento fletor atuante em torno de y
$M_{y,Rk}$	Valor característico do momento fletor resistente em torno de y
$M_{z,Ed}$	Valor de cálculo do momento fletor atuante em torno de z
$M_{z,Rk}$	Valor característico do momento fletor resistente em torno de z
$N_{c,Rd}$	Valor de cálculo do esforço axial de compressão resistente
$N_{b,Rd,y}$	Valor de cálculo do esforço axial resistente à encurvadura por flexão na direção y
$N_{b,Rd,z}$	Valor de cálculo do esforço axial resistente à encurvadura por flexão na direção z
N_{Ed}	Valor de cálculo do esforço axial atuante
$N_{L,f}$	Valor da força no banzo do lado esquerdo da coluna
$N_{L,T}$	Valor da força na peça em T equivalente do lado esquerdo
$N_{pl,Rd}$	Valor de cálculo do esforço axial plástico resistente
N_{Rk}	Valor característico do esforço axial resistente
$N_{R,f}$	Valor da força no banzo do lado direito da coluna
$N_{R,T}$	Valor da força na peça em T equivalente do lado direito
P	Valor representativo de uma ação de pré-esforço

Q_k	Valor característico das ações variáveis
RCP	Restantes cargas permanentes
R_d	Valor de cálculo da resistência
T	Momento torsor
T_+	Temperatura máxima do ar à sombra com uma probabilidade de ser excedida de 0,02 (equivalente a um período médio de retorno de 50 anos)
T_-	Temperatura mínima do ar à sombra com uma probabilidade de ser excedida de 0,02 (equivalente a um período médio de retorno de 50 anos)
T_4	Efeitos da radiação solar
T_0	Temperatura inicial do elemento estrutural no momento em que são introduzidos constrangimentos
T_{max}	Temperatura máxima do ar à sombra com uma probabilidade anual de ser excedida de 0.02 (equivalente a um período médio de retorno de 50 anos)
T_{min}	Temperatura mínima do ar à sombra com uma probabilidade anual de não ser excedida de 0.02 (equivalente a um período médio de retorno de 50 anos)
$V_{c,Rd}$	Valor de cálculo do esforço transversal resistente
V_{Ed}	Valor de cálculo do esforço transversal atuante numa secção
$V_{eff,1,Rd}$	Resistência à rotura do bloco de parafusos simétricos sujeitos a um carregamento centrado
V_{pl}	Esforço transversal plástico
$V_{pl,T,Rd}$	Valor de cálculo do esforço transversal
$V_{wp,Rd}$	Resistência plástica ao corte do painel de alma da coluna
$V_{y,T,Rd}$	3.8.3.3
$V_{z,T,Rd}$	3.8.3.3
$W_{pl,y}$	Módulo de flexão plástico segundo y
$W_{pl,z}$	Módulo de flexão plástico segundo z

Letras minúsculas gregas

α	Parâmetro
β	Parâmetro
χ_y	Fator de redução para a encurvadura por flexão segundo y
χ_z	Fator de redução para a encurvadura por flexão segundo z
χ_{LT}	Fator de redução para a encurvadura lateral
δ_2	Variação da flecha de uma viga devida à ação variável de base, associada aos valores de combinação das restantes ações variáveis
δ_i	Deslocamento entre o topo e a base de um andar i
$\delta_{m\acute{a}x}$	Flecha no estado final em relação à linha reta que une dois pontos
ε	Coefficiente dependente da tensão f_y
γ_I	Coefficiente de importância
γ_{M0}	Coefficiente parcial de segurança para a resistência de secções transversais de qualquer classe
γ_{M1}	Coefficiente parcial de segurança para a resistência dos elementos em relação a fenómenos de encurvadura, avaliada através de verificações individuais de cada elemento
γ_{M2}	Coefficiente parcial de segurança para a resistência à rotura de secções transversais tracionadas em zonas com furos de ligação
$\sigma_{Lvertical}$	Tensão normal perpendicular à espessura vertical
$\sigma_{Lhorizontal}$	Tensão normal perpendicular à espessura horizontal
$\sigma_{com,Ed}$	Máximo valor de cálculo da tensão de compressão num elemento
$\bar{\lambda}$	Coefficiente de esbelteza normalizada
$\tau_{Ed,y}$	Valor de cálculo da tensão tangencial atuante na direção y
$\tau_{Ed,z}$	Valor de cálculo da tensão tangencial atuante na direção z
$\tau_{//horizontal}$	Tensão tangencial (no plano da espessura) paralela ao eixo da soldadura

- ψ_1 Coeficiente para a determinação do valor frequente de uma ação variável
- ψ_2 Coeficiente para a determinação do valor quase permanente de uma ação variável

Letras minúsculas gregas

- $\Delta M_{y,Ed}$ Acréscimo de momento fletor atuante em torno de y
- $\Delta M_{z,Ed}$ Acréscimo de momento fletor atuante em torno de z
- ΔT_U Componente de variação uniforme de temperatura

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O presente documento refere-se ao relatório do estágio curricular realizado na empresa Arestalfer SA, sediada em Sever do Vouga. O estágio teve a duração de 9 meses, tendo como objetivo integrar uma equipa de trabalho que tivesse a seu cargo as várias fases da realização de uma obra em estrutura metálica.

Durante o tempo de estágio foram acompanhados diversos projetos, tendo-se dado foco principal à obra Escola Gaspar Frutuoso, na Ilha de S. Miguel – Açores. Este documento centrar-se-á, assim, na descrição detalhada dos diferentes processos acompanhados: Orçamentação, Projeto, Planeamento de Obra e Preparação e Gestão de Obra.

O Projeto é da autoria do cliente, sendo que a Arestalfer é responsável apenas pela verificação de alguns cálculos e justificações de ligações. No entanto, ao longo do estágio desenvolveu-se o projeto da estrutura metálica da obra, que foi finalizada em Julho, sendo apenas um exercício para o estágio.

Ao longo do estágio foram utilizados diversas ferramentas, associadas às diversas fases:

- Orçamentação: *Microsoft Excel*;
- Projeto: *Robot Structural Analysis, Elefir-EN* (Franssen & Vila Real, 2015b) e *Microsoft Excel*;
- Planeamento de Obra: *MS Project*;
- Preparação e Gestão de Obra: *AutoCAD* e *Tekla Structures*.

Além do Projeto da Obra Escola Gaspar Frutuoso desenvolveram-se outros projetos durante o período de estágio, entre eles alguns pormenores no Aeroporto de Lisboa, a estrutura do Parque de feiras e exposições da Terceira e uma escada da obra Gare Belcier.

1.2 A empresa

A empresa onde decorreu o estágio denomina-se de Arestalfer, ilustrado na figura 1, sendo uma empresa com várias décadas de atividade a atuar no setor da construção metálica. O seu *core-business* está no projeto, fabrico e montagem de estruturas metálicas e serralharias em ferro e aço inox, aplicadas essencialmente na construção civil e indústria.



Figura 1 - Instalações da empresa (Arestalfer, 2015).

Como competências críticas, a empresa pauta pelo *know-how* técnico e pela experiência acumulada ao longo dos anos.

A empresa tem como missão oferecer soluções inovadoras e de elevada qualidade em construção metálica, superando as expectativas do cliente, com altos níveis de rentabilidade, assegurando as condições adequadas de SHST e respeito pelo Ambiente (Arestalfer, 2015).

A Arestalfer não trabalha apenas em Portugal, tendo constituído a Arestalfer França, empresa que se dedica à comercialização, gestão de projetos e montagem de obras de serralharias e estrutura metálica no mercado Francês.

A Arestalfer apresenta uma diversidade de produtos, apostando sobretudo na especialização como forma de se posicionar competitivamente em relação aos seus concorrentes. A diversificação de produtos tem sido feita através da crescente participação em obras de elevado grau de exigência associada a novos estilos de arquitetura moderna, tendo estes proporcionado uma oportunidade para conceber produtos, ilustrado na figura 2, que vão de encontro às necessidades dos clientes (Arestalfer, 2015).



Figura 2 - Interior da fábrica (Arestalfer, 2015).

1.3 Organização do documento

O relatório é dividido em 4 partes principais.

A primeira parte refere-se à Orçamentação da obra, documentada no capítulo 2, onde se apresentam as medições e a orçamentação da obra em estudo.

A segunda parte destina-se ao Projeto da obra, documentado no capítulo 3, onde foi realizado um estudo comparativo entre os resultados obtidos pelo programa de cálculo *Robot* e uma folha de cálculo realizada para o efeito.

A terceira parte consiste no Planeamento da obra, documentado no capítulo 4, onde se realiza a listagem das tarefas e a duração das mesmas. Procedeu-se ainda à análise do diagrama de *Gantt*, obtido pelo programa *MS Project*, resultante da introdução dos dados estudados.

A quarta parte integra a Preparação e Direção de obra, documentado no capítulo 5, onde se procede à descrição de todos os processos determinantes nesta fase. Sendo essencialmente esta fase composta por: direção de obra, preparação de obra, aprovisionamentos, fabrico, transporte, montagem, custeio de obra e fecho de obra.

O Anexo A corresponde ao Orçamento realizado para a obra da Escola Gaspar Frutuoso.

O Anexo B apresenta os desenhos de corte correspondentes a uma viga e a uma coluna pertencentes ao Bloco C da obra.

O Anexo C contém os desenhos de conjunto correspondentes a uma viga e a uma coluna pertencentes ao Bloco C da obra.

O Anexo D contém alguns desenhos de montagem realizados para a obra.

O Anexo E consiste na Folha de rosto de um exemplo de um Plano de fabrico da obra Escola Gaspar Frutuoso.

O Anexo F corresponde à folha de Requisição do material necessário para o plano de fabrico apresentado no anexo E.

O Anexo G contém o Esquema de pintura realizado pelo Diretor de obra para a obra em estudo.

O Anexo H corresponde ao Pedido de compra realizado pelo Departamento de aprovisionamentos de acordo com a requisição de material.

O Anexo I contém um Ensaio às soldaduras realizado no local da obra da Escola Gaspar Frutuoso.

O Anexo J apresenta um relatório dos momentos de aperto dos parafusos realizado no local da obra em estudo.

Em suma, todos os capítulos apresentados encontram-se interligados na execução de uma obra.

A orçamentação é elaborada pelo Departamento Comercial, após um pedido de cotação por parte do cliente. Nesta fase poderá ser pedida uma solução alternativa à Direção Técnica.

Concluída a orçamentação, o Departamento Comercial negocia a obra com o cliente, incluindo o preço e o prazo de entrega.

Depois da adjudicação por parte do cliente, é definido o Diretor de obra, e ocorre uma reunião de passagem de obra, onde são apresentados os objetivos, as datas e o orçamento da obra. De seguida, a Direção técnica pode, ou não, ajustar ou apresentar alternativas ao projeto, de forma a melhorar os processos internos.

A Direção de obra, após o projeto concluído, realiza o planeamento da obra. A preparação de obra procede à elaboração de desenhos de aprovação/execução, que são entregues ao cliente, e desenhos de fabrico e montagem entregues à Direção de produção.

Ao longo do fabrico, o Departamento de qualidade assegura que os requisitos técnicos são cumpridos. A Direção de obra é responsável pela gestão dos transportes e equipamentos, e da montagem em obra. Durante a montagem da obra podem ser realizadas verificações e inspeções.

O custeio de obra vai sendo atualizado durante o fabrico e montagem da obra. Por último, realiza-se uma reunião de fecho de obra com todos os seus intervenientes essenciais.

1.4 Objetivos

Os objetivos do estágio foram definidos pela Arestalfer, sendo os seguintes:

- i. Estimar o orçamento com recurso a desenhos e caderno de encargos, de acordo com o projeto já realizado por um projetista designado pelo cliente;
- ii. Realização do projeto com base no projeto já existente, verificando a estrutura e as ligações;
- iii. Planear a obra, com base em rendimentos e custos fornecidos pela base de dados da Arestalfer;
- iv. Tomar conhecimento de todos os procedimentos de preparação e gestão de uma obra, realizando alguns destes.

Estes objetivos foram concretizados recorrendo ao projeto da Escola Gaspar Frutuoso.

1.5 Descrição da obra Escola Gaspar Frutuoso

A Obra da Escola Gaspar Frutuoso localiza-se na Rua Benemérito Cónego Cristiano de Jesus Borges, Ribeira Grande, Ilha de S. Miguel, Açores. Esta obra destina-se a uma Escola Básica Integrada da Ribeira Grande.

O terreno tem uma área total de aproximadamente 31.427 m².

A nível estrutural é composta por 10 corpos estruturais (A a I), ver figura 3, distintos e independentes entre si, através da adoção de juntas de dilatação. Neste documento apenas

se considera os blocos A, B, C, E, F e G e os passadiços, pois são os corpos em que a estrutura metálica é mais relevante.

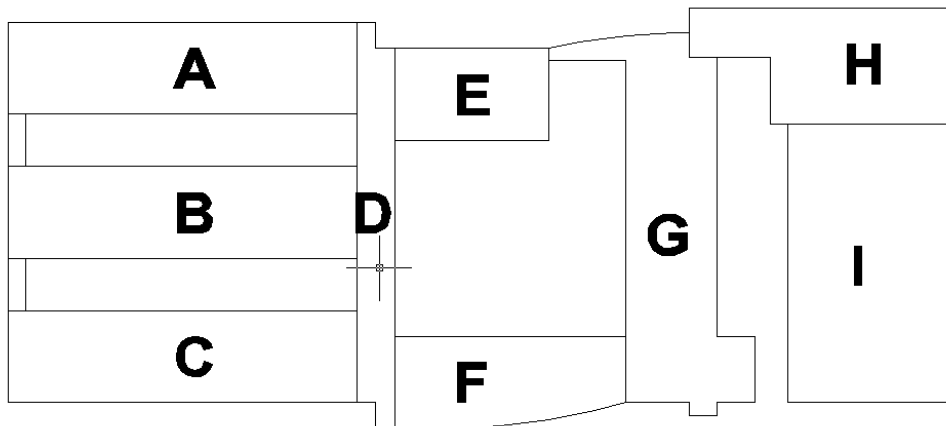


Figura 3 - Planta de Identificação dos Corpos Estruturais.

Os pavimentos dos pisos são constituídos por uma laje de betão armado que apoia sobre vigas metálicas HEB300.

Os passadiços que ligam os corpos A, B e C são constituídos por uma treliça metálica, cujas diagonais são compostas por tubos SHS 100x10 sendo as cordas inferior e superior SHS 150x12 sobre os quais apoia uma laje de betão.

Os edifícios são compostos por estrutura principal e secundária, no entanto decidiu-se apenas considerar a estrutura principal.

2 ORÇAMENTAÇÃO DA OBRA ESCOLA GASPAR FRUTUOSO

2.1 Introdução

A orçamentação de estruturas metálicas constitui uma etapa essencial no desenvolvimento de um empreendimento de construção, no entanto pressupõe apenas uma estimativa dos custos reais (Santos & Simões da Silva, 2011).

Desta forma, o orçamentista tem o intuito de realizar uma estimativa dos custos e o seu controlo e, principalmente, potenciar os lucros e otimizar as receitas (Hendrickson, 1998).

Um problema recorrente da construção Portuguesa é a realização de obras com custos superiores ao orçamentado. De forma a diminuí-lo é necessário definir-se procedimentos de orçamentação e controlo, que garantam o cumprimento do objetivo e a realização das obras, de acordo com o valor orçamentado (Faria, 2014).

Assim, um engenheiro tem de saber medir e estimar, não podendo ter grande margem de erro pois, qualquer afastamento significativo, põe em risco prazos, custos e a sua credibilidade como engenheiro, ou até mesmo a empresa de construção. (Semedo, 2009)

A orçamentação é constituída por duas fases, a medição e a orçamentação.

2.2 Medições

2.2.1 Generalidades

As medições e o Caderno de Encargos são documentos fundamentais para o estudo da proposta de preços. Assim, cadernos de encargos bem organizados e medições bem efetuadas, revelam-se cruciais para o sucesso de uma obra (Semedo, 2009).

Nas medições indicam-se os tipos de materiais e respetivas quantidades e dimensões, e são elaboradas de acordo com os desenhos e caderno de encargos enviados pelo cliente.

Os desenhos e caderno de encargos são realizados com base no projeto realizado por um projetista designado pelo cliente.

2.2.2 Mapa de quantidades

O mapa de quantidades da obra divide-se por artigos, mediante o tipo de perfil e os blocos ao qual pertence, ver tabela 1.

Tabela 1 - Mapa de quantidades da Obra.

Mapa de quantidades			
Obra: Escola Gaspar Frutuoso - São Miguel, Açores			
Artigo	Designação	Quantidades	Unidades
1	Fornecimento e montagem de estrutura metálica em aço S355JR, considerando pilares e vigas em perfis do tipo HEB 300. Esquema de pintura:		
1.1	Bloco A	125 896.62	kg
1.2	Bloco B	125 040.85	kg
1.3	Bloco C	125 211.77	kg
1.4	Bloco E	17 340.18	kg
1.5	Bloco F	70 807.70	kg
1.6	Bloco G	59 021.25	kg
2	Fornecimento e montagem de estrutura metálica em aço S355JR, considerando pilares e vigas em perfis do tipo SHS100x100x10. Esquema de pintura:		
2.1	Passadiços	3 757.96	kg
3	Fornecimento e montagem de estrutura metálica em aço S355JR, considerando pilares e vigas em perfis do tipo SHS150x150x12. Esquema de pintura:		
3.1	Passadiços	10 681.84	kg

2.3 Orçamento

A preparação do orçamento é conseguida através da recolha de informação disponível e pertinente relacionada com a obra (Semedo, 2009). Dentro da empresa é avaliada a produtividade e custos/hora da mão-de-obra.

O orçamento divide-se em três parcelas:

- i. Custos diretos, relacionados com recursos diretamente produtivos;
- ii. Custos indiretos referentes a juros de empréstimo, garantias bancárias, gastos gerais da sede, limpeza e conservação de instalações e pessoal administrativo;
- iii. Margem de lucro (Semedo, 2009).

A elaboração do orçamento consiste no cálculo do “custo por unidade de medida” dos elementos estruturais e as suas quantidades.

O orçamento está dividido em artigos, de acordo com os diferentes blocos e passadiços (designações apresentadas anteriormente), e em função das quantidades de estrutura metálica (kg) apuradas para cada um deles. Obtém-se um orçamento onde o cliente sabe quanto vai despende em cada edifício. No final obtém-se um custo total por edifício, que inclui o valor da mão-de-obra, material, preparação de obra, qualidade, segurança, transporte, pintura, equipamentos, garantias bancárias e margem de lucro.

O processo de orçamento suporta-se numa ferramenta de cálculo que se resume a uma folha de *Excel*.

Na fase de medições do orçamento avaliam-se: o tipo de perfil, os comprimentos das peças, o número de partes semelhantes, o peso de cada perfil, o preço por kg de aço, a área do perfil e o preço do tratamento superficial.

Depois de avaliadas as quantidades, introduzem-se: custo de hora de produção, tempo de preparação de obra, quantidade de transportes do material, despesas em qualidade e segurança, tempo de projeto, tempo de montagem da obra, custo de hora de montagem, número e tempo de utilização de plataformas e multifunções, número de dias de trabalho dos soldadores, garantias bancárias e lucro.

Para o orçamento da Obra Escola Gaspar Frutuoso apenas se considerou a estrutura principal, constituída por HEB300, SHS100x10 e SHS150x12.

Todos os valores apresentados são valores aproximados dos reais, visto que não posso utilizar os reais por questões de proteção de dados, e servem apenas para aplicação em exemplo de cálculo a realizar.

2.3.1 Custos diretos

Aquisição do material

O material considerado a aprovisionar apenas é a estrutura metálica principal, composta por HEB300 em S355. O valor considerado para o custo/quilo é de 0,70 €/kg. Na aquisição do material considera-se um desperdício de 3% do peso total da estrutura presente mapa de medições.

Um aspeto relevante quando se procede à aquisição do material é que esse valor englobe o transporte deste até à fábrica.

Chapas de ligação

A quantidade de chapas de ligação é incluída no peso total da matéria-prima, sendo este valor considerado 7% do peso da estrutura principal. O preço das chapas de ligação é igual ao da estrutura metálica, apresentado anteriormente.

Parafusos, chumbadouros e conetores

O valor dos parafusos e chumbadouros é um valor estimado, neste caso considerou-se 1% do peso da estrutura. O número de conetores é estimado mediante os desenhos e admite-se 0,70 €/unidade.

Projeto

O custo de projeto é calculado estimando o número de dias que são necessários para o desenvolvimento de todos os cálculos referentes ao edifício em estudo. O projeto não foi elaborado pela Arestalfer, a função da Direção de projeto foi apenas a verificação de alguns cálculos e justificação de ligações. No entanto, no presente relatório de estágio optou-se por proceder à realização de todo o projeto do edifício em estudo. Neste caso, admitiu-se que o número de dias despendido pelo projeto é de 5 dias, com um custo/hora de um Projetista de 20 €/h.

Preparação de obra

O custo da preparação de obra é calculado estimando o número de dias que são necessários para o desenvolvimento do modelo da obra (Tekla) e de todos os detalhes (desenhos de fabrico, aproveitamentos, desenhos de montagem, NCfiles, etc.). Estimou-se

que a preparação desta obra demora 10 dias e o custo/hora de um Preparador de Obra é de 16,5 €/h.

Fabrico

O custo de fabrico está dependente do número de horas de produção que a empresa gasta para executar determinada estrutura (h/ton) e também do seu custo/hora de produção (€/h). Neste caso o custo/hora de produção é de 15 €/h e o rendimento dos trabalhadores é de 15 h/ton.

Qualidade e Segurança

Com a criação da União Europeia ocorreu um aumento da concorrência, o que tem levado à busca de uma maior produtividade e competitividade por parte das empresas. De forma a atingir esses objetivos, as empresas reavaliaram os seus métodos e os sistemas de produção. Uma das medidas adotada pelas empresas foi a elaboração de normas de qualidade, segurança e higiene no trabalho (Arnaldo, n.d.).

O Departamento de qualidade e segurança é responsável pela elaboração de um Plano de Higiene e Segurança para a obra em estudo. Durante o fabrico e montagem da obra, o mesmo departamento procederá à verificação da qualidade através de diversos ensaios.

Pintura

O custo de pintura é normalmente apresentado por área de pintura e depende do esquema de pintura a aplicar na estrutura e do tipo de perfil. A área de pintura obteve-se a partir de estimativas retiradas dos desenhos enviados pelo cliente.

Para a realização deste esquema de pintura admitiu-se que o preço é de 45 €/m². Este preço corresponde ao fornecimento do material a pintar e à mão-de-obra realizada por um subempreiteiro.

Transporte

O transporte entre a fábrica da Arestalfer e o Porto de Leixões e entre o Porto de Ponta Delgada e o local da obra efetua-se através de transporte rodoviário.

Este transporte considera-se o mais adequado, pois o material é carregado no interior da fábrica e descarregado no local exato da montagem da obra, sendo assim bastante flexível (Santos & Simões da Silva, 2011).

O transporte entre o Porto de Leixões e o Porto de Ponta Delgada efetua-se através de contentores transportados em navios.

Para a realização do transporte da estrutura são necessários 34 contentores 40 pés OT e 10 contentores 20 pés OT, ver figura 4. Cada contentor de 40 pés OT tem um custo de 2500 € e cada contentor de 20 pés OT tem um custo de 1600 €. Este valor inclui também o transporte rodoviário dos contentores.



Figura 4 - Transporte de Contentor 40 pés OT.

Montagem

O custo de montagem está ligado com o número de dias e de trabalhadores que são necessários para montar a estrutura. Neste caso estimam-se que é necessário aproximadamente 141 dias e 5 trabalhadores para a montagem da estrutura. O custo/hora dos trabalhadores é de 15 €/h.

Soldadores

Os soldadores são responsáveis pela elaboração das ligações soldadas em obra, estimando-se que estão em obra cada um deles durante 250 dias. O custo/hora dos soldadores é de 15 €/h.

Gestão de obra

A gestão de obra corresponde ao valor gasto em viagens, estadia e alimentação dos intervenientes na obra, como por exemplo do Diretor de obra e dos trabalhadores responsáveis pela montagem. Admite-se que a Gestão de Obra tem um custo de 2% do valor total da Obra.

Equipamentos

O custo dos meios de elevação depende diretamente dos elementos a montar, do tempo e da sua complexidade. Assim, para esta obra estima-se a utilização dos equipamentos: plataforma elevatória articulada, plataforma elevatória – tesoura, multifunções e andaimes.

A plataforma elevatória e a tesoura são equipamentos utilizados para a elevação de homens. As plataformas elevatórias utilizam-se para facilitar a realização das ligações de pilares a vigas e de vigas a vigas, onde é necessário compatibilizar ligações e colocar parafusos, ver figura 5.



Figura 5 - Plataforma elevatória.

O multifunções tem a vantagem de ser útil em diversos trabalhos e ter a capacidade de elevação. É, por norma, o equipamento mais utilizado na elevação de pilares e de vigas, ver figura 6 (Simões & Santiago, 2003).



Figura 6 – Multifunções.

Os andaimes auxiliam a montagem de toda a estrutura metálica, sendo essencial para a mão-de-obra responsável pela montagem, ver figura 7.



Figura 7 - Andaimes.

2.3.2 Custos indiretos

Garantias bancárias

O custo das garantias bancárias é calculado tendo por base a percentagem que o cliente refere ser necessário salvaguardar depois da obra executada e o número de anos de garantia. Admite-se um valor de 5% da obra durante 5 anos (E. L. Simões & Santiago, 2003).

Encargos financeiros

Os encargos financeiros consistem no valor que é gasto na banca, admitindo-se 3.5% do valor da Obra.

Encargos 4%

Os encargos de 4% do valor dos custos diretos correspondem a tudo o que não é imputável à obra, ou seja departamentos indiretos (administração, compras, contabilidade, financeira, informática, etc.), custo de instalações não produtivas (escritórios, fábrica, etc.) e todos os equipamentos associados.

2.3.3 Margem de lucro

O lucro para esta obra admitiu-se 15%, este valor contempla erros que possam ocorrer na orçamentação e erros e omissões do Caderno de Encargos.

No Anexo A é apresentado o orçamento realizado pelo método “custo por unidade de medida” para a especialidade de estrutura metálica. O orçamento apresentado encontra-se resumido apenas ao valor estimado para cada bloco ou passadiço.

2.4 Avaliação do custo

Decidiu realizar-se um estudo dos gastos mais relevantes na obra. As parcelas escolhidas para essa avaliação foram apresentadas anteriormente, ver figura 8. Para cada custo apresenta-se uma percentagem correspondente ao valor de cada trabalho em relação ao custo total da obra.

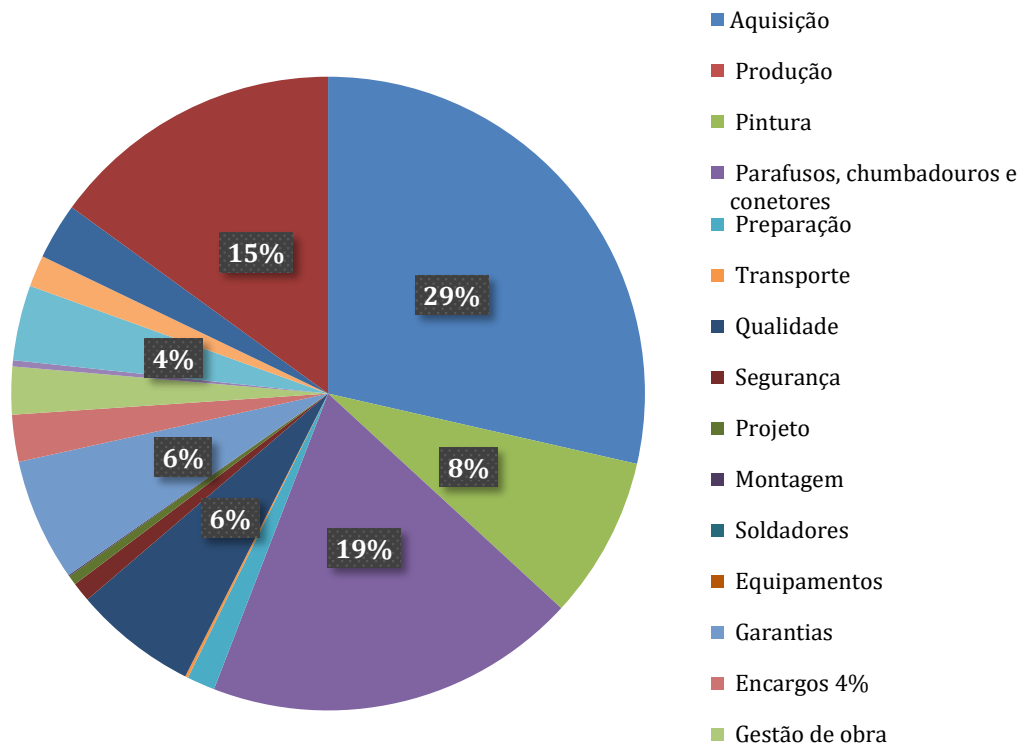


Figura 8 - Distribuição de custos na Obra Escola Gaspar Frutuoso.

Analisando o gráfico anterior, constata-se que o custo principal está associado à aquisição do material e mão-de-obra, incluindo a pintura e a produção, e transporte.

3 PROJETO DA ESCOLA GASPAR FRUTUOSO

3.1 Introdução

O projeto da estrutura da Escola Gaspar Frutuoso efetua-se por completo com recurso ao programa de cálculo Robot. No entanto, apresentam-se apenas o dimensionamento de uma viga, de um pilar, de duas ligações aparafusadas, viga-viga e coluna-viga, uma ligação soldada e um chumbadouro.

Após a análise dos diagramas de momentos, esforço axial e esforço transversal verifica-se quais os elementos, coluna e viga, mais esforçados, sendo estes os selecionados para o dimensionamento.

No caso das ligações efetua-se uma análise semelhante, sendo as ligações escolhidas nos locais onde os esforços atuantes são máximos.

Assim, escolhem-se os casos representativos da obra em estudo, pois são dimensionados para as condições mais desfavoráveis.

Ainda neste capítulo efetua-se um estudo da resistência ao fogo de uma viga e de uma coluna.

Nas figuras seguintes apresentam-se a modelação dos edifícios efetuados com o programa de cálculo Robot. Optou-se por realizar a modelação em dois ficheiros distintos, pois os edifícios encontram-se separados.

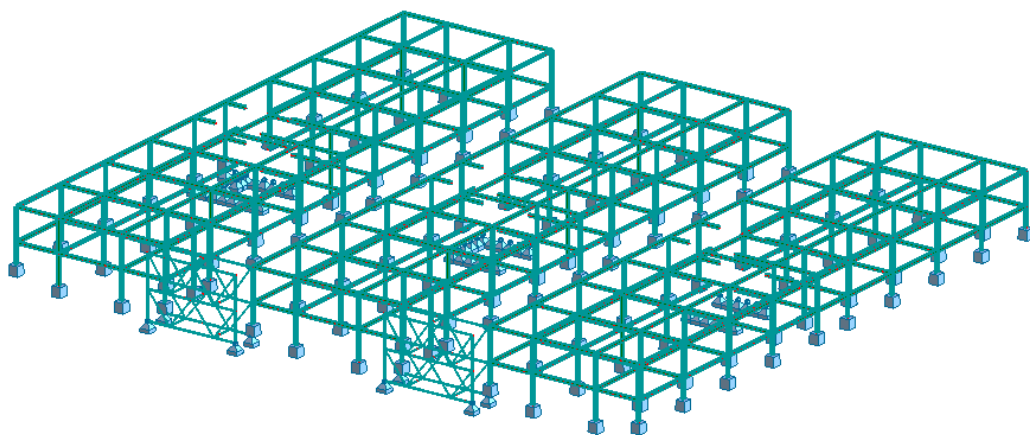


Figura 9 - Corpos A, B e C e Passadiços.

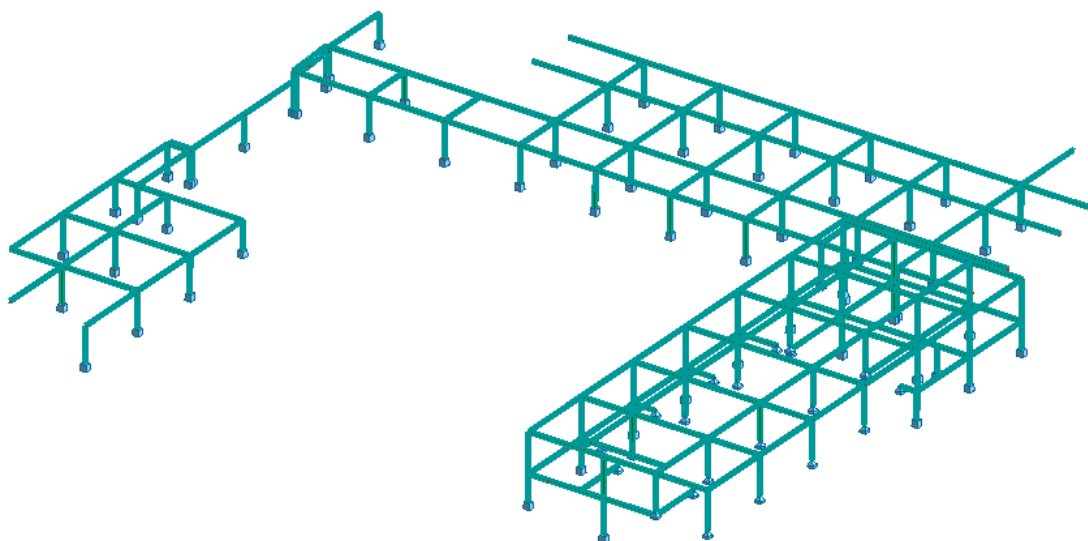


Figura 10 - Corpos E, F e G.

3.2 Regulamentação

Em Portugal, a atividade de projeto de estruturas metálicas tem sido regulamentada pelo Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE), no entanto este documento apresenta limitações em áreas como: a análise plástica de estruturas, a encurvadura, a encurvadura lateral ou bambeamento e a análise e dimensionamento de ligações. Atualmente este regulamento passa por um período de coexistência com o NP EN 1993-1-1 (CEN, 2010c), cujas partes principais já estão publicadas em Portugal.

O NP EN 1993-1-1 (CEN, 2010c) tem como objetivo desenvolver e uniformizar, a nível europeu, regras de cálculo e dimensionamento para os diversos tipos de estruturas. O Regulamento de Produtos de Construção (UE, 2011) tem como objetivo permitir a comercialização e a livre circulação destes produtos na União Europeia, proteger a saúde e segurança do consumidor e determinar o procedimento a seguir pelos fabricantes de modo a obterem marcação CE. Este regulamento estabelece os seguintes sete requisitos essenciais para os produtos da construção:

- i) Resistência mecânica e estabilidade;
- ii) Resistência ao fogo;
- iii) Higiene, saúde e ambiente;
- iv) Segurança na utilização;

- v) Proteção contra o ruído;
- vi) Economia de energia e retenção de calor;
- vii) Sustentabilidade (Simões, 2014).

Os Eurocódigos estruturais, as normas do produto, as normas de ensaio e as normas de execução constituem os principais documentos normativos para regulamentar o projeto de estruturas (Simões, 2014).

O presente documento desenvolve-se de acordo com as normas:

- i. NP EN 1990 (CEN, 2009a);
- ii. NP EN 1991-1-1 (CEN, 2009b);
- iii. NP EN 1991-1-2 (CEN, 2010a);
- iv. NP EN 1991-1-4 (CEN, 2010b);
- v. NP EN 1991-1-5 (CEN, 2009c);
- vi. NP EN 1993-1-1 (CEN, 2010c);
- vii. NP EN 1993-1-2 (CEN, 2010d);
- viii. NP EN 1993-1-8 (CEN, 2010e);
- ix. NP EN 1998-1-1 (CEN, 2010f);
- x. EN 1090-2 (CEN, 2011);
- xi. Regulamento de produtos da construção (Governo Português, 2011);
- xii. EN 14399-1 (CEN, 2005);
- xiii. EN 10025-2:2004 (CMM, 2014).

3.3 Ações

O processo de identificação e quantificação de ações atuantes constitui uma fase determinante no projeto de qualquer estrutura. Para uma adequada definição das situações de projeto, e combinações de ações associadas, é fundamental uma correta classificação das ações (Simões, 2014).

As ações podem ser classificadas de acordo com a sua variação no tempo em:

- i) Ações permanentes (peso próprio, equipamento fixo, entre outros);

- ii) Ações variáveis (sobrecargas em pavimentos e coberturas, vento, neve, etc...);
- iii) Ações acidentais (cargas de impacto e explosões).

Algumas ações podem ser consideradas ações acidentais ou variáveis dependendo do local da obra. A ação do fogo, que em certos casos pode ser essencial, na NP EN 1990 (CEN, 2009a) é tratada como uma ação acidental (Simões, 2014).

Para este edifício são consideradas as seguintes ações: peso próprio, restantes cargas permanentes, sobrecarga, vento, variação da temperatura, sismo e fogo. O sismo tem uma grande importância, pois a obra encontra-se numa zona com atividade sísmica frequente.

3.3.1 Ações permanentes

As ações permanentes são ações que atuam durante praticamente a totalidade do período de vida da estrutura, desprezando a variação da intensidade no tempo (CEN, 2009b), considerando-se as seguintes:

- i. Peso próprio;
- ii. Restantes cargas permanentes.

O peso próprio nos edifícios deverá ser classificado como uma ação permanente fixa (CEN, 2009b), os valores do peso volúmico encontram-se utilizados na tabela 2.

Tabela 2 - Peso volúmico.

	G_k (kg/m³)
Betão	2500
Estrutura metálica	7850

As restantes cargas permanentes obtiveram-se a partir do caderno de encargos apresentam-se na tabela 3.

Tabela 3 - Restantes cargas permanentes.

	RCP	Unidades
Salas de aula	4.5	kN/m ²
Acessos	2.3	kN/m ²
Terraço não acessível	3.5	kN/m ²
Cobertura ordinária	2.5	kN/m ²
Cobertura ajardinada	4.5	kN/m ²

3.3.2 Ações variáveis

As ações variáveis são ações em que a variação de intensidade no tempo é significativa durante a vida útil da estrutura, tais como:

- i. Sobrecarga;
- ii. Vento;
- iii. Variação da temperatura.

3.3.2.1 Sobrecarga

Os valores da sobrecarga obtiveram-se a partir do caderno de encargos apresentam-se na tabela 4.

Tabela 4 - Sobrecargas

	Q_k	Unidades
Salas de aula	3.0	kN/m ²
Acessos	5.0	kN/m ²
Terraço não acessível	1.0	kN/m ²
Cobertura ordinária	0.3	kN/m ²
Cobertura ajardinada	3.0	kN/m ²

3.3.2.2 Vento

As ações do vento são variáveis em função do tempo e atuam diretamente sobre as superfícies exteriores das construções, na forma de pressões. As construções fechadas são alvo de pressões internas, que atuam sobre as superfícies interiores, devido à porosidade da superfície exterior. Das pressões que atuam sobre elementos da superfície resultam forças perpendiculares à superfície da construção (CEN, 2010b).

A ação do vento nos edifícios depende fundamentalmente de:

- i. Velocidade do vento;
- ii. Forma do edifício;
- iii. Características dinâmicas da estrutura.

A velocidade do vento depende, por seu lado de:

- i. Localização geográfica da estrutura;
- ii. Altura da estrutura acima do terreno;
- iii. Rugosidade do terreno.

O local da obra pertence à zona B, sendo o valor básico da velocidade de referência do vento ($v_{b,0}$) de 30m/s, a categoria do terreno é II, sendo $z_0 = 0.05m$ e $z_{min} = 3m$, e a altura da estrutura acima do terreno de aproximadamente 3m. Obtendo-se uma pressão dinâmica do vento de 0.9 kN/m².

3.3.2.3 Variação da temperatura

As ações térmicas podem ser de natureza climática ou operacional, provocando nas estruturas variações de temperatura e estas originam deformações nas estruturas. As deformações por sua vez geram ações horizontais no elemento.

No que diz respeito ao valor da temperatura inicial de um elemento estrutural no momento em que são introduzidos constrangimentos (T_0), considerou-se 15°C pois não existem informações.

Os Açores pertencem à Zona C, logo $T_{min} = 5^\circ C$ e $T_{max} = 35^\circ C$.

Como o valor da altitude do local da obra, H, é pequeno (35 metros), despreza-se a influência da altitude.

À temperatura máxima é adicionado $T_4 = 2^\circ\text{C}$, pois admite-se que a cor da superfície é clara.

Sendo assim obtém $\Delta T_u^- = -10^\circ\text{C}$ e $\Delta T_u^+ = 22^\circ\text{C}$.

3.3.3 Sismo

O dimensionamento de estruturas à ação sísmica faz-se de acordo com a NP EN 1998-1-1 e este tem por finalidade assegurar, em caso de ocorrência de sismos, que:

- i. As vidas humanas são protegidas;
- ii. Os danos são limitados;
- iii. As estruturas importantes para a proteção civil se mantêm operacionais (CEN, 2010f).

As estruturas localizadas em zonas suscetíveis de ocorrer sismos devem ser dimensionadas e construídas de forma a garantir duas exigências fundamentais:

- i. Exigência de não colapso;
- ii. Exigência de limitação de danos.

Para sismos com diferente probabilidade de ocorrência, ou seja com dois níveis diferentes de intensidade da ação sísmica, devem ser verificadas estas duas exigências regulamentares.

Para a ação sísmica de projeto é necessário verificar a exigência de não colapso e para ação sísmica de serviço a exigência de limitação de danos.

No entanto, ambas as verificações apresentam a mesma forma espectral e, assim, a ação sísmica de serviço pode ser obtida através da aplicação de um coeficiente de redução à ação sísmica de projeto.

O desempenho melhorado de construções com funções vitais é conseguido aumentando o período de retorno de ação sísmica. Assim, para estes casos, a ação sísmica de projeto é obtida multiplicando a ação sísmica de referência por um coeficiente de importância γ_I . Neste caso, o presente edifício tem uma resistência sísmica importante, devido às consequências do colapso, então $\gamma_I = 1.2$.

Os danos produzidos por um sismo intenso numa determinada área apresentam uma distribuição heterogénea, ou seja, são mais elevados numas zonas e menores noutras, apesar da sua proximidade geográfica. Os danos dependem do tipo de solo onde se localiza a obra, neste caso admite-se ser um solo rijo, correspondendo a um tipo de terreno B.

O zonamento sísmico é definido em função da perigosidade sísmica local, podendo variar com a magnitude dos sismos. Para o território Nacional foram consideradas diversas zonas sísmicas, sendo que a Ilha de São Miguel localiza-se no Grupo Oriental nos Açores, correspondendo a uma zona 2.1 e o valor de a_{gr} é de 2.5m/s^2 .

Para períodos de retorno que não o de referência, o valor da aceleração de projeto em rocha a_g é considerado de 3 m/s^2 .

Os Açores apenas apresentam espectro do tipo 2, correspondendo a sismos próximos e de pequena magnitude.

O coeficiente de comportamento, q , para a ação sísmica horizontal é de 3.9 m/s, considerando um tipo estrutural de pórticos e uma classe de ductilidade máxima.

O método de referência do EN1998-1-1 (CEN, 2010f) para calcular os efeitos da ação sísmica é a análise modal dos espectros de resposta, assumindo o comportamento elástico linear e usando os espectros de projeto.

A combinação do efeito dos sismos horizontais e verticais são feitas da seguinte forma (Oliveira, 2016):

$$\text{Efeito}_{\text{sismo } x} + 0,3 \times \text{Efeito}_{\text{sismo } y} + 0,3 \times \text{Efeito}_{\text{sismo } z} \quad (3.1.)$$

$$0,3 \times \text{Efeito}_{\text{sismo } x} + \text{Efeito}_{\text{sismo } y} + 0,3 \times \text{Efeito}_{\text{sismo } z} \quad (3.2.)$$

$$0,3 \times \text{Efeito}_{\text{sismo } x} + 0,3 \times \text{Efeito}_{\text{sismo } y} + \text{Efeito}_{\text{sismo } z} \quad (3.3.)$$

3.3.4 Fogo

Na NP EN 1993-1-2, a parte do fogo do Eurocódigo 3 para estruturas de aço, retrata apenas a proteção passiva contra o fogo, não tendo em conta as medidas de proteção ativas. As medidas de proteção ativas podem ser contabilizadas de uma forma semiprobabilística, com a determinação do valor de cálculo da carga de incêndio (Franssen & Vila Real, 2015a).

A NP EN 1993-1-2 considera apenas a função de suporte de carga da estrutura, deixando de fora a função de separação, quantificada pelos critérios de integridade e de isolamento.

A ocorrência de um incêndio cria uma situação que é diferente da temperatura ambiente e, por conseguinte, combinações específicas de carga devem ser consideradas para o estado limite último para a ação do fogo. Valores de ações de cálculo específicas têm de ser levadas em conta para a situação de incêndio. Esses valores são geralmente mais baixos do que os valores considerados para o projeto da temperatura ambiente. Isso é porque o fogo é um evento raro e uma maior probabilidade de falha é aceite em situação de incêndio do que em condições normais (Franssen & Real, 2012).

O efeito das ações para a situação de incêndio pode ser obtidas utilizando a combinação de ações para a situação acidental dado por:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,i} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (3.4.)$$

3.4 Combinações de ações

3.4.1 Estado limite último

Um estado limite último corresponde a um estado associado ao colapso de parte ou da totalidade da estrutura, colocando em perigo a segurança dos seus utilizadores. Em geral, um estado limite último pode ser alcançado por diversos motivos:

- i) Perda de equilíbrio de parte ou da totalidade da estrutura;
- ii) Colapso da estrutura ou dos seus elementos e ligações;
- iii) Colapso ou deformação excessiva das fundações;
- iv) Rotura por fadiga (Simões, 2014).

A verificação dos estados limites últimos consiste na verificação da condição:

$$E_d \leq R_d \quad (3.5.)$$

Em que E_d representa o valor de cálculo do efeito das ações e R_d representa o valor de cálculo da resistência correspondente (Simões, 2014).

Neste caso, consideraram-se as seguintes combinações de ações:

- i) $1.35G_k+1.35RCP+1.5Q_k+0.9T_+$;
- ii) $1.35G_k+1.35RCP+1.5Q_k+0.9T_-$;
- iii) $1.0G_k+1.0RCP+1.5W_x+0.9T_+$;
- iv) $1.0G_k+1.35RCP+1.5W_x+0.9T_+$;
- v) $1.0G_k+1.0RCP+1.5W_y+0.9T_+$;
- vi) $1.0G_k+1.35RCP+1.5W_y+0.9T_+$;
- vii) $1.35G_k+1.35RCP+1.5T_++0.9W_x$;
- viii) $1.35G_k+1.35RCP+1.5T_++0.9W_y$;
- ix) $1.35G_k+1.35RCP+1.5T_++0.9W_x$;
- x) $1.35G_k+1.35RCP+1.5T_++0.9W_y$;
- xi) $1.0G_k+1.0RCP+0.6Q_k+1.0Sismo\ x$;
- xii) $1.0G_k+1.0RCP+0.6Q_k+1.0Sismo\ y$;
- xiii) $1.0G_k+1.0RCP+0.6Q_k+1.0Sismo\ z$;
- xiv) $1.0G_k+1.0RCP+0.7Q_k$;
- xv) $1.0G_k+1.0RCP+0.2W_x+0.7Q_k$;
- xvi) $1.0G_k+1.0RCP+0.2W_y+0.7Q_k$.

A ação do sismo é considerada para os estados limites últimos nas situações de projeto sísmicas. A ação do fogo é considerada para os estados limites últimos nas situações de projeto acidentais.

3.4.2 Estado limite de utilização

Um estado limite de utilização corresponde a um estado para além do qual as condições específicas de utilização deixam de ser verificadas; em estruturas metálicas consideram-se em geral estados limites de deformação e estados limites de vibração (Simões, 2014).

Os estados limites de vibração não foram verificados devido a falta de tempo, no entanto seria uma verificação a fazer tendo em conta a função do edifício.

Os estados limites de utilização realizam-se para as ações características, ações frequentes e ações quase permanentes, no entanto apenas se considerou os estados limites de utilização para ações características.

A verificação dos estados limites de utilização consiste na verificação da condição:

$$E_d \leq C_d \quad (3.6.)$$

Em que E_d representa o valor de cálculo do efeito das ações em condições de serviço, determinado para uma combinação de ações relevante e C_d representa o valor limite delimitado regularmente para o mesmo efeito (Simões, 2014).

Neste caso, considerou-se as seguintes combinações de ações:

- i) $1.0G_k+1.0RCP+1.0Q_k$;
- ii) $1.0G_k+1.0RCP+1.0W_x$;
- iii) $1.0G_k+1.0RCP+1.0W_y$.

Para as deformações verticais em vigas, os valores para os deslocamentos são os indicados na tabela 5.

Tabela 5 - Valores recomendados para os limites dos deslocamentos verticais (Simões, 2014).

Condições	$\delta_{m\acute{a}x}$	δ_2
Coberturas em geral.	L/200	L/250
Coberturas utilizadas frequentemente por pessoas, para além do pessoal de manutenção.	L/250	L/300
Pavimentos em geral.	L/250	L/300
Pavimentos e coberturas que suportem rebocos ou outros acabamentos frágeis ou divisórias não flexíveis.	L/250	L/350
Pavimentos que suportem colunas (a menos que o deslocamento tenha sido incluído na análise global para o estado limite último).	L/400	L/500
Quando $\delta_{m\acute{a}x}$ possa afetar o aspeto do edifício.	L/250	-
Nota: No caso geral, L representa o vão da viga. No caso de vigas em consola, L representa duas vezes o vão real da consola.		

A viga considerada apresenta uma deformação máxima para os estados limites de utilização de 0.7 cm = 7 mm, ver figura 11, sendo que o valor recomendado do limite é de

$$\frac{L}{250} = \frac{7300}{250} = 29,2 \text{ mm} > 7 \text{ mm}, \text{ logo verifica-se a condição.}$$

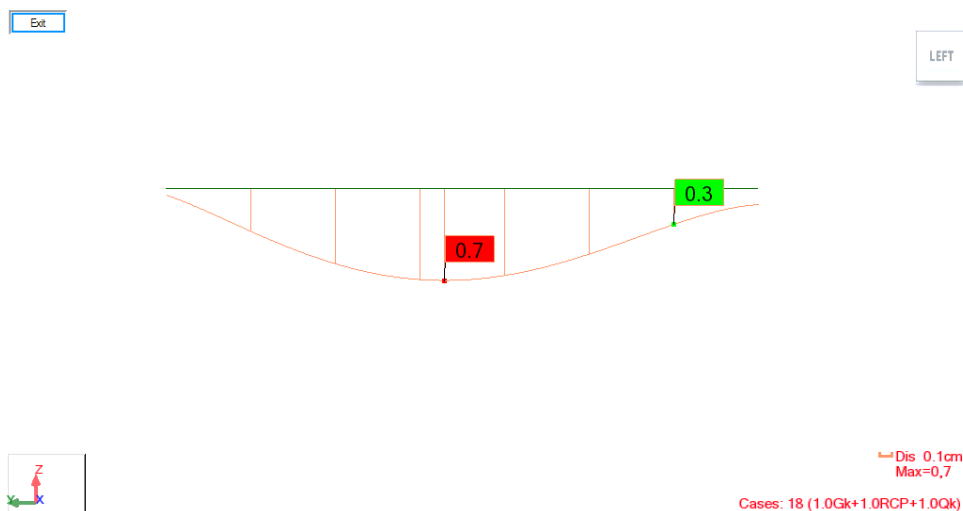


Figura 11 - Deformações da viga 544 para os Estados Limites de Utilização.

Os valores recomendados para os deslocamentos horizontais em estruturas porticadas, obtidos para as combinações características de ações, são os indicados na tabela 6.

Tabela 6 - Limites da deformação horizontal em estruturas porticadas.

Tipo de pórtico		Limite
Pórticos de 1 piso	Sem aparelhos de elevação	$\delta_i \leq h_i/150$
	Outros edifícios	$\delta_i \leq h_i/300$
Edifícios de vários pisos	Em cada piso	$\delta_i \leq h_i/300$
	Na estrutura globalmente	$\Delta \leq h/150$

O coluna considerado apresenta uma deformação máxima para os estados limites de utilização de 0.1 cm = 1mm, ver figura 12, sendo que o valor recomendado do limite é de

$$\frac{L}{300} = \frac{3250}{300} = 10.8\text{mm} > 1\text{mm}, \text{ logo verifica-se a condição.}$$

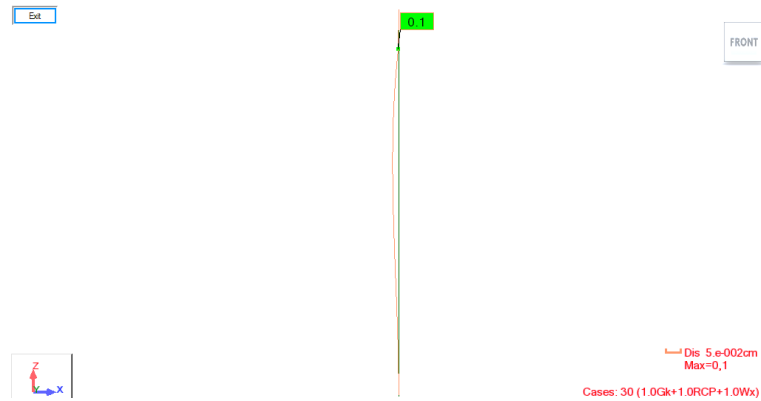


Figura 12 - Deformações da coluna 1106 para os Estados Limites de Utilização.

3.5 Caracterização mecânica dos materiais

Os aços para utilização na construção metálica são definidos e classificados segundo a norma EN 10025-2:2004 (CMM, 2014), ilustrado na tabela 7.

Tabela 7 - Classificação dos aços europeus pela norma EN 10025-2 (CEN, 2004).

Norma	Classe	Tensão de cedência mínima f_y (MPa) para a espessura t (mm)	Tensão última f_u (MPa)	Tenacidade (ensaio de Charpy)
Aços europeus		$16 < t \leq 40$	limites	Temperatura (°C)
EN 10025-2	S355JR	345	470 - 630	+20 (se especificado)

O aço utilizado nesta estrutura foi S355JR e como o HEB300 tem uma espessura do banzo superior a 16mm, a tensão de cedência mínima considera-se 345 MPa.

Na tabela 8 são descritas as classes de resistência bem como os valores nominais da tensão de cedência f_{yb} e da tensão de rotura à tração f_{ub} do tipo de parafuso utilizado no edifício em causa.

Tabela 8 - Valores nominais da tensão de cedência f_{yb} e da tensão de rotura à tração f_{ub} de parafusos.

Parâmetros	Valores	Unidades
Classe do parafuso	8.8	-
f_{yb}	640	N/mm ²
f_{ub}	800	N/mm ²

3.6 Caracterização geométrica

As estruturas metálicas são de um modo geral constituídas por peças lineares (perfis) – estruturas reticuladas. Os pórticos da estrutura apresentam-se na figura 13.

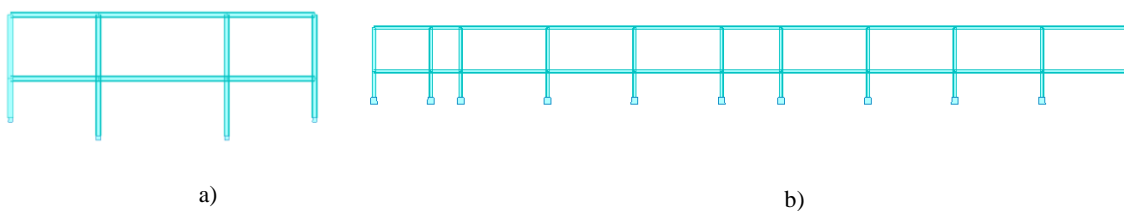


Figura 13 – a) Pórtico da estrutura na direção xz; b) Pórtico da estrutura na direção yz.

Neste caso, o perfil utilizado é HEB300 e as características geométricas deste perfil apresentam-se na figura 14 e na tabela 9.

Tabela 9 - Características geométricas do perfil HEB 300.

h	300	mm
b	300	mm
d	208	mm
t_w	11	mm
t_f	19	mm
r	27	mm
A	1.49E+04	mm ²
I_y	2.52E+08	mm ⁴
W_{pl,y}	1.87E+06	mm ³
A_{vy}	1.26E+04	mm
I_z	8.56E+07	mm ⁴
W_{pl,z}	8.70E+05	mm ³
A_{vz}	4.74E+03	mm ²
I_w	1.69E+12	mm ⁶
I_t	1.85E+06	mm ⁴

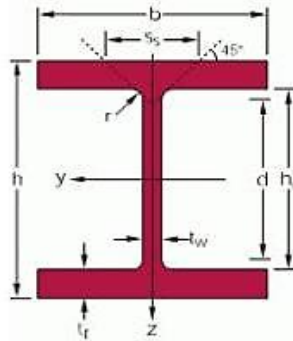


Figura 14 - Parâmetros do perfil HEB300.

3.7 Programa de cálculo – *Autodesk Structural Robot Analysis*

O *Autodesk Robot Structural Analysis* calcula uma variedade de estruturas através de uma longa biblioteca de códigos de desenho, atingindo resultados em tempo reduzido (Autodesk, 2016).

Este programa de engenharia de estruturas é permite a análise por elementos finitos de estruturas e os projetos de betão armado e de aço estrutural e oferece ainda uma interação com outros produtos de engenharia de estruturas.

As principais funcionalidades do *Autodesk Robot Structural Analysis* são as seguintes:

- i. Ligações bidirecionais contínuas;
- ii. Capacidades avançadas de elaboração automática de malhas de elementos finitos;
- iii. Vasto leque de capacidades de análise;
- iv. Sistemas de análise avançados;

- v. Vasta disponibilização de resultados de análise;
- vi. Idiomas múltiplos e diferentes sistemas de unidades para os mercados globais;
- vii. Especificidades e Códigos de Projeto localizados por país;
- viii. Solução de projeto integrado para betão armado e aço;
- ix. Fluxo de trabalho integrado desde a análise e projeto de estruturas até aos desenhos de produção;
- x. API (interface de programação de aplicações) aberta e flexível (Autodesk, 2016).

3.8 Dimensionamento

A viga analisada é a viga número 177 pertencente ao Bloco B e a coluna o número 1106 pertencente ao Bloco C, ver figura 15.

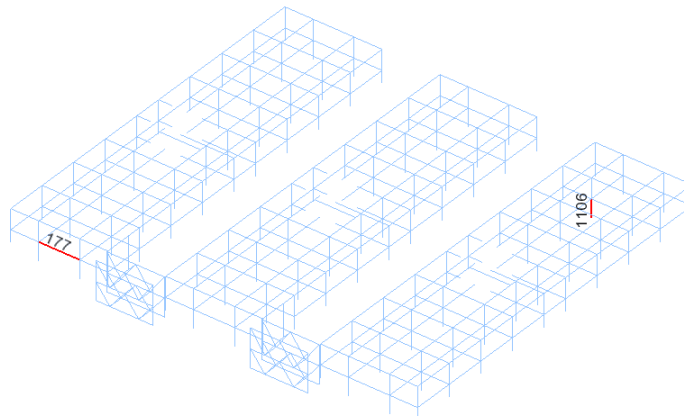


Figura 15 - Viga e coluna considerados na análise.

O dimensionamento das vigas e das colunas realiza-se de acordo com a norma NP EN 1993-1-1 (CEN, 2010c).

As vigas pertencentes ao edifício são vigas mistas, no entanto decide optar-se pelo dimensionamento de vigas simples pois estas já são suficientes para resistir aos esforços atuantes. Verifica-se assim que não havia necessidade de utilizar vigas mistas, no entanto a dimensão das vigas estava condicionada pela arquitetura e não houve autorização para otimizar a estrutura.

3.8.1 Esforços nos perfis

Os esforços nos perfis obtêm-se após a análise estrutural, verificando-se onde estes eram máximos.

3.8.1.1 Viga 177

Os diagramas de esforço axial e momento da viga 177 para a combinação mais desfavorável, $1.35G_k + 1.35RCP + 1.5T^+ + 0.9W_x$, apresentam-se na figura 16.

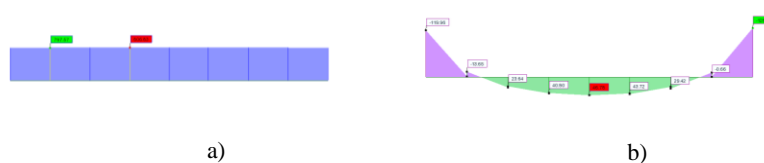


Figura 16 – a) Diagrama de esforço axial da viga 177; b) Diagrama de momentos da viga 177.

A viga apresenta esforço axial devido às ações horizontais, ou seja, ao vento e ao esforço provocado pela temperatura.

3.8.1.2 Coluna 1106

Os diagramas de esforço axial, esforço transverso e momento da coluna 1106 para a combinação mais desfavorável, $1.35G_k + 1.35RCP + 1.5Q_k + 0.9T^-$, apresentam-se na figura 17.

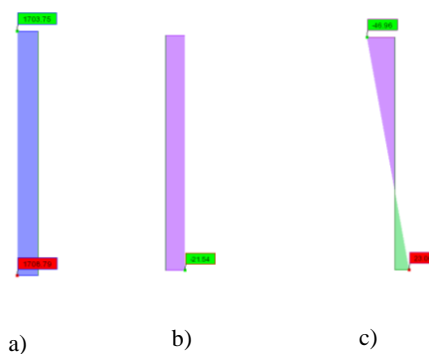


Figura 17 – a) Diagrama de esforço axial na coluna 1106; b) Diagrama de momentos na coluna 1106; c) Diagrama de esforço transverso na coluna 1106.

3.8.2 Classificação das secções

A classificação das secções transversais dos elementos estruturais traduz a forma como a resistência e a capacidade de rotação de uma secção são influenciadas por fenómenos de encurvadura local. Numa secção compacta as zonas comprimidas podem plastificar completamente, no entanto numa secção esbelta isso não acontece, devido à ocorrência de fenómenos de encurvadura local (Simões, 2014).

Em geral, a classe de uma secção é dada pela maior classe (mais desfavorável) dos componentes comprimidos que a constituem, no entanto neste caso tanto o banzo como a alma são de classe 1, para os casos da viga e da coluna.

As secções de classe 1 são as que podem formar uma rótula plástica, com capacidade de rotação superior à mínima exigida para a utilização de métodos plásticos de análise (Simões, 2014).

3.8.3 Resistência da secção transversal

3.8.3.1 Introdução

De forma a verificar a resistência da secção transversal efetuam-se os cálculos das seguintes verificações: Tração, Compressão, Momento fletor, Esforço transversal, Torção, Flexão com esforço transversal, Flexão composta e Flexão composta com esforço transversal. Apenas se apresentam algumas dessas verificações, pois opta-se por selecionar as que suscitaram dúvidas na comparação entre os cálculos efetuados pelo programa de cálculo e a folha de cálculo realizada para o efeito.

3.8.3.2 Compressão

A encurvadura caracteriza-se pela ocorrência de grandes deformações transversais em elementos submetidos a esforços de compressão. Em estruturas metálicas, os fenómenos de instabilidade assumem particular importância, pois a elevada resistência do aço provoca em geral esbeltezas elevadas (Simões, 2014).

No cálculo da resistência à encurvadura, em elementos de secção e esforço axial constantes, calcula-se o comprimento de encurvadura dos elementos em y e em z. No caso

da viga o comprimento de encurvadura considera-se metade do comprimento total desta, pois a estrutura é de nós fixos, e no caso da coluna obtém-se de acordo com o Método de *Wood*.

Os valores da resistência à encurvadura dos elementos apresentam-se na tabela 9.

Tabela 9 - Verificação da compressão da viga 177 e da coluna 1106

	Viga 177	Coluna 1106
$N_{b,Rd,y}$ [kN]	3958.11	4989.37
$N_{b,Rd,z}$ [kN]	2128.87	4373.83

Como o esforço axial (N_{Ed}) é inferior ao valor de cálculo da resistência à encurvadura do elemento ($N_{b,Rd}$), o elemento resiste à compressão. Conclui-se, ainda, que estes valores assemelham-se com os valores obtidos pelo programa de cálculo *Robot*.

3.8.3.3 Torção

A torção é um esforço originado por forças que passam fora do centro de corte das secções transversais de um elemento linear (Simões, 2014).

Quando um elemento é submetido a um momento torsor T , as suas secções transversais rodam em torno do eixo e empenam, deixando de estar contidas num plano pois sofrem deslocamentos longitudinais diferenciais. Quando os apoios não impedem o empenamento e o momento torsor é constante, o elemento diz-se sujeito a torção uniforme ou torção de St. Venant (Simões, 2014).

Para o cálculo do valor da resistência plástica ao esforço transversal, $V_{pl,Rd}$, considerou-se que A_v é a área de corte, correspondendo aproximadamente à área das partes da secção paralelas à direção do esforço transversal, obtendo-se em relação ao eixo z nas tabelas da Arcelor Mittal (Arcelor Mittal, 2014) e em relação ao eixo y admite-se a fórmula correspondente ao caso em que as cargas são paralelas aos banzos, ver tabela 10.

Tabela 10 – Verificação da torção na viga e na coluna.

	Viga 177	Coluna 1106
$V_{y,T,Rd}$ [kN]	2514.12	2514.12
$V_{z,T,Rd}$ [kN]	944.74	944.74
$\frac{\tau_{Ed,y}}{f_y/(\sqrt{3}\gamma_{M0})}$ [-]	0.00	0.00
$\frac{\tau_{Ed,z}}{f_y/(\sqrt{3}\gamma_{M0})}$ [-]	0.00	0.00

Conclui-se que tanto a viga como a coluna verificam em relação à torção e os valores apresentados anteriormente aproximam-se dos valores obtidos no programa de cálculo *Robot*.

3.8.3.4 Flexão composta

Os elementos quando estão sujeitos à flexão composta resultam da combinação da flexão e do esforço axial (Simões, 2014).

Quando algum dos seguintes critérios não é satisfeito, tem de se ter em conta o efeito do esforço normal no cálculo do momento fletor em relação aos dois eixos.

$$N_{Ed} \leq 0.25N_{pl,Rd} \quad (3.7.)$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0.5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.8.)$$

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.9.)$$

Em relação ao eixo z-z, como $n \leq a$ o momento em z, $M_{N,z,Rd}$, não sofre alterações. Assim, apenas o momento em y, $M_{N,y,Rd}$, sofre alterações, ver tabela 11.

Tabela 11 - Verificação da flexão composta na viga 177 e na coluna 1106

	Viga 177	Coluna 1106
$M_{N,y,Rd}$ [kN.m]	616.20	488.41
$M_{N,z,Rd}$ [kN.m]	300.18	295.42
$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right)^\beta$ [-]	0.01	0.00

Deste modo, verifica-se que a estrutura resiste à flexão composta e os valores obtidos para a flexão composta são idênticos aos dados pelo programa de cálculo *Robot*.

3.8.4 Resistência do elemento à encurvadura

3.8.4.1 Introdução

De forma a verificar a resistência do elemento à encurvadura efetuam-se os cálculos das seguintes verificações: Elementos uniformes comprimidos, Elementos uniformes em flexão, Elementos uniformes em flexão composta com compressão e Método geral de verificação da encurvadura por flexão e da encurvadura lateral de componentes estruturais. Apenas se apresentam algumas dessas verificações, pois opta-se por selecionar as que surgiram dúvidas na comparação entre os cálculos efetuados pelo programa de cálculo e a folha de cálculo realizada para o efeito.

3.8.4.2 Elementos uniformes em flexão

O momento crítico em elementos submetidos a flexão em torno do eixo de maior inércia, compostos por secções transversais duplamente simétricas com simetria em relação ao eixo de menor inércia (eixo z) pode também ser estimado através da equação (3.10) (Simões, 2014).

$$M_{CR} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right] \quad (3.10.)$$

Em que o valor de C_1 e C_2 foi obtido a partir do documento (TC8, 2006), pois o valor de k_z é diferente de 1 e as tabelas desenvolvidas por (Gálea, 2002) apenas se aplicam quando k_z é igual a 1, ver tabela 12.

Tabela 12 – Comparação do valor do momento crítico obtido com dois programas diferentes.

Coluna 1106		
	Robot	Elefir-EN
C_1 [-]	2.69	2.36
C_2 [-]	0.00	0.00
M_{CR} [kN.m]	7662.71	7610.17

Para o cálculo do momento crítico opta-se por comparar os valores obtidos através de: programa de cálculo *Robot*, *Elefir-EN* (Franssen & Vila Real, 2015b) e folha de cálculo realizada para o efeito.

O programa de cálculo *Robot* utiliza um comprimento de encurvadura igual ao comprimento da coluna (3.25 m), no entanto o *Elefir-EN* (Franssen & Vila Real, 2015b) utiliza um comprimento de encurvadura de 2.86 m, o que parece mais adequado para este caso.

O valor do coeficiente C_1 obtido pelos dois programas é bastante distinto, no entanto considera-se que o valor dado pelo *Robot Structural Analysis* não é correto, pois este valor deverá ser sempre inferior a 2.6, de acordo com as tabelas do documento documento (TC8, 2006).

No cálculo do valor de χ_{LT} considera-se a curva de encurvadura lateral “a” e o fator de correção de χ_{LT} , f , este depende do diagrama de momentos associado ao elemento.

No dimensionamento da viga observa-se que está travada por uma laje, por isso $\chi_{LT} = 1$. Portanto não faz sentido fazer os outros cálculos correspondentes à resistência à encurvadura para a viga.

Assim verifica-se que o valor do momento fletor atuante é de 644.81 kN.m, logo inferior ao valor do momento fletor resistente à encurvadura lateral, assim o perfil é resistente à encurvadura lateral.

3.8.4.3 Elementos uniformes em flexão composta com compressão

A verificação da segurança em relação à encurvadura por flexão composta com compressão, num elemento com secção transversal duplamente simétrica, é efetuada através das seguintes condições (Simões da Silva & Gervásio, 2007):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0 \quad (3.11.)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0 \quad (3.12.)$$

Como a secção é de classe 1, os valores de $\Delta M_{y,Ed}$ e $\Delta M_{z,Ed}$ consideram-se nulos.

Na NP EN 1993-1-1 (CEN, 2010c) são apresentados dois métodos para o cálculo dos fatores de interação k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} e k_{zz} : o Método 1, o desenvolvido por um grupo de investigadores Franco-Belga e o Método 2, desenvolvido por um grupo de investigadores Austro-Alemão; o Anexo Nacional Português permite a utilização de ambos os métodos (Simões da Silva & Gervásio, 2007).

O programa de cálculo *Robot* utiliza o método 1 no cálculo dos fatores de interação k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} e k_{zz} , no entanto procede-se a uma comparação desses valores com os valores obtidos pelo método 2.

Em elementos não suscetíveis de sofrer deformações de torção, como o caso da viga em análise, assume-se que não existe possibilidade de ocorrer encurvadura lateral, sendo a estabilidade do elemento assegurada pela verificação da encurvadura por flexão em torno de y e em torno de z. Este procedimento consiste em considerar $\chi_{LT} = 1.0$ e calculando os coeficientes de interação k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} e k_{zz} para a situação de elementos não suscetíveis de sofrer deformações de torção (Simões da Silva & Gervásio, 2007).

Na tabela 13 procede-se a uma comparação dos valores obtidos pelos dois métodos.

Tabela 13 – Fatores de interação k_{ij} calculados a partir do Método 1 referentes à viga 177 e ao coluna 1106

	Viga 177		Coluna 1106	
	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2
k_{yy}	0.98	0.44	0.65	0.42
k_{yz}	0.67	0.92	0.37	0.27
k_{zy}	0.52	0.27	0.34	0.25
k_{zz}	0.83	1.53	0.57	0.46
(3.14)	0.27	0.24	0.33	0.33
(3.15)	0.41	0.40	0.38	0.39

Verifica-se que os dois métodos dão valores bastante distintos, no entanto independentemente do método que se utiliza verifica-se a segurança em relação à encurvadura por flexão composta com compressão.

3.9 Ligações aparafusadas

3.9.1 Introdução

A conceção das ligações no projeto de estruturas metálicas é um dos fatores determinantes para a economia e rapidez de execução da obra. O dimensionamento de ligações exige bastante experiência na pormenorização com vista a atingir uma ligação com bom funcionamento, simples de executar e económica (Simões & Santiago, 2003).

Atualmente as ligações metálicas podem ser económicas de fabricar e montar, com um nível de segurança devidamente avaliado e podem ser utilizadas em estruturas que se pretendam que sejam esteticamente agradáveis, assim como em utilizações mais vulgares.

Com a criação da NP EN 1993-1-8 (CEN, 2010e) o dimensionamento de ligações metálicas deixou de se basear apenas em verificações da capacidade resistente e passou a avaliar também o seu comportamento real, ou seja, a rigidez e capacidade de rotação de

ligações aparafusadas e soldadas. A NP EN 1993-1-8 (CEN, 2010e) considerou estes desenvolvimentos e abarca uma abordagem ao cálculo da rigidez, resistência e capacidade de rotação para uma gama alargada de ligações aparafusadas e soldadas. A metodologia apresentada na NP EN 1993-1-8 (CEN, 2010e) é designada por método das componentes e fundamenta-se no comportamento individual de cada uma das componentes, para descrever o comportamento global momento-rotação da ligação (Simões & Santiago, 2003).

O cálculo das ligações aparafusadas é realizado de acordo com a NP EN 1993-1-8 (CEN, 2010e) e o livro *Design of Joints in Steel and Composite Structures* (Jaspart & Weynand, 2016).

Os resultados obtidos pelo programa de cálculo *Robot* não são de fácil comparação com os valores da folha de cálculo elaborada para o efeito, devido a não fornecer todos os cálculos intermédios.

De modo a facilitar o estudo e comparação dos valores decide-se optar por recorrer a dois tipos de ligações, uma ligação aparafusada viga-viga e uma ligação aparafusada coluna-viga. Estas ligações são escolhidas em zonas em que os esforços nos elementos eram máximos, de forma a verificar os casos mais desfavoráveis.

3.9.2 Comportamento de um parafuso

A resistência última de uma ligação aparafusada é calculada assumindo simplificações na redistribuição das forças internas, testadas experimentalmente. Para as distintas distribuições de forças possíveis ao longo de uma ligação, os parafusos podem ser solicitados como, ver figura 18:

- i. Parafuso ao corte – O movimento das placas de ligação é limitado basicamente pelo núcleo do parafuso;
- ii. Parafusos de alta resistência em ligações pré-esforçadas resistentes ao escorregamento – As placas são comprimidos entre si devido às forças de aperto dos parafusos, resistindo por atrito;
- iii. Parafusos tracionados (Simões & Santiago, 2003).

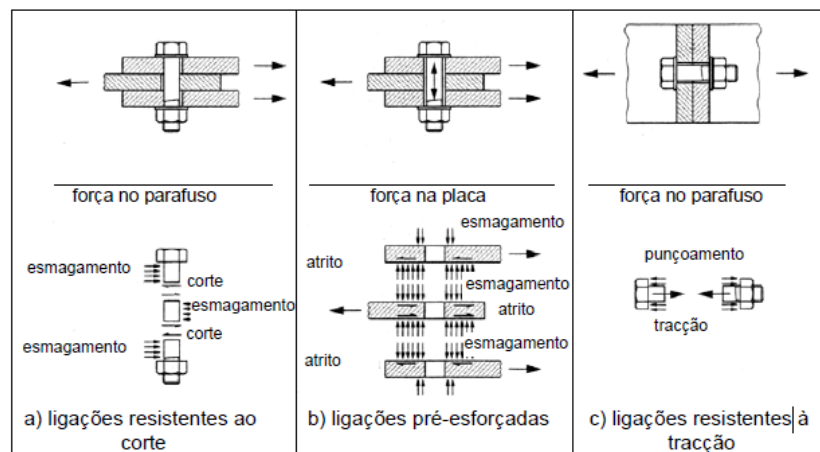


Figura 18 - Distribuição de forças em ligações aparafusadas sujeitas ao corte e em ligação aparafusadas pré-esforçadas (Simões & Santiago, 2003).

As forças internas (corte, esmagamento e tracção) podem ser transmitidas por corte/esmagamento em ligações aparafusadas correntes e por atrito entre as placas em ligações pré-esforçadas (Simões & Santiago, 2003).

Os parafusos respeitam as normas EN 1090-2 (CEN, 2011) e EN 14399-1 (CEN, 2005) e as designações utilizadas encontram-se na figura 19.

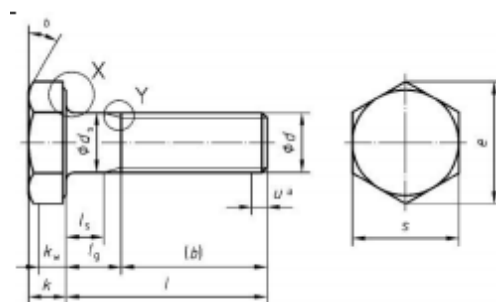


Figura 19 - Parafuso de cabeça hexagonal (SBE, 2015).

De seguida apresenta-se uma tabela com a geometria dos parafusos utilizados.

Tabela 14 - Geometria dos parafusos utilizados no cálculo.

Diâmetro nominal do parafuso	20	24	27
do [mm]	22.00	26.00	30.00
S [mm]	30.00	36.00	41.00
As [mm²]	245.00	353.00	459.00
k [mm]	12.50	15.00	17.00
A [mm²]	314.16	452.39	572.56

3.9.3 Ligação viga – viga

3.9.3.1 Introdução

A ligação aparafusada viga – viga localiza-se num local onde o momento é aproximadamente 0, de modo a poder ignorar os momentos na verificação da ligação. Assim, considera-se que os parafusos da ligação são todos ativos e resistentes aos esforços.

A ligação em análise corresponde ao local onde os esforços são máximos. Os diagramas encontram-se na figura 20, sendo correspondentes à ação mais desfavorável:

$$1.35G_k + 1.35RCP + 1.5T^+ + 0.9W_x \quad (3.13.)$$



Figura 20 – a) Diagrama de Esforço Axial nas vigas a ligar; b) Diagrama de Momentos nas vigas a ligar.

A ligação aparafusada viga-viga é composta por duas chapas com dimensões 400x300 mm e com 6 parafusos M27. A ligação considera-se pré-esforçada. A figura 21 apresenta o esquema da ligação aparafusada.

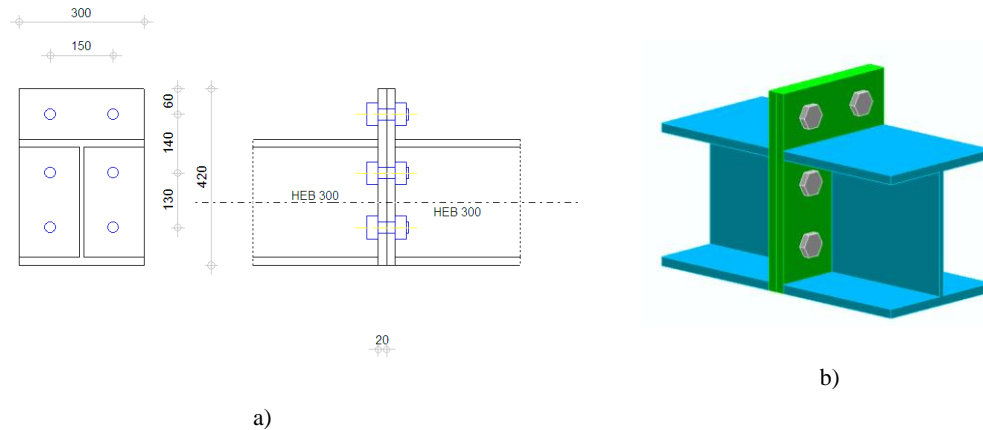


Figura 21 – a) Esquema da ligação aparafusada viga-viga; b) Esquema 3D da ligação aparafusada viga-viga.

As verificações efetuadas para a ligação aparafusada viga-viga são as seguintes:

- i. Resistência da chapa de extremidade à flexão;
- ii. Resistência da alma e do banzo da viga à compressão;
- iii. Resistência da alma da viga à tração;
- iv. Resistência efetiva da linha de parafusos;
- v. Momento resistente;
- vi. Resistência à rotura do bloco;
- vii. Resistência ao escorregamento
- viii. Resistência individual dos parafusos solicitados ao corte e à tração.

3.9.3.2 Resistência da chapa de extremidade à flexão

O valor de cálculo da resistência e o modo de rotura de uma chapa de extremidade sujeita à flexão, juntamente com os parafusos tracionados a ela associados, deverão ser considerados semelhantes aos do banzo de uma peça em T equivalente para:

- i. Cada linha isolada de parafusos resistentes à tração;
- ii. Cada grupo de linhas de parafusos resistentes à tração (CEN, 2010e).

Os grupos de linhas de parafusos situados em cada um dos lados do reforço ligado à chapa de extremidade deverão ser estudados como peças em T equivalentes separadas. Nas

chapas de extremidade salientes, a fiada de parafusos na parte saliente deverá também ser analisada como peça em T equivalente distinta. O valor de cálculo da resistência e o modo de rotura deverão ser determinados isoladamente para cada peça em T equivalente, ver figura 20 (CEN, 2010e).

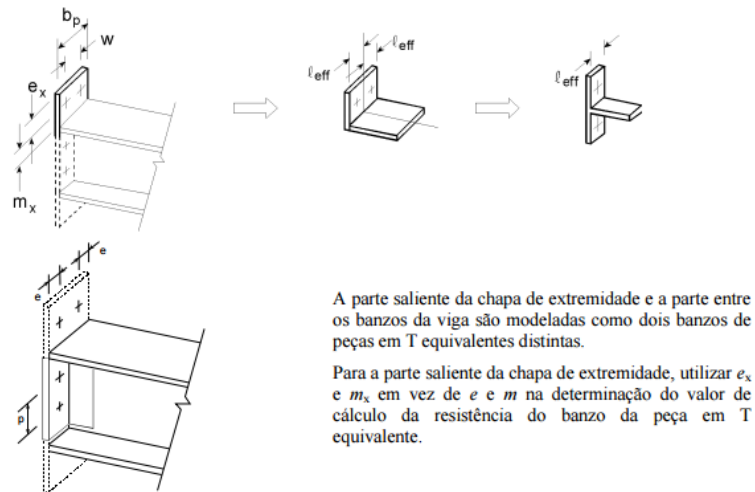


Figura 22 – Modelação de uma chapa de extremidade saliente sob a forma de peças em T separadas (CEN, 2010e).

A resistência à tração da chapa apresenta-se na tabela 15.

Tabela 15 - Resistência à tração da chapa.

Resistência à tração	$F_{T,1,Rd}$	$F_{T,2,Rd}$	$F_{T,3,Rd}$	$F_{T,Rd}$
Linha 1 [kN]	506.61	402.10	528.77	402.10
Linha 2 [kN]	1336.88	592.99	528.77	528.77
Linha 3 [kN]	1179.13	556.72	528.77	528.77
Combinação linhas 2 e 3 [kN]	1025.78	236.41	1057.54	236.41

O programa de cálculo *Robot* não faz o cálculo deste parâmetro.

3.9.3.3 Resistência da alma e do banzo da viga à compressão

A resultante dos valores de cálculo das resistências à compressão do banzo de uma viga e da zona comprimida adjacente da alma atua ao nível do centro de compressão. (CEN,

2010e) O valor de cálculo da resistência à compressão do banzo e da alma da viga é apresentado na tabela 16.

Tabela 16 - Valor da resistência à compressão do banzo e da alma da viga.

	Excel	Robot
$F_{c,fb,Rd}$ [kN]	2294.43	2360.94

A partir da tabela 16 conclui-se que o valor da resistência a compressão aproxima-se pelos dois métodos de cálculo.

3.9.3.4 Resistência da alma da viga à tração

Numa ligação aparafusada com chapa de extremidade, o valor de cálculo da resistência à tração da alma da viga apresenta-se na tabela 17.

Tabela 17 – Comparação dos valores obtidos no Robot e na folha de cálculo da resistência à tração da alma da viga.

Parâmetros	$F_{t,wb,Rd}$
Linha 2 [kN]	1502.17
Linha 3 [kN]	1324.92
Combinação das linhas 2 e 3 [kN]	909.14

Neste caso o *Robot* não calcula a resistência à tração da alma da viga.

3.9.3.5 Resistência efetiva da linha de parafusos

As cargas que cada linha de parafusos suporta apresentam-se na Tabela 16. As cargas das linhas de parafusos 1 e 2 resultam do valor da resistência mínima calculada nos pontos anteriores. No caso da linha de parafusos 3 calculou-se $F_{3,min,red}$, que corresponde ao valor da resistência da combinação das linhas 2 e 3 subtraído pelas resistência mínimas $F_{2,min}$. No

entanto, foi necessário verificar se o valor da soma das resistências das linhas de parafusos era superior à resistência global da ligação (F_{global}) (SCI/BCSA, 2013):

$$F_{global} = \min(V_{wp,Rd}; F_{c,wc,Rd}; F_{c,fb,Rd}) \quad (3.14.)$$

Como o valor da resistência global da ligação era inferior à soma das resistências das linha de parafusos, o valor da resistência da linha de parafusos 3 ($F_{3,min}$) resultou de:

$$F_{3,min} = F_{global} - (F_{1,min} + F_{2,min}) \quad (3.15.)$$

Assim resultou os seguintes valores da resistência das linhas de parafusos, verificar tabela 18:

Tabela 18 – Cargas que podem ser suportadas pelas linhas dos parafusos.

Parâmetros	Cargas
$F_{1,min}$ [kN]	402.10
$F_{2,min}$ [kN]	528.77
$F_{3,min}$ [kN]	528.77

A Norma do Reino Unido indica que uma distribuição plástica pode ser assumida (isto é, se houver suficiente ductilidade) quando uma destas condições é satisfeita (SCI/BCSA, 2013):

$$F_{tx,Rd} \leq 1.9F_{t,Rd} \quad (3.16.)$$

$$t_p \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_u}{f_y}} \quad (3.17.)$$

Como a Norma Portuguesa não diz nada em contrário decidiu-se usá-las. No entanto, no programa de cálculo *Robot*, teve de se escolher que tipo de análise se pretendia, escolhe-se uma análise elástica.

Neste caso, como nenhuma das condições era satisfeita, opta-se por limitar a resistência da linha de parafusos a $F_{tx,Rd}$, obtem-se deste modo uma nova resistência para a linha de parafusos conforme demonstra a tabela seguinte.

Tabela 19 – Cargas que podem ser suportadas pelas linhas dos parafusos atualizadas.

Parâmetros	Cargas
$F_{1,min}$ [kN]	402.10
$F_{2,min}$ [kN]	502.33
$F_{3,min}$ [kN]	502.33

3.9.3.6 Equilíbrio de forças

As forças de tração nas linhas dos parafusos e a força de compressão ao nível do banzo inferior devem estar em equilíbrio com qualquer força axial na viga. As forças não devem exceder a resistência à compressão da ligação, ou, quando aplicável, a resistência ao corte da alma do perfil. Isto é, de acordo com a seguinte expressão (SCI/BCSA, 2013):

$$\sum F_{ri} + N_{Ed} \leq F_{c,Rd} \quad (3.18.)$$

Quando a soma das resistências efetivas da tensão do projeto $\sum F_{ri,Rd}$ excedem $F_{c,Rd} - N_{Ed}$, deve ser determinado uma nova atribuição de forças ao parafuso de modo a satisfazer o equilíbrio (Jaspart & Weynand, 2016).

Para alcançar um jogo de forças na linha do parafuso que está em equilíbrio, as resistências efetivas da tensão devem ser reduzidas, começando com a linha de fundo e assim sucessivamente até que o equilíbrio seja atingido.

Essa distribuição de forças corresponde ao valor máximo de momento resistente que pode ser executado. Se a resistência à compressão supera a mínima, isto é, o valor de $\sum F_{ri,Rd}$ é inferior a $F_{c,Rd} - N_{Ed}$, não é necessário reduzir, sendo aplicável para a ligação em estudo (Jaspart & Weynand, 2016).

3.9.3.7 Momento resistente

Após a determinação das forças nas filas dos parafusos, a resistência do momento da ligação é determinada por:

$$M_{c,Rd} = \sum F_{ri,Rd} h_i \quad (3.19.)$$

Na figura 23 apresentam-se as forças resultantes nas filas de parafusos com o correspondente braço de modo a determinar o momento resistente.

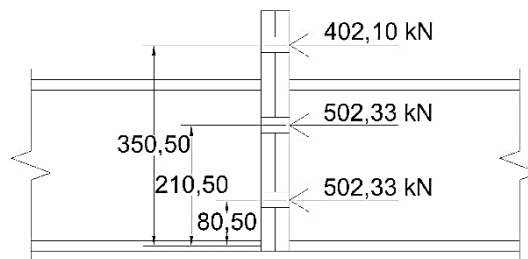


Figura 23 - Forças resultantes nas filas de parafusos na ligação aparafusada viga – viga.

Assim obtém-se um momento resistente de 287.12 kN.m, verificando-se que o programa de cálculo *Robot* não calcula este parâmetro.

3.9.3.8 Momento efetivo aplicado na presença de força axial

No ponto anterior determinou-se um momento resistente sobre o centro de compressão, pela qual qualquer força axial é efetivamente transferida. Porém, quando existe esforço axial, o eixo da força localiza-se no centro da viga. O momento efetivo aplicado sobre o centro de viga é então determinado modificando o momento aplicado, subtraindo o produto da força axial e o braço da alavanca, ver figura 24 (SCI/BCSA, 2013).

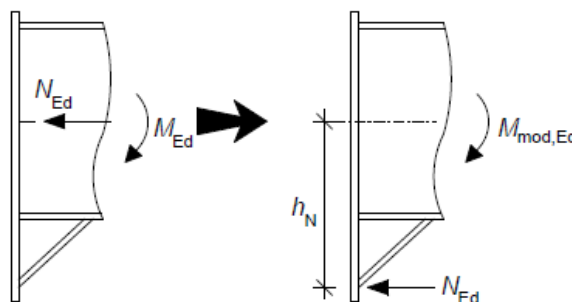


Figura 24 - Modificação do momento de projeto pela força axial (SCI/BCSA, 2013).

O momento de projeto modificado é resultante da seguinte expressão:

$$M_{\text{mod,Ed}} = M_{\text{Ed}} - N_{\text{Ed}} \times h_{\text{N}} \quad (3.20.)$$

O valor do momento de projeto modificado é de 110.00 kN.m, sendo que o programa de cálculo *Robot* não realiza este cálculo. No entanto este cálculo origina a uma diminuição significativa do momento resistente.

3.9.3.9 Resistência à rotura do bloco

O destacamento do bloco é uma rotura por corte na linha de parafusos localizada na secção solicitada ao corte do grupo de furos, acompanhada da rotura por tração ao longo da linha de furos situada na superfície tracionada da periferia do grupo de parafusos (CEN, 2010e). A figura 25 exemplifica o destacamento do bloco para o caso em estudo.



Figura 25 – a) Modo de rotura 1; b) Modo de rotura 2.

Para um grupo de parafusos simétricos submetido a um carregamento centrado, o valor de cálculo da resistência ao destacamento do bloco, $V_{\text{eff,1,Rd}}$, é obtido por:

$$V_{\text{eff,1,Rd}} = \frac{f_u A_{\text{nt}}}{\gamma_{\text{M2}}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) f_y A_{\text{nv}}}{\gamma_{\text{M0}}} \quad (3.21.)$$

3.9.3.10 Resistência individual dos parafusos solicitados ao corte e à tração

De seguida faz-se uma apresentação dos valores da resistência individual dos parafusos solicitados ao corte e à tração para a ligação em estudo, verificar na tabela 20.

Tabela 20 - Valor de cálculo da resistência individual de peças da ligação solicitadas ao corte e/ou à tração

	Excel	Robot
$F_{v,Ed}$ [kN]	15.19	15.19
$F_{v,Rd}$ [kN]	135.55	219.86
$F_{b,Rd}$ [kN]	174.21	338.40
$F_{t,Ed}$ [kN]	82.84	82.84
$F_{t,Rd}$ [kN]	203.33	264.38
$B_{p,Rd}$ [kN]	662.93	-
$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}}$ [-]	0.40	-
$V_{eff,1,Rd}$ [kN]	2031.70	-

O *Robot Structural Analysis* não calcula a resistência à rotura do bloco, no entanto calcula os restantes parâmetros. Conclui-se que os parafusos resistem ao corte e à tração.

3.9.4 Ligação coluna – viga

3.9.4.1 Introdução

A ligação aparafusada coluna – viga em análise corresponde ao local onde os esforços eram máximos.

A figura 26 refere-se aos diagramas resultantes das vigas a unir, apresentando valores nas extremidades e no local da ligação aparafusada, para o caso a combinação mais desfavorável, sendo:

$$1.35G_k + 1.35RCP + 1.5T^+ + 0.9W_y \quad (3.22.)$$

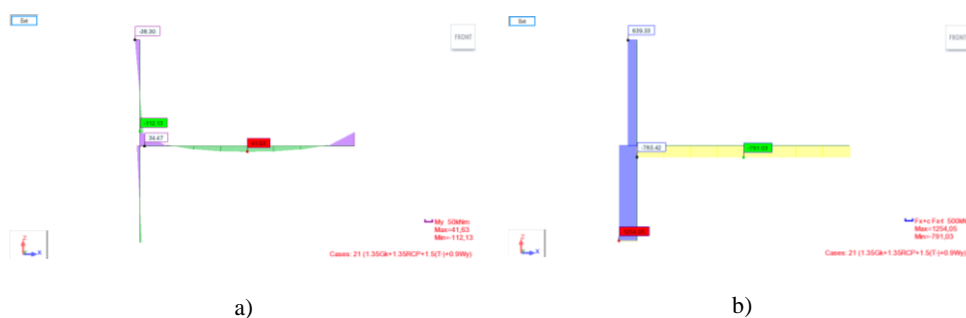


Figura 26 – a) Diagrama de Momentos na viga e na coluna a ligar; b) Diagrama de Esforço Axial na viga e na coluna a ligar.

A ligação aparafusada coluna – viga é composta por uma chapa com dimensão 400x260 mm e por 6 parafusos M24, como demonstra a figura 27. A ligação considera-se pré-esforçada.

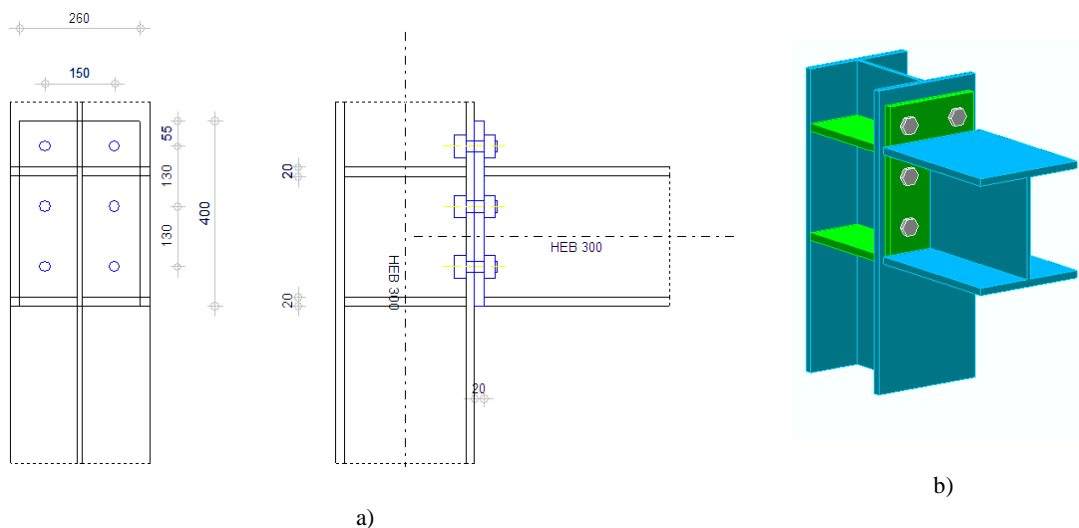


Figura 27 – a) Esquema da ligação aparafusada coluna-viga; b) Esquema 3D da ligação aparafusada coluna-viga.

As verificações efetuadas para a ligação aparafusada coluna – viga foram as seguintes:

- i. Resistência do painel da alma da coluna solicitado ao corte;
- ii. Resistência da alma da coluna sujeita a compressão transversal;
- iii. Resistência do banzo da coluna à flexão;
- iv. Resistência da chapa de extremidade à flexão;
- v. Resistência da alma da coluna à tração;
- vi. Resistência da alma e do banzo da viga à compressão;
- vii. Resistência da alma da viga à tração;
- viii. Resistência efetiva da linha de parafusos;

- ix. Momento resistente;
- x. Resistência à rotura do bloco;
- xi. Resistência ao escorregamento;
- xii. Resistência individual dos parafusos solicitados ao corte e à tração.

No entanto, apenas se apresentam as verificações mais relevantes para este caso.

A contribuição do parafuso da linha 3 para a resistência em flexão é limitado devido à sua posição, perto do centro de compressão. Neste caso, o parafuso da linha 3 pode assumir-se que contribuiu com toda a sua resistência ao corte para a resistência ao corte da ligação. No entanto, decide-se que o parafuso da linha 3 encontra-se na zona de tensão e daí a sua contribuição para o momento resistente pode ser tida em conta.

3.9.4.2 Resistência da alma da coluna sujeita a compressão transversal

A largura efetiva da alma comprimida da coluna obtem-se de acordo com a fórmula correspondente a uma ligação aparafusada com chapa de extremidade.

Na maioria dos casos, a tensão longitudinal na alma da coluna é $\sigma_{com,Ed} \leq 0.7f_{y,wc}$, então admite-se $k_{wc} = 1.0$. No caso de uma ligação apenas de um lado, ver figura 28, o parâmetro de transformação, β , adota-se igual a 1.0.

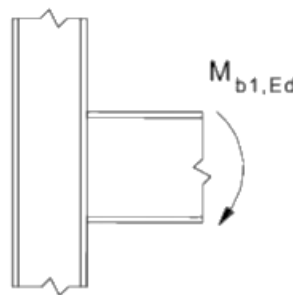


Figura 28 - Tipo de configuração da junta (CEN, 2010e).

O valor de cálculo da resistência da alma de uma coluna solicitada a uma compressão transversal é de 793.30 kN.

3.9.4.3 Resistência do banzo da coluna à flexão

Na coluna utilizaram-se reforços transversais para aumentar o valor de cálculo da resistência à flexão do banzo desta.

Os grupos de linhas de parafusos em cada um dos lados do reforço modelam-se como banzos de peças em T equivalentes iguais. O valor de cálculo e da resistência e o modo de rotura determinam-se separadamente para cada peça em T equivalente (CEN, 2010e).

Admite-se que os eventuais modos de rotura do banzo de uma peça em T equivalente são semelhantes aos previstos para o componente básico que ele representa.

O comprimento total efetivo, $\sum l_{eff}$, de uma peça em T equivalente, ver figura 29, considera-se de forma a que o valor de cálculo da resistência do banzo seja equivalente ao do componente básico da junta que ele representa (CEN, 2010e).

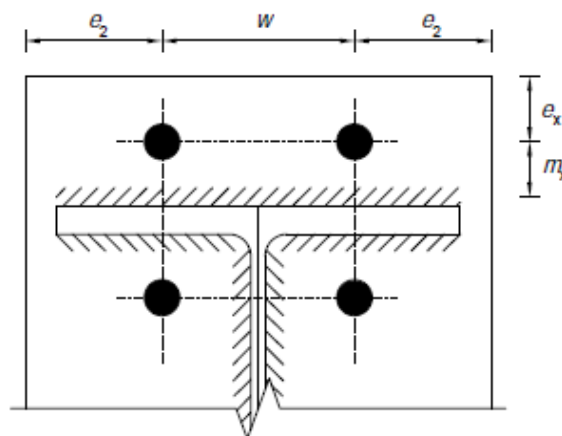


Figura 29 - Representação dos parâmetros geométricos (SCI/BCSA, 2013).

O cálculo dos comprimentos efetivos correspondentes a diferentes linhas de parafusos tem em conta os seguintes casos, ver figura 30:

- i. Linhas individuais de parafusos;
- ii. Grupo dos parafusos das linhas 2 e 3.

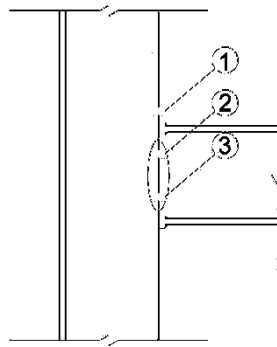


Figura 30 –Grupo de parafusos das linhas 2 e 3.

A resistência de uma peça em T equivalente é calculada com base em 3 possíveis modos de rotura, de acordo com a tabela 21:

Tabela 21 - Modos de rotura de uma peça em T equivalente (SCI/BCSA, 2011).

Modo 1	Modo 2	Modo 3
Cedência completa do banzo	Rotura do parafuso com cedência do banzo	Rotura dos parafusos
Chapas esbeltas / parafusos fortes		Chapas espessas / parafusos pouco resistentes

Como poderão desenvolver-se forças de alavanca o valor de cálculo da resistência à tração do banzo de uma peça em T, $F_{T,Rd}$, considera-se igual ao menor dos valores correspondentes aos três modos de rotura 1, 2 e 3 (CEN, 2010e).

Os valores obtidos para a resistência à tração do banzo da coluna discriminam-se na tabela 22:

Tabela 22 - Resistência à tração do banzo da coluna.

Resistência à tração	$F_{T,1,Rd}$	$F_{T,2,Rd}$	$F_{T,3,Rd}$	$F_{T,Rd}$	$F_{T,Rd}$ Robot
Linha 1 [kN]	741.94	390.80	406.66	390.80	366.60
Linha 2 [kN]	822.09	408.61	406.66	406.66	406.66
Linha 3 [kN]	822.09	408.61	406.66	406.66	305.38
Combinação das linhas 2 e 3 [kN]	1196.62	717.76	813.31	717.76	-

Observa-se que há uma discrepância entre os valores obtidos em relação ao programa de cálculo *Robot*, isto deve-se, novamente, ao diferente método de cálculo das ligações.

3.9.4.4 Resistência da chapa de extremidade à flexão

O valor de cálculo da resistência e o modo de rotura de uma chapa de extremidade solicitada à flexão calculou-se conforme o descrito no ponto 3.9.2.2. e o valor da resistência à tração da chapa apresenta-se na tabela 23.

Tabela 23 - Resistência à tração da chapa.

Resistência à tração	$F_{T,1,Rd}$	$F_{T,2,Rd}$	$F_{T,3,Rd}$	$F_{T,Rd}$	$F_{T,Rd}$ Robot
Linha 1 [kN]	267.84	263.85	406.66	263.85	366.60
Linha 2 [kN]	772.80	396.05	406.66	396.05	406.66
Linha 3 [kN]	708.95	379.33	406.66	379.33	305.38
Combinação linhas 2 e 3 [kN]	1068.41	667.17	813.31	667.17	-

Observa-se que há uma diferença entre os valores obtidos em relação ao programa de cálculo *Robot*, isto deve-se aos diferentes métodos de cálculo das ligações e às diferenças nos comprimentos efetivos. Além disso, alguns parâmetros não constam na folha de resultados do programa.

3.9.4.5 Resistência da alma da coluna à tração

A resistência da alma da coluna à tração calcula-se considerando os seguintes casos e apresentam-se na figura 31:

- i. Resistência individual dos parafusos;
- ii. Resistência do grupo dos parafusos das linhas 2 e 3.

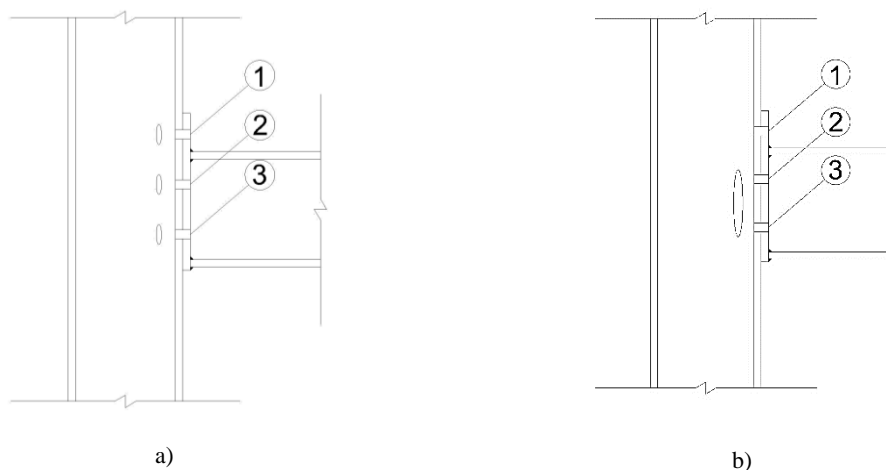


Figura 31: a) Resistência individual dos parafusos; b) Resistência do grupo dos parafusos das linhas 2 e 3.

Assim, obtém-se os seguintes resultados presentes na tabela 24 de acordo as cargas resistentes apresentadas na figura anterior.

Tabela 24 – Resistência da alma da coluna à tração.

Parâmetros	$F_{t,wc,Rd}$
Fila 1 [kN]	864.43
Fila 2 [kN]	864.43
Fila 3 [kN]	864.43
Combinação das filas 2 e 3 [kN]	1061.19

Neste caso, não foi possível uma comparação de valores, dado que o *Robot* não calcula estes parâmetros.

3.9.4.6 Resistência da alma da viga à tração

O cálculo da resistência à tração da alma da viga descreveu-se no ponto 3.9.2.3. e os valores apresentam-se na tabela 25.

Tabela 25 – Comparação dos valores obtidos no Robot e na folha de cálculo da resistência à tração da alma da viga.

Parâmetros	$F_{c,wb,Rd}$	
	Excel	Robot
Fila 2 [kN]	1284.66	1382.98
Fila 3 [kN]	1178.52	1382.98
Combinação das filas 2 e 3 [kN]	2118.66	1654.98

A resistência da alma da viga à tração é calculada pelo *Robot*, no entanto há alguma disparidade entre os valores obtidos por este programa e a folha de cálculo realizada para o efeito.

3.9.4.7 Resistência efetiva da linha de parafusos

O procedimento da verificação da resistência da linha de parafusos é equivalente ao apresentado no ponto 3.9.2.5. As cargas que cada linha de parafusos suporta apresentam-se na tabela 26.

Tabela 26 – Cargas que podem ser suportadas pelas linhas dos parafusos.

Parâmetros	Valores
$F_{1,min}$ [kN]	263.85
$F_{2,min}$ [kN]	396.05
$F_{3,min}$ [kN]	133.40

Neste caso a condição (3.16) não é satisfeita, no entanto a condição (3.17) é satisfeita, assim não é necessário proceder a alterações das resistências das linhas de parafusos.

3.9.4.8 Momento resistente

O cálculo do momento resistente é equivalente ao descrito no ponto 3.9.2.7. Na figura 32 apresentam-se as forças resultantes nas filas de parafusos com o correspondente braço de modo a determinar o momento resistente.

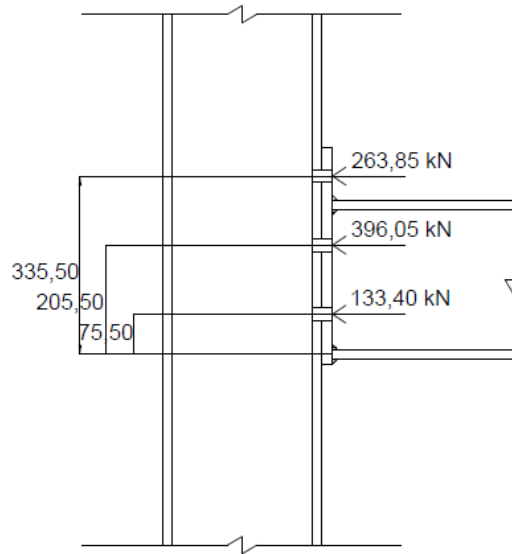


Figura 32 - Forças resultantes nas filas de parafusos na ligação aparafusada coluna – viga.

Assim obteve-se os valores de cálculo do momento resistente para a ligação presentes na tabela 27.

Tabela 27 - Valores de cálculo do momento resistente.

Parâmetro	Ligação aparafusada coluna – viga	
	Excel	Robot
$M_{c,Rd}$ [kN.m]	179.98	207.44

Os valores do momento resistente obtidos pelo programa e pela folha de cálculo são distintos, devido à diferença dos valores das forças resultantes nas filas de parafusos.

3.9.4.9 Momento efetivo aplicado na presença de força axial

O momento efetivo aplicado na presença de força axial calcula-se de acordo com o explicado no ponto 3.9.2.8, sendo que o valor obtido foi de 10.80 kN.m.

O programa de cálculo *Robot* não realiza este cálculo. No entanto este cálculo origina a uma diminuição significativa do momento resistente.

3.9.4.10 Resistência individual dos parafusos solicitados ao corte e à tração

Os valores da resistência individual dos parafusos solicitados ao corte e à tração são apresentados na tabela 28.

Tabela 28 - Valor de cálculo da resistência individual de peças da ligação solicitadas ao corte e/ou à tração

	Excel	Robot
$F_{v,Ed}$ [kN]	6.82	6.82
$F_{v,Rd}$ [kN]	176.26	1733.72
$F_{b,Rd}$ [kN]	474.83	428.64
$F_{t,Ed}$ [kN]	130.48	130.48
$F_{t,Rd}$ [kN]	264.38	203.33
$B_{p,Rd}$ [kN]	828.66	484.78
$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}}$ [-]	0.39	-
$V_{eff,1,Rd}$ [kN]	2613.23	-

O *Robot Structural Analysis* não calcula a resistência à rotura do bloco, no entanto faz a análise dos restantes parâmetros. Conclui-se que os parafusos resistem ao corte e à tração.

3.10 Ligações soldadas

3.10.1 Introdução

A ligação soldada é o tipo de ligação mais utilizada no fabrico em fábrica de estruturas metálicas, devido às seguintes vantagens: rigidez, simplicidade, aspeto estético de ligação e rapidez de execução. As condições de execução da soldadura relacionam-se essencialmente com o local onde é executada a ligação – na fábrica ou em obra. As soldaduras geralmente evitam-se realizar em obra, pois a soldadura acarreta maiores riscos de má execução e maior dificuldade no controlo da qualidade (Reis, 2008).

O cálculo das ligações soldadas é realizado de acordo com a NP EN 1993-1-8 (CEN, 2010e) e o livro *Moment-Resisting Joints to Eurocode 3* (SCI/BCSA, 2013).

A comparação entre os valores obtidos através da folha de cálculo realizada para o efeito e os valores do *Robot* é complexa, pois o procedimento de cálculo é ligeiramente distinto.

De modo a facilitar o estudo e comparação dos valores decide-se optar por calcular apenas uma ligação soldada coluna-viga. Esta ligação é selecionada por pertencer a um local onde os esforços nos elementos eram máximos, de forma a verificar o caso mais desfavorável.

A figura 33 refere-se aos diagramas resultantes da coluna e da viga a unir através da ligação soldada.

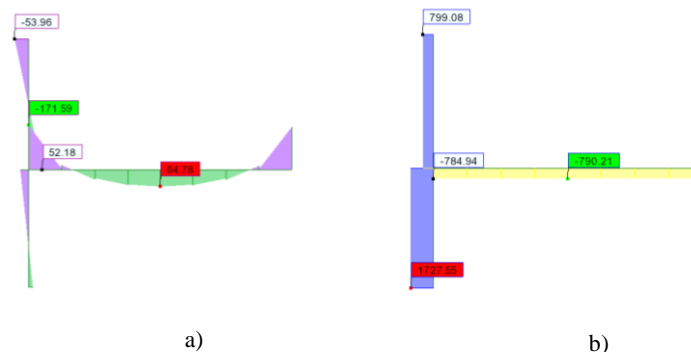


Figura 33 – a) Diagrama de Momentos na viga e na coluna da ligação soldada; b) Diagrama de Esforço Axial na viga e na coluna da ligação soldada.

A ligação soldada coluna-viga é composta por cordão de 8 mm no banzo do perfil e de 5 mm na alma e no reforço do perfil. A figura 34 apresenta o esquema da ligação aparafusada.

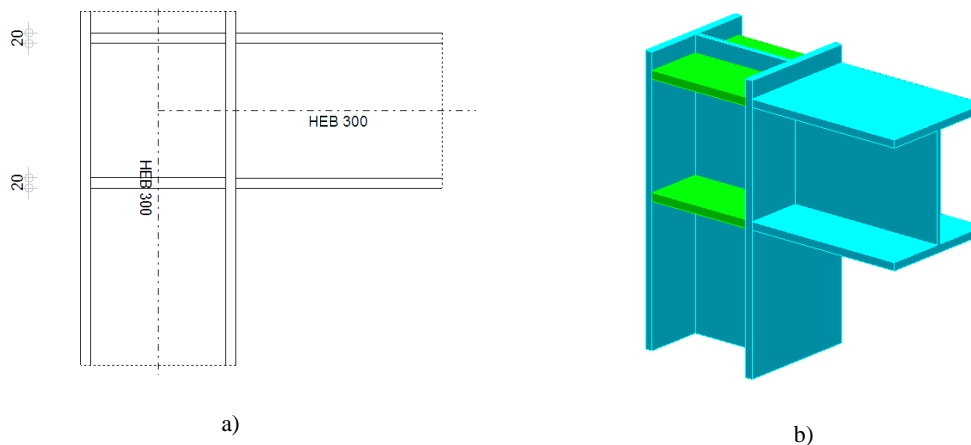


Figura 34 – a) Esquema da ligação soldada coluna-viga; b) Esquema 3D da ligação soldada coluna-viga.

3.10.2 Ligação coluna – viga

3.10.2.1 Distribuição de forças na viga

As forças de projeto no banzo da viga em compressão, $F_{c,Ed}$, de acordo com a figura 33, é dado por:

$$F_{c,Ed} = \frac{M_{Ed}}{(h - t_{fb})} + \frac{N_{Ed}}{2} \quad (3.23.)$$

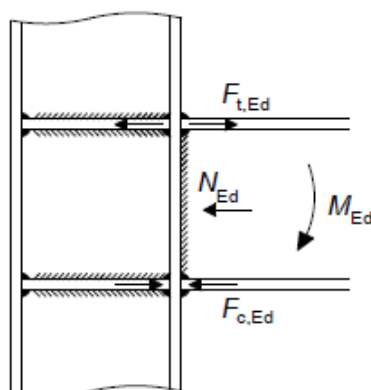


Figura 35 - Distribuição de forças na ligação soldada da viga à coluna (SCI/BCSA, 2013).

As forças de projeto no banzo da viga em compressão apresentam-se na tabela 29.

Tabela 29 - Valor da força na ligação soldada coluna – viga.

Parâmetro	Excel	Robot
$F_{c,Ed}$ [kN]	1084.92	2294.43

O *Robot Structural Analysis* calcula este parâmetro do lado da segurança, ou seja, tem em conta o esforço axial. Como o esforço axial está sempre presente decide-se ter em conta no cálculo deste parâmetro.

3.10.2.2 Resistência na zona de tração – coluna não reforçado

Os reforços de tração na coluna não são necessários se a resistência do banzo da viga e da alma da coluna for adequada, então é necessário respeitar as seguintes condições (SCI/BCSA, 2013):

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,tb,Rd} \quad (3.24.)$$

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,wc,Rd} \quad (3.25.)$$

Resistência do banzo da viga

A resistência do banzo da viga depende da largura efetiva, como demonstra a figura 33.

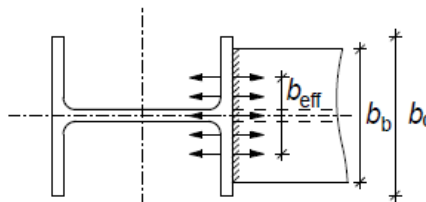


Figura 36 – Largura efetiva do banzo da viga (SCI/BCSA, 2013).

A largura efetiva do banzo da viga ligada a uma coluna sem reforço depende da dispersão das forças entre a alma da coluna e a viga (SCI/BCSA, 2013).

Se a seguinte condição também não for verificada são necessários reforços na coluna:

Andreia Margarida Sousa Santos

$$b_{\text{eff}} \geq \left(\frac{f_y}{f_u} \right) b_b \quad (3.26.)$$

Como a condição não é verificada conclui-se que são necessários reforços na coluna.

A resistência do banzo da viga para um coluna sem reforço é dado por:

$$F_{t,fb,Rd} = \frac{b_{\text{eff}} t_{fb} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.27.)$$

A resistência do banzo da viga à tração é de 924.26 kN. Assim, verifica-se que a resistência do banzo da viga não é suficiente, concluindo-se novamente que são necessários reforços. O programa de cálculo não faz o cálculo deste valor.

Resistência da alma da coluna

A resistência da alma da coluna é realizada de acordo com a figura 37 e apresenta-se o seu valor na tabela 30.

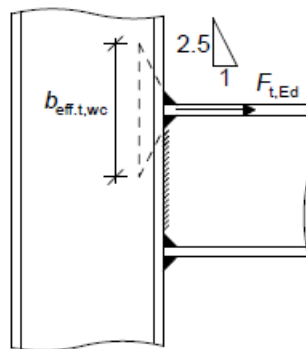


Figura 37 - Comprimento da alma da coluna resistente à tração (SCI/BCSA, 2013).

Tabela 30 – Resistência da alma da coluna e largura efetiva na zona de tração.

Parâmetro	Excel	Robot
$F_{t,wc,Rd}$ [kN]	837.24	3024.93
$F_{c,Ed}$ [kN]	1084.92	2294.43

Verifica-se que a resistência da alma da coluna não é suficiente, concluindo-se que são necessários reforços na alma da coluna. O valor obtido pelo programa de cálculo *Robot* é bastante diferente, pois tem em conta os reforços, no entanto a verificação sem reforços é do lado da segurança.

3.10.2.3 Resistência na zona de compressão

Não serão necessários reforços de compressão na coluna se a resistência da alma da coluna for adequada, ou seja, se a seguinte condição for satisfeita (SCI/BCSA, 2013):

$$F_{c,Ed} \leq F_{c,wc,Rd} \quad (3.28.)$$

A resistência da alma à compressão apresenta-se na tabela 31.

Tabela 31 – Resistência da alma da coluna na zona de compressão.

Parâmetro	Excel	Robot
$F_{c,wc,Rd}$ [kN]	774.37	2939.76
$F_{c,Ed}$ [kN]	1084.92	2294.43

Assim, verifica-se que a resistência da alma da coluna não é suficiente, concluindo-se que são necessários reforços na alma da coluna. O valor obtido pelo programa de cálculo *Robot* é um valor bastante diferente do obtido pela folha de cálculo realizada para o efeito, pois o *Robot* contabiliza os reforços. Por isso verifica-se a resistência na zona de compressão, pois os reforços existem na alma do pilar e são considerados nos cálculos seguintes.

3.10.2.4 Resistência da coluna reforçado

Zona de tração

É necessário verificar a seguinte condição:

$$F_{t,s,Rd} \geq F_{t,s,Ed} \quad (3.29.)$$

Com dois planos de corte, para verificar a resistência da alma da coluna é necessário verificar a seguinte condição e o valor da resistência ao corte da coluna apresenta-se na tabela 32.

$$V_{pl} \geq F_{t,s,Ed} \quad (3.30.)$$

Tabela 32 – Resistência do reforço da alma e resistência ao corte da coluna reforçado.

Parâmetro	Valor
$F_{c,Ed}$ [kN]	1084.92
$F_{t,s,Rd}$ [kN]	2380.50
V_{pl} [kN]	1878.72

A força de projeto pode ser considerada a força no banzo da viga, assim verifica-se que a resistência do reforço da alma da coluna é superior à de projeto, logo os reforços utilizados são suficientes.

De forma a verificar se o comprimento do reforço é suficiente, compara-se o valor da resistência ao corte da coluna reforçado com a força de projeto no banzo da viga, sendo que o primeiro era superior. O *Robot* não verifica o reforço da coluna em relação ao corte.

Zona de compressão

A largura da alma considera-se como fazendo parte da secção e corresponde a $15 \times \varepsilon \times t_{wc}$ para cada lado do reforço.

A relação largura / espessura limita-se de forma a evitar ocorrer encurvadura de torção, no entanto pode ser utilizado o limite da classe 3 quando a compressão no banzo é elevada (SCI/BCSA, 2013).

Como o valor de $\bar{\lambda}$ é inferior a 0.2, podem ignorar-se os efeitos de encurvadura. Assim, apenas a resistência da secção de corte do reforço é considerada.

O programa de cálculo *Robot* não verifica se é necessário ter em conta os efeitos de encurvadura, logo à partida ignora-os.

De seguida, verificou-se a seguinte expressão:

$$F_{c,Ed} \leq N_{c,Rd} \quad (3.31.)$$

A verificação da secção transversal não consta nos cálculos efetuados pelo *Robot Structural Analysis*. O valor da resistência da secção transversal calculada através da folha de cálculo é de 3091.30 kN, ou seja, é superior às forças de projeto, assim o reforço é resistente à compressão.

3.10.2.5 Verificação da soldadura

A ligação soldada é constituída por soldaduras na alma e nos banzos, de acordo com a figura 38.

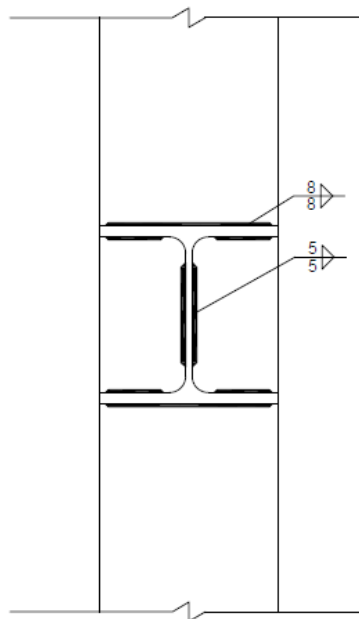


Figura 38 - Ligação soldada coluna – viga.

O método de cálculo utilizado para a verificação da resistência das soldaduras é o método direcional, em que os esforços são decompostos em componentes paralelas e perpendiculares aos cordões de soldadura.

A espessura efetiva do cordão insere-se no programa *Robot Structural Analysis* e admite-se ser metade da espessura do elemento a soldar. O comprimento do cordão é calculado pelo programa de cálculo.

As tensões obtidas para a ligação soldada apresentada apresentam-se na tabela 33.

Tabela 33 - Cálculo da ligação soldada coluna - viga.

Parâmetros	Excel	Robot
$\sigma_{\perp\text{vertical}}$ [MPa]	128.61	176,42
$\sigma_{\perp\text{horizontal}}$ [MPa]	31.38	143,09
$\tau_{//\text{horizontal}}$ [MPa]	22.08	88,42

Os valores das tensões não coincidem, pois o *Robot Structural Analysis* calcula estes parâmetros com base no diagrama de tensões.

No entanto, conclui-se que as espessuras admitidas para os cordões são suficientes para resistir aos esforços presentes na ligação através dos dois métodos de cálculo.

3.11 Chumbadouro

3.11.1 Introdução

Na base de uma coluna podem ocorrer dois tipos de deformabilidades na ligação:

- i. A deformabilidade da ligação entre a coluna e a fundação de betão;
- ii. A deformabilidade da ligação entre a fundação de betão e o solo. (Jaspart e Weynand, 2016)

No caso estudado apenas procede-se à verificação da deformabilidade da ligação entre a coluna e a fundação do betão.

O chumbadouro dimensionado pertence a uma ligação de base de uma coluna metálica constituída por secção transversal do tipo HEB300 soldada a uma chapa de base, essa chapa é unida à fundação através de uma linha de chumbadouros localizada no exterior dos banzos da coluna. O dimensionamento realiza-se de acordo com o Método das Componentes, através da quantificação das propriedades estruturais determinantes para as combinações de ações de projeto mais desfavoráveis relativamente ao esforço axial,

momento fletor e esforço transversal correspondente à ligação em estudo, no sentido de garantir a resistência desta.

O chumbadouro é composto por varões M20 de classe 8.8 com as dimensões representadas na figura 39.

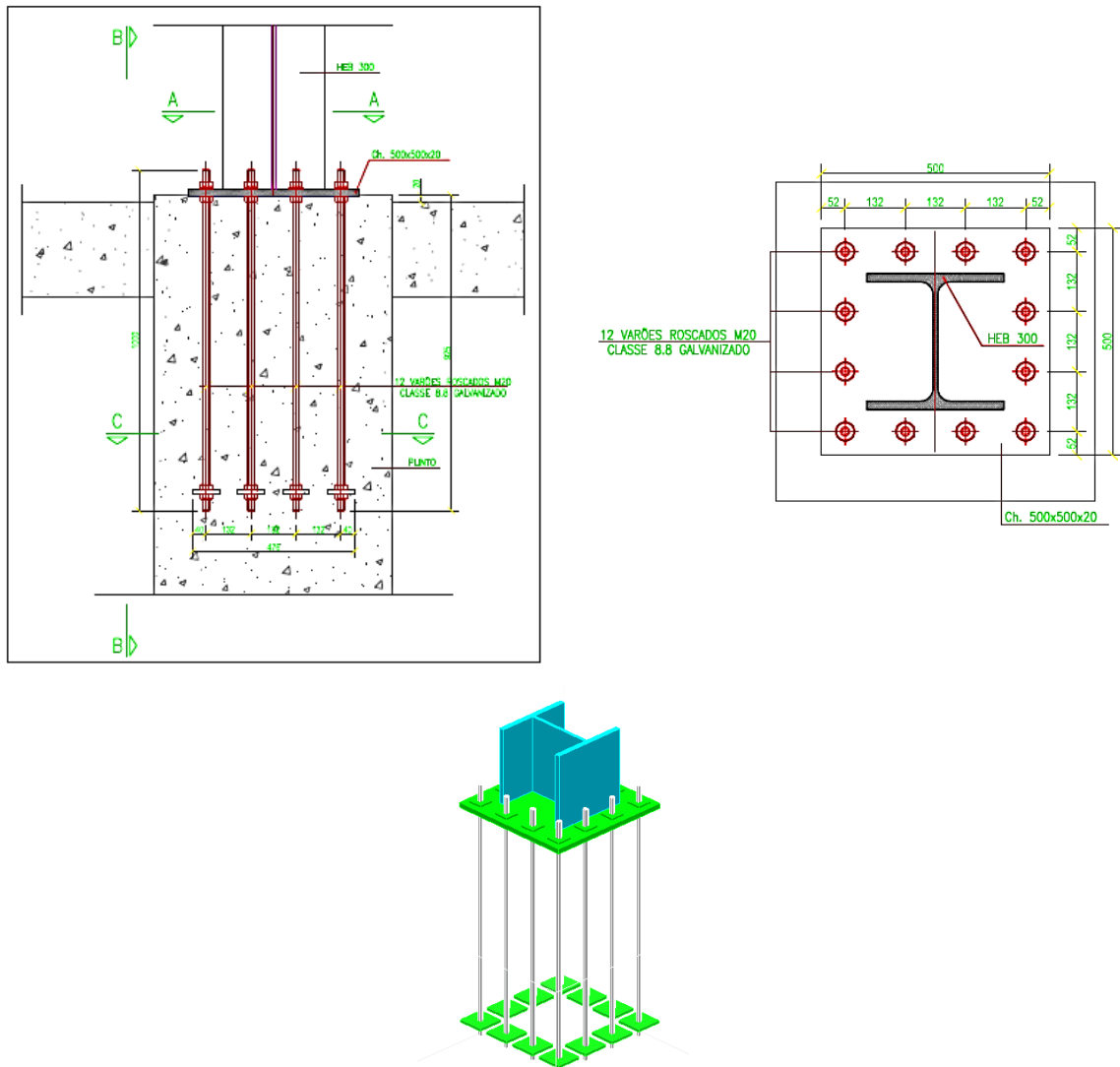


Figura 39 – Esquemas do chumbadouro utilizado.

A sapata em betão armada não é dimensionada, as dimensões e a classe de betão são admitidas de forma a resistirem aos esforços presentes.

As reações na base da coluna para o chumbadouro estudado apresentam-se na figura 40 para o caso de carga mais desfavorável, sendo:

$$1,35G_k + 1,35R_{CP} + 1,5Q_k + 0,9T^+ \quad (3.32.)$$

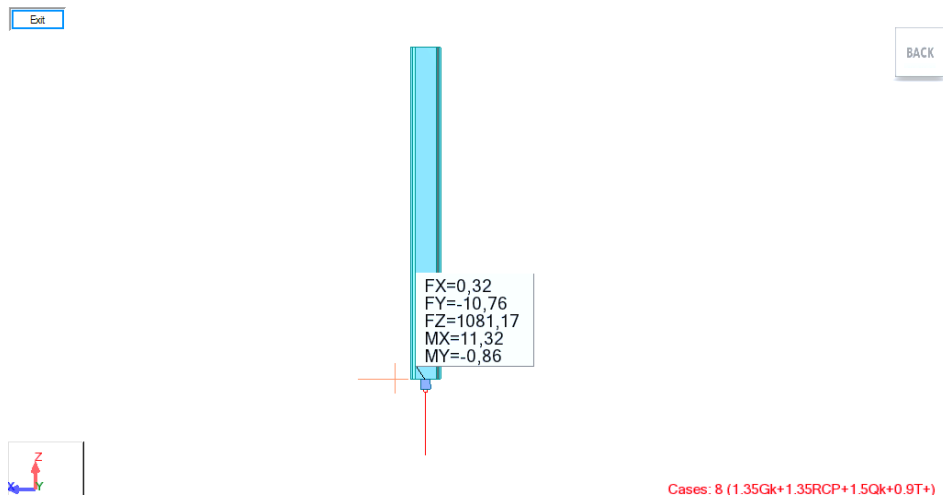


Figura 40 - Reações na base da coluna do chumbadouro.

O cálculo do chumbadouro é realizado de acordo com a NP EN 1993-1-8 (CEN, 2010e) e o livro *Moment-Resisting Joints to Eurocode 3* (SCI/BCSA, 2013).

Apesar de um chumbadouro ser uma ligação aparafusada opta-se por colocar à parte, pois a abordagem é relativamente diferente e é uma ligação ao betão.

3.11.2 Forças de projeto numa peça em T equivalente

A base da coluna tem dimensões, rigidez e resistência suficientes para transmitir os esforços axiais, os momentos fletores e os esforços transversos das colunas às fundações (CEN, 2010e).

O braço do binário que se considera para determinar os esforços de tração introduzidos nos chumbadouros pelos momentos fletores é superior à distância entre o centro de gravidade da área de apoio, na zona comprimida, e o centro de gravidade do grupo de chumbadouros, na zona tracionada (CEN, 2010e), como demonstrado na figura 41.

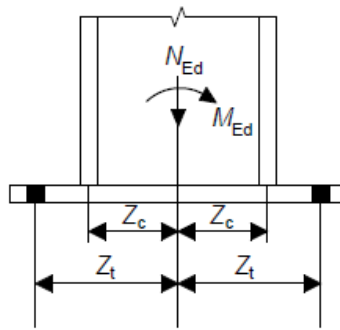


Figura 41 - Posições das reações em relação ao centro de gravidade da coluna (SCI/BCSA, 2013).

As reações de tração são resistidas pelos centros de gravidade dos parafusos a uma distância z_t a partir do centro de gravidade da coluna.

Como observado acima, a NP EN 1993-1-8 (CEN, 2010e) pressupõe que as reações de compressão são geralmente resistidas pelo banzo da coluna, à distância z_c a partir do centro de gravidade da coluna. No entanto, pode ser possível usar uma zona de compressão excêntrica, caso a dimensão z_c seja maior (SCI/BCSA, 2013).

O momento de projeto resistente da chapa base depende das características das duas peças em T equivalente, uma para cada banzo da coluna. A peça em T equivalente está em tração ou compressão dependendo do valor da força axial e do momento fletor.

As forças nos banzos da coluna são determinadas ignorando a força na alma e partindo do princípio de que a compressão na coluna é positiva, sendo o oposto da convenção na NP EN 1993-1-8 (CEN, 2010e), e que o momento fletor é positivo no sentido dos ponteiros do relógio. As forças obtidas apresentam-se na tabela 34 (SCI/BCSA, 2013).

Tabela 34 – Forças de projeto nos banzos das colunas.

Parâmetros	Valor
$N_{L,f,y}$ [kN]	537.56
$N_{L,f,z}$ [kN]	500.30
$N_{R,f,y}$ [kN]	543.61
$N_{R,f,z}$ [kN]	580.87

Neste caso, tanto o lado esquerdo como o lado direito estão à compressão. As resistências das duas peças em T equivalente serão portanto centradas de acordo com a figura 42.

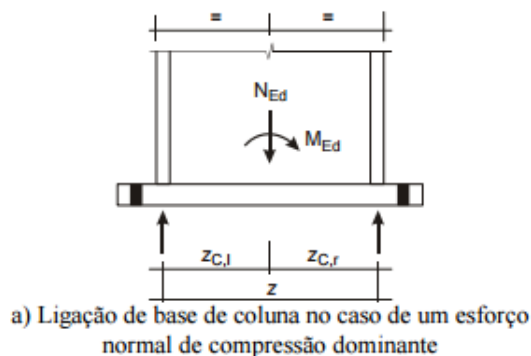


Figura 42 - Determinação do braço binário z para ligações de bases de colunas (CEN, 2010e).

As forças nas duas peças em T equivalente apresentam-se na tabela 35.

Tabela 35 – Forças de projeto nas peças em T equivalente da chapa base.

Parâmetros	Valor
$N_{L,T,y}$ [kN]	538.44
$N_{L,T,z}$ [kN]	542.73
$N_{R,T,y}$ [kN]	512.00
$N_{R,T,z}$ [kN]	512.00

Verifica-se que o chumbadouro está todo em compressão, assim os chumbadouros apenas são necessários para resistir ao esforço transversal e por motivos construtivos.

3.11.3 Peça em T equivalente comprimida

Nas juntas aço-betão, o banzo de uma peça em T equivalente comprimida utiliza-se como modelo para obter os valores de cálculo das resistências, para a combinação dos seguintes componentes básicos:

- i. A chapa de base em aço fletida sob o efeito da pressão na fundação;
- ii. O betão e/ou a argamassa de selagem comprimido (CEN, 2010e).

O comprimento total efetivo, l_{eff} , e a largura total efetiva, b_{eff} , de uma peça em T equivalente deverão ser tais que o valor de cálculo da resistência à compressão da peça em T seja igual ao do componente básico da junta que ela representa.

Admite-se que as forças transferidas através de uma peça em T equivalente distribuem-se uniformemente, tal como representado na figura 43. A pressão na superfície de apoio não pode exceder o valor de cálculo da resistência à compressão localizada, f_{jd} , e a largura de apoio adicional, c , não deverá exceder (CEN, 2010e):

$$c = t \left(\frac{f_y}{3f_{jd}\gamma_{M0}} \right)^{0.5} \quad (3.33.)$$

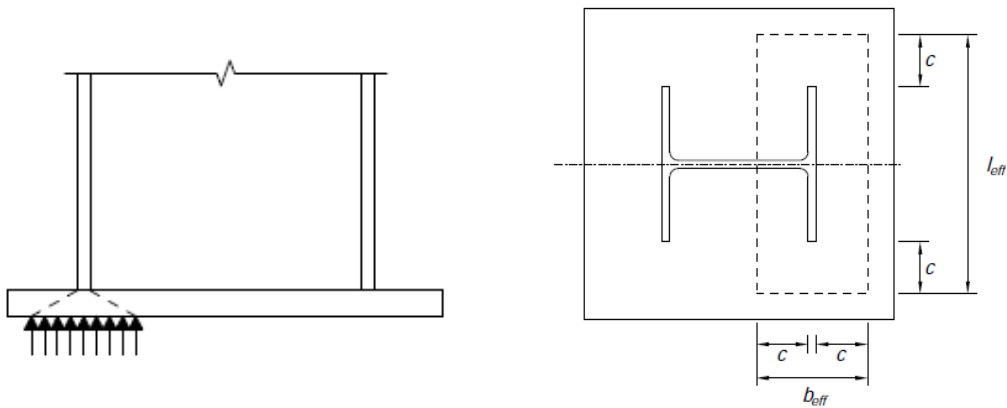


Figura 43 – Área da peça em T equivalente comprimida (SCI/BCSA, 2013).

Notas:

- i. De acordo com a NP EN 1993-1-8, o coeficiente de material de apoio da junta, β_j , considera-se igual a 2/3 quando o valor característico da resistência da argamassa de selagem não é inferior a 0.2 vezes o valor característico da resistência do betão da fundação e a espessura da argamassa de selagem não é superior a 0.2 vezes a menor dimensão, em planta, da chapa base (CEN, 2010e).
- ii. Quando as dimensões da fundação são desconhecidas é admissível supor $\alpha = 1.5$.

Se $V_{Ed} > \frac{V_{c,Rd}}{2}$, o efeito do corte deve ser considerado. Como $V_{Ed} < V_{y,c,Rd}$ e $V_{Ed} < V_{z,c,Rd}$ o efeito do esforço de corte pode ser ignorado.

Assim obtêm-se as resistências da peça em T equivalente comprimidas apresentadas na tabela 36.

Tabela 36 – Resistência da peça em T equivalente comprimida.

Parâmetros	Valor
$F_{c,pl,Rd}$ [kN]	906.44
$F_{c,fc,Rd}$ [kN]	2294.68

Como o esforço presente nos chumbadouros é de compressão e os valores da resistência da peça em T equivalente comprimida são positivos, a peça resiste à compressão.

3.11.4 Resistência dos parafusos ao corte

Considera-se que o esforço transversal é resistido apenas pelos parafusos na zona de compressão. Assim, neste caso como está tudo em compressão, todos os parafusos resistem ao esforço transversal.

Através da tabela 37 verifica-se que os parafusos resistem ao corte e ao esmagamento, por isso não seria necessário tanta quantidade de chumbadouros.

Tabela 37 - Resistência dos parafusos ao corte e ao esmagamento.

Parâmetros	Valores
$F_{v,Ed}$ [kN]	2.69
$F_{v,Rd}$ [kN]	78.40
$F_{b,Rd}$ [kN]	148.12

3.11.5 Comparação dos valores do *Robot* com os da folha de cálculo

O *Robot* atribui um rácio de 0.95 para este chumbadouro, enquanto que através da folha de cálculo obtém-se um rácio de 0.56. Verifica-se que o *Robot* está do lado da

segurança e ainda que, independentemente do método de verificação do chumbadouro, este é suficientemente resistente.

3.12 Verificação ao fogo

3.12.1 Introdução

O projeto para o fogo é um requisito importante e essencial no projeto de edifícios e estruturas de engenharia civil. Na Europa, as exigências de resistência ao fogo para edifícios são especificadas nos regulamentos Nacionais de Construção. Todos os edifícios têm de cumprir determinados requisitos funcionais e estes são geralmente ligados ao objetivo e à altura do edifício (Franssen & Real, 2012).

Para a verificação ao fogo opta-se pela utilização do programa *Elefir-EN* (Franssen & Vila Real, 2015b) pois está disponível a sua utilização e é suficientemente capaz para o cálculo da temperatura crítica dos elementos. Os esforços retiram-se do programa de cálculo *Robot*.

A combinação de ações mais desfavorável verifica-se ser a (3.5), através da visualização dos diagramas dos momentos e do esforço axial dos elementos.

A resistência ao fogo regulamentar definiu-se de 90 minutos (R90), pois de acordo com o Decreto de Lei 224/2015 a utilização-tipo é IV (edifício escolar) e a categoria de risco é a 3^a (altura da utilização-tipo $\leq 28\text{m}$ e efetivo ≤ 1500).

Apenas se calcula a temperatura crítica, pois o fabricante da tinta é que define a espessura do material a aplicar conforme o valor da temperatura crítica e a resistência pretendida (R90).

Quando a temperatura do perfil é superior à temperatura crítica, é necessário utilizar proteção ao fogo, por argamassa ou tintas intumescentes, cuja função é isolar o perfil e manter a temperatura deste abaixo da temperatura crítica durante 90 minutos, neste caso.

3.12.2 Viga 177

O diagrama de momentos obtido para a viga em estudo para a combinação de ações mais desfavorável apresenta-se na figura 44.

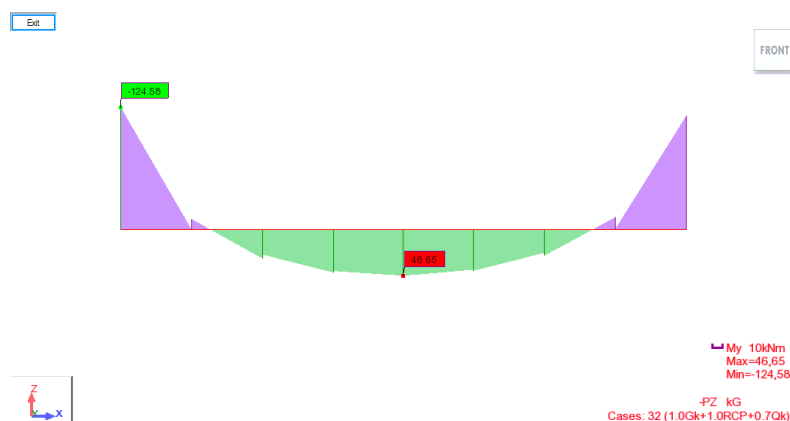


Figura 44 - Diagrama de momentos para a viga 177 para a combinação do fogo.

O valor do fator de adaptação para a distribuição de temperatura não uniforme da secção transversal, k_1 , admitiu-se de 0.70, considerando a viga protegida e exposta em três lados.

Para uma distribuição de temperatura não uniforme ao longo de uma viga, o fator de adaptação k_2 neste caso é de 0.85, pois a viga é hiperestática,

Na figura 45 apresenta-se as curvas de variação da temperatura obtidas com o programa *Elefir-EN* (Vila Real & Franssen, 2015b).

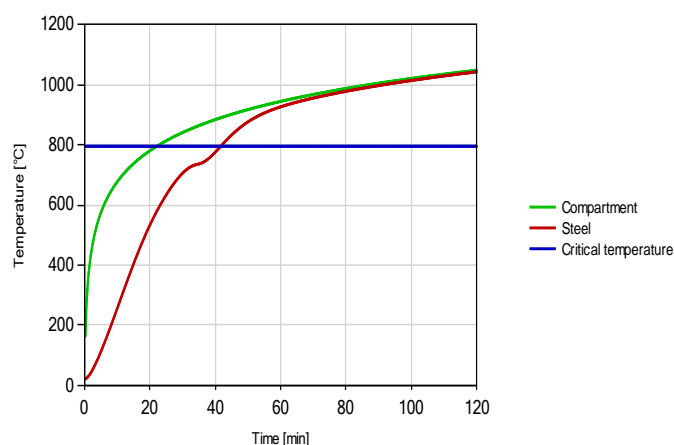


Figura 45 – Curvas de variação da temperatura do perfil obtido com o programa *Elefir-EN* (Vila Real & Franssen, 2015b).

Verifica-se que a temperatura crítica da viga é de 795.90° C obtida pelo programa *Elefir-EN* (Vila Real & Franssen, 2015b).

3.12.3 Coluna 1106

Os diagramas obtidos para a coluna em estudo para a combinação de ações mais desfavorável apresenta-se na figura 46.

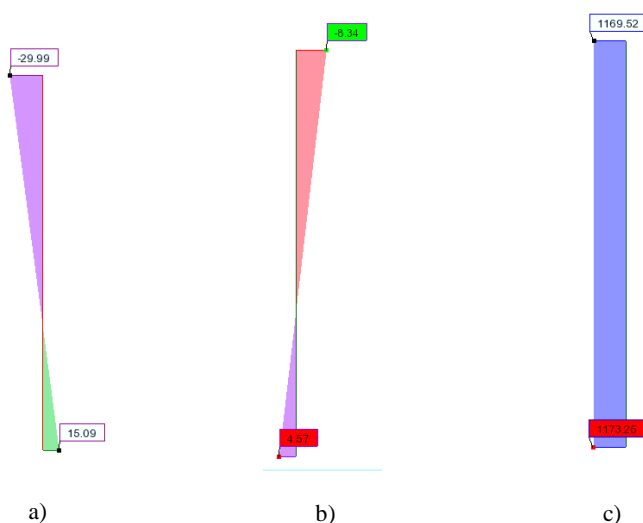


Figura 46 – a) Diagrama de momentos na direção y no pilar 1106; b) Diagrama de momentos na direção z no pilar 1106; c) Diagrama de esforço axial no pilar 1106.

Como existem momentos nas duas direções, y e z, por isso é necessário o cálculo da flexão composta com compressão, de acordo com o ponto 4.2.3.5 da NP EN 1993-1-2. Para o cálculo da temperatura crítica através do *Elefir-EN* (Franssen & Vila Real, 2015b) tem-se em conta a encurvadura lateral. Os coeficientes de encurvadura obtêm-se de acordo com o *Método de Wood*, sendo: $l_{y,fi}/L_y = 0.88$ e $l_{z,fi}/L_z = 0.89$.

Na figura 47 apresenta-se as curvas de variação da temperatura obtidas com o programa *Elefir-EN* (Vila Real & Franssen, 2015b).

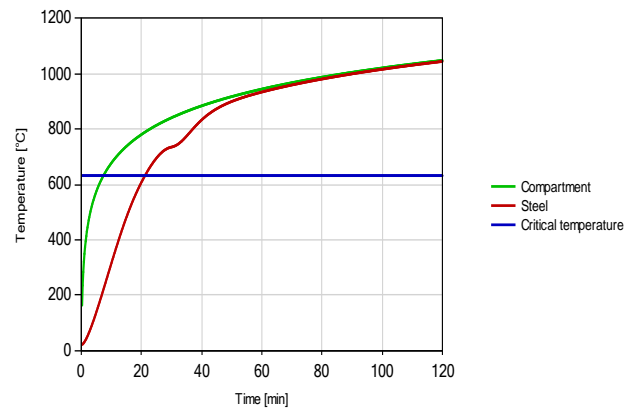


Figura 47 – Curvas de variação da temperatura do perfil obtido com o programa *Elefir-EN* (Vila Real & Franssen, 2015b).

Verifica-se que a temperatura crítica da coluna é de 631.90°C obtida pelo programa *Elefir-EN* (Vila Real & Franssen, 2015b).

4 PLANEAMENTO DA OBRA ESCOLA GASPAR FRUTUOSO

4.1 Introdução

O planeamento de uma obra consiste em realizar um plano de atividades e indexá-las ao calendário, decompondo a obra em atividades elementares e definindo para cada uma, datas de início e fim e folgas de realização (Faria, 2014), e constitui uma das partes da gestão de projeto, sendo a mais importante ao nível da conceção do mesmo, influenciando no alcance dos objetivos do projeto de modo mais ou menos satisfatório (Araújo, 2008).

O nível de satisfação com que se atingem os objetivos tem como condicionantes a escolha de tecnologia, a definição de tarefas de trabalho, a estimativa de recursos e durações de tarefas individuais necessárias, bem como a identificação de ligações entre as diferentes atividades de trabalho. Para realizar um bom planeamento de obra é necessário respeitar o orçamento e o cronograma de trabalho. O planeamento é essencial para tomar decisões organizacionais, sobre as relações entre os participantes em obra e até que subempreiteiros incluir na obra (Hendrickson, 1998).

O controlo de prazos define os avanços ou atrasos da obra relativamente ao previsto na programação. De forma a evitar atrasos na obra realizam-se análises de causas possíveis e promovendo a reformulação dos programas de trabalho, adaptando-os aos estados reais das obras mas mantendo, dentro das possibilidades, os objetivos finais (Faria, 2014).

No planeamento de obras as grandes variáveis são: a duração programada e o encadeamento. A listagem de tarefas e a duração global em horas são mais ou menos fixas para cada obra, variando naturalmente com o Diretor de Obra.

Os critérios globais a adotar são geralmente os seguintes:

- i. Duração do projeto – prazo;
- ii. Duração mínima sem qualquer preocupação de custo;
- iii. Otimização de recursos (mão-de-obra, equipamentos ou custos);
- iv. Faturação acumulada maximizada (Faria, 2014).

A execução da obra divide-se em várias tarefas elementares, às quais se associam determinado prazo de execução e mão-de-obra. O prazo está dependente dos rendimentos, ou seja, da capacidade de produção, da mão-de-obra e dos equipamentos à disposição para a realização da obra. Entre as diversas tarefas existe uma correlação temporal e um determinado grau de interdependência, dependendo das condições físicas locais e meteorológicas. Para cada obra elabora-se um mapa das tarefas, onde consta a ordem das atividades e atribui-se um número sequencial para cada uma. Um outro aspeto relevante é o facto de algumas atividades poderem ocorrer simultaneamente, dependendo do tipo e dimensão da atividade, tal como do número de frentes de trabalho (quantidade de equipas de mão-de-obra), daí a usual separação dos trabalhos por piso ou por outra unidade de referência bem definida, como neste caso por edifícios (Semedo, 2009).

O principal objetivo do planeamento consiste em realizar o projeto gastando o mínimo de recursos possível sem afetar a qualidade e a segurança da obra. O plano de trabalhos deve ser constantemente atualizado durante a execução da obra, em virtude de todos os imprevistos que possam surgir e impossíveis de controlar. Nesses casos, o planeamento precisa de progressivas reprogramações de forma a recuperar o tempo e o custo que tais circunstâncias podem originar no ritmo da obra (Semedo, 2009).

4.2 Listagem de tarefas

A listagem de tarefas consiste na decomposição da obra em atividades elementares. A lista deverá apresentar uma estrutura piramidal, ou seja, o número de atividades vai sucessivamente crescendo e a unidade de duração diminuindo (Faria, 2014).

A listagem de tarefas é realizada com base no orçamento da obra, no entanto após a obra ser ganha poderá ocorrer uma retificação de todas as atividades essenciais na obra (Faria, 2014).

Para a obra em estudo, a listagem de tarefas obtida é a seguinte:

- v. Adjudicação;
- vi. Projeto;
- vii. Preparação de Obra;
- viii. Aprovação de Desenhos por parte do Cliente;

- ix. Desenhos de Fabrico;
- x. Fabrico;
- xi. Pintura;
- xii. Transporte;
- xiii. Montagem.

As tarefas Fabrico, Pintura, Transporte e Montagem dividem-se nos edifícios constituintes da obra: Bloco A; Bloco B; Bloco C; Bloco D; Bloco E; Bloco F; Bloco G; Passadiços.

4.3 Duração das tarefas

O cálculo da duração das tarefas realiza-se a partir dos rendimentos da mão-de-obra, as empresas geralmente possuem valores aproximados da duração que cada trabalhador demora a realizar as atividades (Fernandes, 2012).

Na definição do horário de trabalho de uma obra define-se dois fatores: o número de dias por semana e o número de horas diárias de trabalho. O programa *Microsoft Project* possibilita a definição do calendário de trabalho de uma obra através do “*Change Working Time*”, tornando o planeamento mais realista. Neste caso define-se que os trabalhos decorrem apenas nos cinco dias da semana, durante oito horas diárias. O programa em causa também permite adicionar os feriados e férias de cada trabalhador. Assim, consegue-se obter um planeamento mais preciso, sabendo exatamente a duração de uma obra (Fernandes, 2012).

O prazo previsto para a execução da obra deverá ser dividido em semanas ou em dias, sendo descontados os feriados obrigatórios, férias legais e dias de paragem do trabalho devido a intempéries (Semedo, 2009).

É de notar que se for necessário acelerar uma atividade, esta irá influenciar todas as outras se pertencer ao caminho crítico do planeamento. No entanto, ao aumentar a velocidade de determinada tarefa implicará no gasto de mais recursos, mão-de-obra e equipamentos, acarretando maiores custos (Semedo, 2009).

4.4 Encadeamento das tarefas

As tarefas são interligadas entre si, o mais corrente e perceptível é a ligação física, relacionada com a impossibilidade física, podendo existir outros fatores de ligação tais como:

- i. Segurança;
- ii. Programáticas;
- iii. Financeiros;
- iv. Mão-de-obra;
- v. Equipamentos (Faria, 2014).

O encadeamento das tarefas do caso em estudo é de acordo com a ordem apresentada no ponto anterior.

4.5 Recursos

A mão-de-obra necessária resulta da duração programada da obra, ou seja, conforme a produtividade na realização das tarefas.

A planificação de recursos consiste na adaptação de programas de trabalhos de modo a melhorar os gráficos recurso-tempo. Os diagramas recurso-tempo são resultantes de um dado plano de trabalhos e estarão ótimos se tiverem formas regulares.

Os recursos materiais não são normalmente objeto de planificação resultando apenas como uma consequência daquilo que é necessário na obra. No entanto, em relação à mão-de-obra e equipamentos muitas vezes apresentam condicionalismos, sendo necessário rever o planeamento existente (Faria, 2014).

O nivelamento de recursos consiste na utilização das margens livres das atividades de forma a melhorar os diagramas de recursos, de forma a não sobrecarregar a mão-de-obra ou os equipamentos. Introduzindo-se assim novas condicionantes ao encadeamento mas a duração do projeto não é modificada (Faria, 2014).

Para a fase de Projeto admite-se ser necessário 1 Projetista, na Preparação de obra 1 Diretor de obra e 1 Preparador de obra, na realização de Desenhos de fabrico a mesma mão-

de-obra que na fase de Preparação de obra, no Fabrico 15 trabalhadores, na Pintura 4 pintores e na Montagem 5 trabalhadores.

4.6 Equipamento necessário

O equipamento necessário para a realização da obra resultou do orçamento realizado para concorrer à obra, podendo ser revisto (Faria, 2014).

A seleção do tipo e tamanho adequados do equipamento necessário para a montagem da estrutura afeta o tempo da duração da atividade e o esforço da mão-de-obra, influenciando assim a produtividade. Neste caso a experiência do Diretor de obra é determinante, pois é importante que esteja acostumado com as características e os tipos de equipamento usados na montagem da obra (Hendrickson, 1998).

Os equipamentos utilizados nesta obra são uma plataforma elevatória articulada, uma plataforma elevatória – tesoura, uma multifunções e andaimes.

4.7 Diagrama de Gantt

O diagrama de Gantt, ou gráfico de barras, é o método mais utilizado na realização do planeamento de uma obra, dado ser o mais antigo e também o mais expedito. As grandes vantagens deste método são: a escala do tempo, a elaboração de um diagrama, a apresentação das atividades críticas, o cálculo da duração da obra, a elaboração de diagramas de recursos, tempo e financeiro, os intervenientes no projeto, a sobrecarga da mão-de-obra e os custos associados a cada recurso. Como inconvenientes surgem a necessidade de uma remodelação sempre que é necessário ajustar o planeamento e a dificuldade em conseguir representar estudos pormenorizados, que de forma natural contêm muitas atividades, facilmente na ordem das centenas (Semedo, 2009).

O programa utilizada para planeamento da obra é o *Microsoft Project*. O programa *Microsoft Project* cria modelos incorporados e personalizados que utilizam as práticas recomendadas na indústria para facilitar a criação de planos a partir do zero. As funcionalidades de agendamento, como os gráficos de *Gantt* e menus pendentes previamente

preenchidos auxiliam na redução do tempo de formação e na simplificação do planeamento de projetos. O programa realiza relatórios que incluem todas as informações, desde gráficos de evolução a finanças (Project Management Institute, 2013).

4.8 Planeamento da Obra

Após a determinação da listagem de tarefas bem como a sua duração e encadeamento; em seguida, para cada atividade, deve-se estimar a mão-de-obra necessária, de acordo com os rendimentos médios já avaliados, o equipamento necessário e os custos/facturação associados.

Os resultados obtidos através da elaboração do planeamento da obra são os seguintes:

- i. Datas e margens características das atividades;
- ii. Tarefas críticas e não críticas;
- iii. Gráfico facturação-tempo (cronograma financeiro);
- iv. Gráficos recurso-tempo;
- v. Gráficos custos-tempo (Semedo, 2009).

Os resultados apresentam-se através de um diagrama de *Gantt*, onde a noção de caminho representa um conjunto de atividades que se sucedem, ou seja, que se localizam sequencialmente com um encadeamento lógico de sucessão. O caminho crítico corresponde à sequência de atividades que possuem datas rígidas, isto é, qualquer atraso tem consequências ao nível da data de conclusão do projeto. Assim, as atividades rígidas chamam-se críticas e o caminho por elas formado é denominado de caminho crítico. Caso seja necessário adiar alguma atividade, através da análise do caminho crítico, é possível assim determinar qual a melhor atividade para alterar as datas de forma a não influenciar a data de conclusão da obra. Outra ideia importante é a de margem livre que representa o máximo atraso que uma atividade pode ter sem que ocorra atraso nas tarefas sucessoras (Semedo, 2009).

Na figura 46 apresenta-se o Diagrama de *Gantt* obtido para a obra em estudo, no entanto este apresenta-se bastante simplificado, pois não constam as subdivisões das tarefas, ou seja, os blocos e os passadiços.

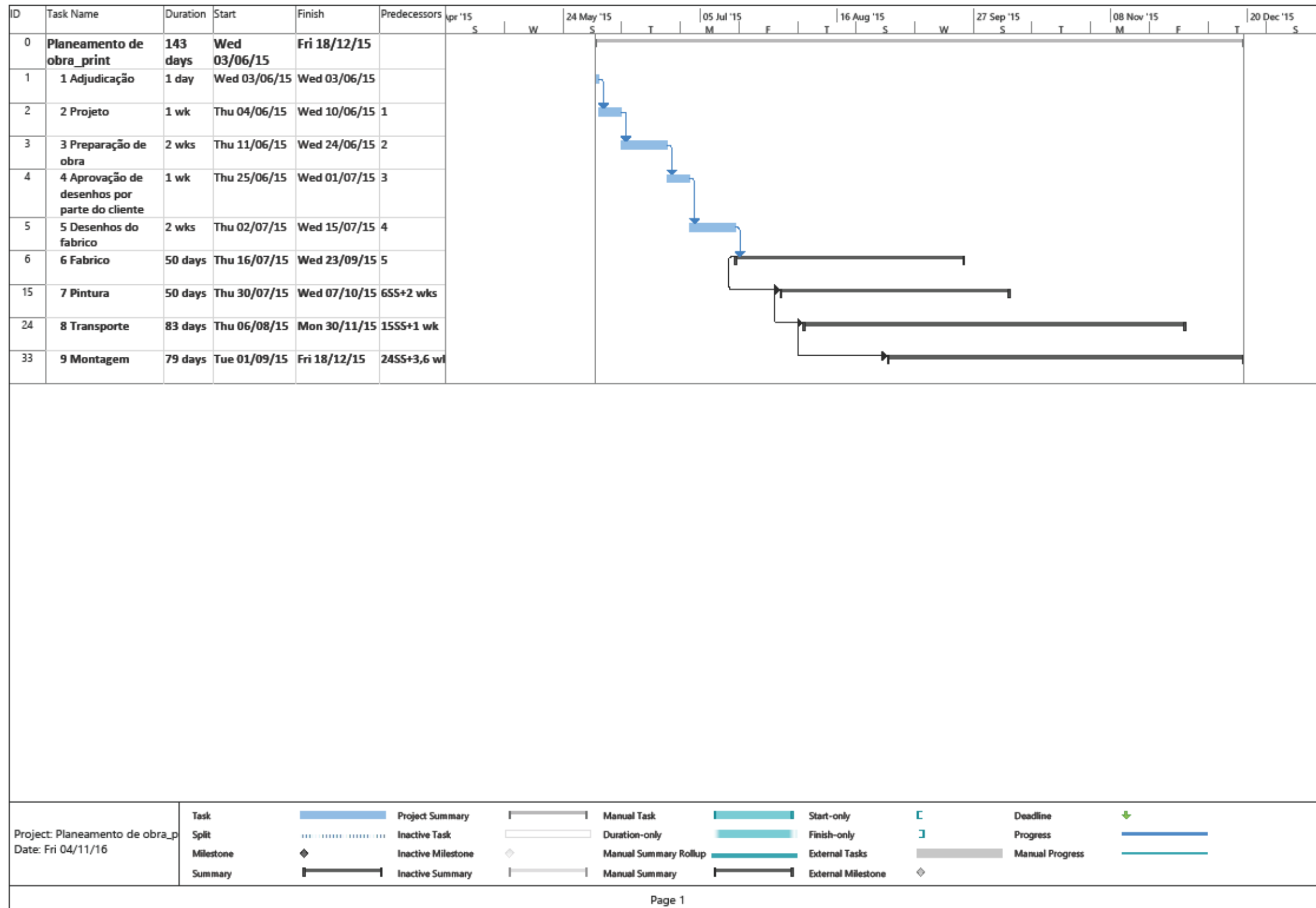


Figura 48 - Planeamento da Obra Escola Gaspar Frutuoso.

De seguida exibe-se uma breve descrição de cada atividade pertencentes ao diagrama de *Gantt* apresentado na figura anterior.

Adjudicação da obra

A Adjudicação da obra é realizada pelo dono de obra, ou seja, o cliente da Arestalfer. Em que atribui a execução da obra à Empresa, mediante concurso público.

Projeto

O projeto neste caso apenas envolveu a realização de algumas verificações e cálculos de ligações. No entanto, como referido anterior, o presente relatório de estágio desenvolve todo o projeto do edifício em estudo. Além disso, a Direção de projeto poderá ser envolvida ao longo da realização da Obra, à medida que vão sendo necessárias alterações da estrutura e das ligações, no entanto no diagrama considera-se apenas no início.

Preparação de obra

A preparação da obra consiste na modelação da Obra em *Tekla*, a partir de desenhos recebidos do cliente. No modelo de *Tekla* têm de constar todos os pormenores necessários para a realização da obra.

Aprovação de desenhos por parte do cliente

Posteriormente retiram-se os desenhos do modelo de *Tekla* e enviam-se para o cliente. O cliente após a análise destes aprova-os ou sugere as alterações necessárias.

Desenhos de fabrico

A fase da realização de desenhos de fabrico engloba a realização dos desenhos de corte, dos desenhos de conjunto e *NC files*. Estes desenhos são retirados do programa de modelação *Tekla* e enviados para o fabrico.

Fabrico

O fabrico consiste no corte e na furação dos perfis, de acordo com os desenhos de fabrico. O corte e a furação dos perfis realizam-se com as máquinas de corte e furação conforme os ficheiros *NCfiles*.

Pintura em fábrica

Após a conclusão do fabrico, segue-se a pintura das peças metálicas com o esquema de pintura realizado pelo diretor de obra, apresentado na parte de Preparação e gestão de obra.

A pintura em fábrica consiste em: preparação da superfície, decapagem, projeção de zinco, metalização a quente e aplicação do primário.

A pintura realiza-se conforme os blocos vão estando fabricados, ou seja, os primeiros blocos fabricados são os prioritários nesta fase.

Transporte

Antes de sair da fábrica, e de acordo com o procedimento de identificação, nenhuma peça pode ser transportada sem que esteja devidamente identificada:

- i. Designação da peça e suas características técnicas;
- ii. Recomendações e notas de transporte;
- iii. Sua posição dentro da estrutura global (desenho de montagem);
- iv. Ordem de montagem;
- v. Peças a que vai unir e esquema elucidativo (desenho de conjunto);
- vi. Elementos de ligação;
- vii. Recomendações e notas de montagem;
- viii. Eventual tratamento final em obra (Martins, 2008).

A marcação das peças para enviar para obra é composto por: número da obra; número do plano de fabrico; zona onde pertence e tipo de peça (B – viga; C – pilar; V – variável).

Os transportes escolhidos são camião e navio, através de contentores. A escolha do camião e do contentor tem de ser feita tendo em consideração o tamanho e o peso da peça a transportar.

O Transporte realiza-se conforme as peças vão estando preparadas e conforme as cargas o permitam. O transporte realiza-se em contentores 20 pés OT e 40 pés OT dado que a obra se localiza na Ilha de São Miguel, Açores. Este transporte também inclui o transporte de camião do contentor da Fábrica da Arestalfer até ao Porto de Leixões e do Porto de Ponta Delgada até ao local da Obra. O navio demora 3 dias para chegar a Ponta Delgada.

Montagem

A montagem das peças em obra realiza-se conforme o desenho de montagem, ou seja, conforme as prioridades designadas pelo preparador de obra.

4.9 Diagramas de recursos, tempo e financeiro

Os diagramas de recursos, tempo e financeiro permitem realizar uma análise da obra em estudo.

O diagrama custo – tempo representa o valor que é despendido ao longo do tempo de execução da obra, conforme a figura 49. Este diagrama representa apenas uma estimativa dos custos em equipamentos e mão-de-obra ao longo da obra, resultando da introdução no programa *Microsoft Project* do preço da mão-de-obra e dos equipamentos por hora.

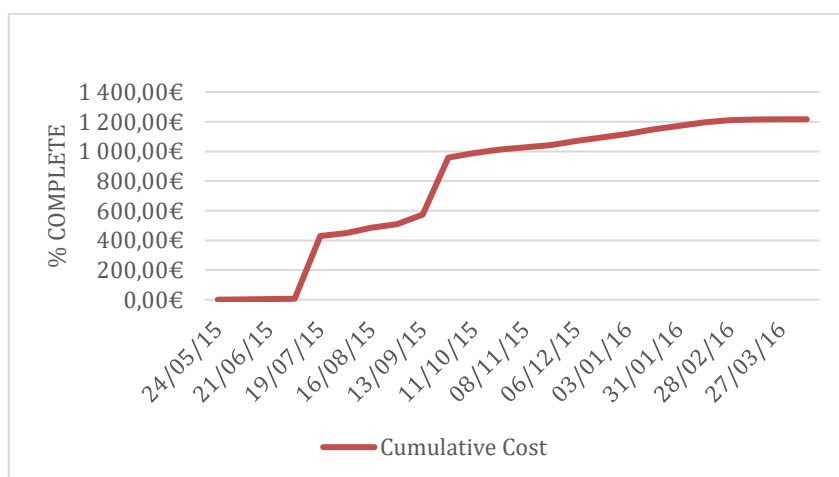


Figura 49 - Diagrama de acumulação de custo por tempo, obtido do programa *Microsoft Project*.

A partir do mapa de produção e do plano de trabalhos adotado resulta univocamente um diagrama apresentado na figura 50. O digrama corresponde ao número de horas total gastas por cada trabalhador ao longo da obra.

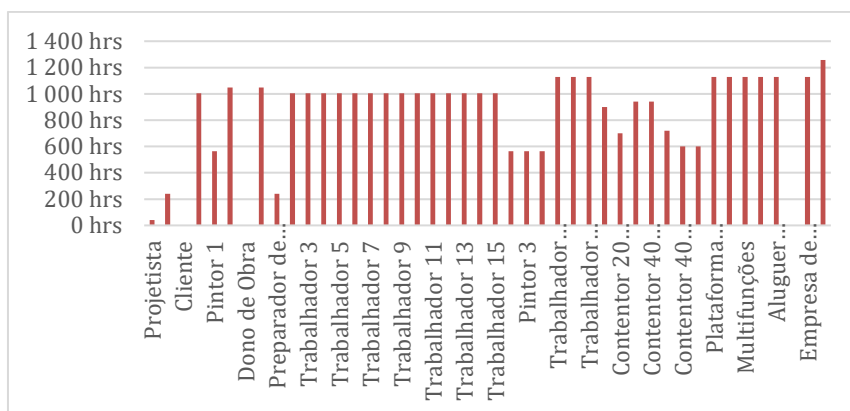


Figura 50 - Diagrama de horas por cada trabalhador, obtido do programa *Microsoft Project*.

4.10 Atrasos

Em todas as obras, os atrasos têm sempre enormes custos associados para o cliente, pois apenas é possível colocar a obra em utilização após a sua conclusão. Para além disso, os custos financeiros relacionados com o investimento agravam-se com os atrasos na sua conclusão. Em termos económicos, aliás, o dinheiro não pode ser definido por um valor do capital mas sim por esse valor, uma data e taxas de juro que permitem comparar quantias definidas em diferentes instantes (Faria, 2014).

As consequências do incumprimento dos prazos são geralmente graves e de difícil resolução. Os atrasos na conclusão das obras geram prejuízo para os utentes e frequentemente diminuição de rentabilidade para dono de obra, derivando frequentemente em disputas, reclamações de custos e relações complicadas entre as partes envolvidas (Couto, 2007).

5 PREPARAÇÃO E GESTÃO DA OBRA ESCOLA GASPAR FRUTUOSO

5.1 Introdução

O principal objetivo a atingir na construção de qualquer edifício consiste em construir com um adequado nível de qualidade e segurança, no prazo previsto, minimizando o custo, ou seja, obtendo o maior lucro possível, e garantindo um total respeito pelos condicionalismos ambientais e de gestão do território definidos em legislação adequada. Para esse efeito, em qualquer estrutura é essencial verificar de forma eficaz os principais recursos básicos: mão-de-obra, materiais, equipamentos e subcontratos, a que acresce um outro recurso essencial a qualquer investimento que é o dinheiro (Faria, 2014).

No plano da engenharia civil, a obtenção de lucro com a realização de obras por parte das empresas só é exequível com uma adequada gestão e com a intervenção de pessoas experientes ou especialistas. Dois aspetos importantes e essenciais são a gestão de recursos e a administração, ou seja, o engenheiro deve ser capaz de orientar e organizar os materiais, a mão-de-obra, os equipamentos, os subcontratos e os recursos financeiros. A gestão de obras consiste na conciliação, controlo, otimização, conjugação e garantia dos recursos bem como dos fatores produtivos. O objetivo da gestão de obras consiste em alcançar uma melhor produtividade na realização de uma obra e para tal é essencial controlar e interligar diversos fatores como: qualidade da construção, segurança e saúde, prazos, custos e cuidados ambientais (Semedo, 2009).

A preparação de obra engloba a modelação desta com recurso ao programa *Tekla Structure*, deste modelo retiram-se desenhos de aprovação, desenhos de corte, desenhos de conjunto, *NCfiles*, desenhos de montagem, listagens de material, listas de parafusos, listas de componentes e de elementos.

Após a realização da lista de material necessário para um plano de fabrico, elaborase o aproveitamento do material com a ferramenta *Cut IQ*. Assim, obtém-se a informação de que material é necessário comprar e executa-se a requisição de material. Para cada requisição

de material, o departamento de aprovisionamentos elabora um pedido de compra e um mapa comparativo de propostas de fornecedores. Os desenhos de corte e de conjunto são entregues no fabrico, onde cortam, furam, limpam, soldam e pintam os perfis. Após o processo de fabrico estar concluído realiza-se o transporte dos perfis para a obra. Assim que o material chega à obra encontra-se disponível para montagem. Ao longo da obra vai sendo atualizado um costeiro de obra com base no orçamento apresentado no ponto 2. Por último, procede-se ao fecho de obra.

5.2 Classe de execução

A norma EN 1090-2 define os requisitos no início, durante e depois da fabricação. Dos novos conceitos incluídos na norma, um dos mais importantes é a classe de execução (EXC). Cada classe de execução apresenta requisitos específicos para a execução da fabricação em seu conjunto (CEN, 2011).

A classe de execução é EXC2 e determina-se com base na figura seguinte:

Table B.3 — Recommended matrix for determination of execution classes

Consequence classes		CC1		CC2		CC3	
Service categories		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Production categories	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^a	EXC3 ^a
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^a	EXC4

^a EXC4 should be applied to special structures or structures with extreme consequences of a structural failure as required by national provisions.

Figura 51 – Matriz recomendada para a determinação das classes de execução (CEN, 2011).

O Plano de Inspeção e Ensaio (ITP) é elaborado de acordo com os requisitos da classe de execução, descritos na norma EN 1090-2 (CEN, 2011).

5.3 Direção de obra

O diretor de obra é o técnico indicado pela empresa, responsável pela direção e execução da obra.

A direção de obra encontra-se diretamente ligada à produção, pois parte desta o pedido de elaboração das peças e o prazo que possuem para a realização do pedido (Semedo, 2009).

O diretor da obra tem de dirigir todos os aspetos administrativos, técnicos e económicos, sendo responsável pelo cumprimento de todas as cláusulas do contrato, caderno de encargos e restantes peças do projeto e das normas e disposições legais em vigor. O diretor de obra tem ainda o dever de orientar o modo de execução da obra, zelando pela sua segurança e a segurança dos trabalhadores.

Um diretor de obra transforma um projeto em realidade, determinando os processos construtivos a adotar, os planeamentos temporal e económico, a gestão de todos os recursos, incluindo os recursos humanos, a prospeção e elaboração de contratos com fornecedores e subempreiteiros, bem como contactar com os representantes do dono de obra (Semedo, 2009).

5.4 Preparação de Obra

O Preparador de Obra, orientado pelo Diretor de Obra, realiza a modelação da obra com o programa *Tekla*, de onde são retirados os desenhos de aprovação. Estes desenhos são enviados para o cliente para serem verificados e aprovados. De seguida, realizam-se os desenhos de fabrico/execução e desenhos de montagem. Além disso, são elaborados alguns documentos, como os planos de fabrico, o aproveitamento do material, a requisição do material, as listagens de fixações e o esquema de pintura.

5.4.1 Modelação (Tekla)

A carência de controlo de tempo despendido nas várias fases, a qualidade e o acompanhamento por parte do cliente no progresso da obra, permitindo-lhe, de uma forma simples, observar a evolução da obra, forçou à criação de uma ferramenta de gestão de produção (Faria, 2014).

A ferramenta utilizada para modelar a obra designa-se por *Tekla Structure*, esta permite alcançar informações confiáveis e detalhadas na realização de estruturas. O *Tekla Structure* possibilita:

- Colaborar e integrar graças a uma abordagem BIM;
- Modelar todos os materiais;

- Manipular estruturas grandes e complexas;
- Criar modelos precisos e executáveis;
- Permitir o fluxo de informação com o projeto e detalhar o local de construção (Tekla, 2015).

Esta aplicação informática torna o processo de produção mais ágil e rápido. O *Tekla* obedece a normas internacionais, denominadas globalmente *BIM, Building Information Modeling*. Estas normas facultam uma estrutura standardizada para a geração, gestão e armazenamento de todas as informações de uma obra, num modelo informático. As aplicações informáticas tridimensionais aumentam a produtividade na fase de preparação de obra e na interligação com o fabrico e a montagem. A grande vantagem do BIM é a facilidade com que se deteta incompatibilidades entre diferentes especialidades (Ribas, 2015).

O *Tekla* é uma ferramenta de detalhe, de onde se pode facilmente retirar desenhos de corte, desenhos de conjunto, desenhos de montagem, NC files, quantidades e as mais diversas listas.

O processo de modelação no *Tekla* inicia-se com a definição dos eixos dos elementos estruturais e com a importação das plantas de cada piso em *Autocad*, de seguida define-se e detalha-se todos os elementos que compõem a estrutura com base em todos os desenhos disponíveis da obra. Durante a modelação realiza-se a marcação onde se referenciam todas as peças modeladas. Posteriormente, inicia-se a pormenorização de todos os detalhes, sendo possível encontrar incompatibilidades que, caso existam, serão solucionadas. Definem-se, também, as ligações aparafusadas e soldadas definidas pelo projetista. Finalmente, são criados desenhos e listas (Santos & Simões da Silva, 2011).

O *Tekla* cria as seguintes listas: a lista das peças unitárias e as listas das peças de conjunto. As listas das peças unitárias irão dar origem aos desenhos de corte e as listas de peças de conjunto aos desenhos de conjunto. Seguidamente, define-se uma ordem de execução, de forma a permitir a realização dos desenhos de montagem.

Durante o fabrico e a montagem da obra procede-se a um controlo com o auxílio do programa de modelação, procedendo à introdução dos dados da fabricação e expedição na aplicação ou pelo envio diário da lista dos elementos/conjuntos que foram montados.

Este sistema permite a deteção precoce de desvios, mas também a gestão de obras que assentam numa produção em cadeia, onde a composição de um dado conjunto de peças passa por diferentes subempreiteiros (Santos & Simões da Silva, 2011).

5.4.2 Desenhos de aprovação

Os desenhos de aprovação retiram-se do programa *Tekla* e enviam-se para o Cliente. Este tem a tarefa de verificá-los e aprová-los de acordo com o que pretende que seja realizado em obra. Existem dois tipos de aprovação:

- i. Aprovação com plantas, alçados, cortes e pormenores;
- ii. Aprovação com os desenhos de conjunto, os mesmos que são entregues no fabrico.

5.4.3 Desenhos de fabrico/execução

Desenhos de corte

Os desenhos de corte são utilizados para o corte e/ou furação de chapas e/ou perfis e ainda indicam as dimensões de cada elemento, o diâmetro do furo e as inclinações para o corte ou quinagem.

A figura 52 representa um desenho de corte, para corte e furação da chapa. Estão indicadas as dimensões da chapa e espessura, localização dos furos, etc. Na zona da legenda colocam-se vários campos para que o trabalhador possa indicar quantas peças cortou, furou e o respetivo controlo de qualidade (Santos & Simões da Silva, 2011).

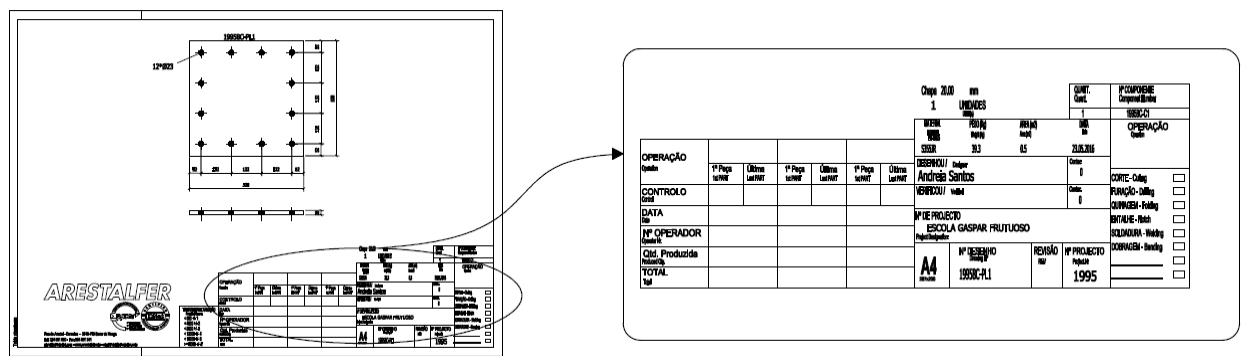


Figura 52 - Desenho de corte.

No Anexo B apresentam-se alguns desenhos de corte referentes à obra em estudo.

Desenhos de conjunto

Os desenhos de conjunto correspondem à união dos vários elementos, com indicação das posições relativas de cada elemento, o tipo de cordões de soldadura utilizados e os respetivos ensaios não destrutivos.

A figura 53 corresponde um desenho de conjunto, para posicionamento dos diferentes elementos e tipo de cordão de soldadura. Este desenho contém a identificação de todos os elementos que compõem o conjunto e no canto superior direito a simbologia de soldadura e zonas a proteger nas ligações pré-esforçadas, para ser entregue na pintura (Santos & Simões da Silva, 2011).

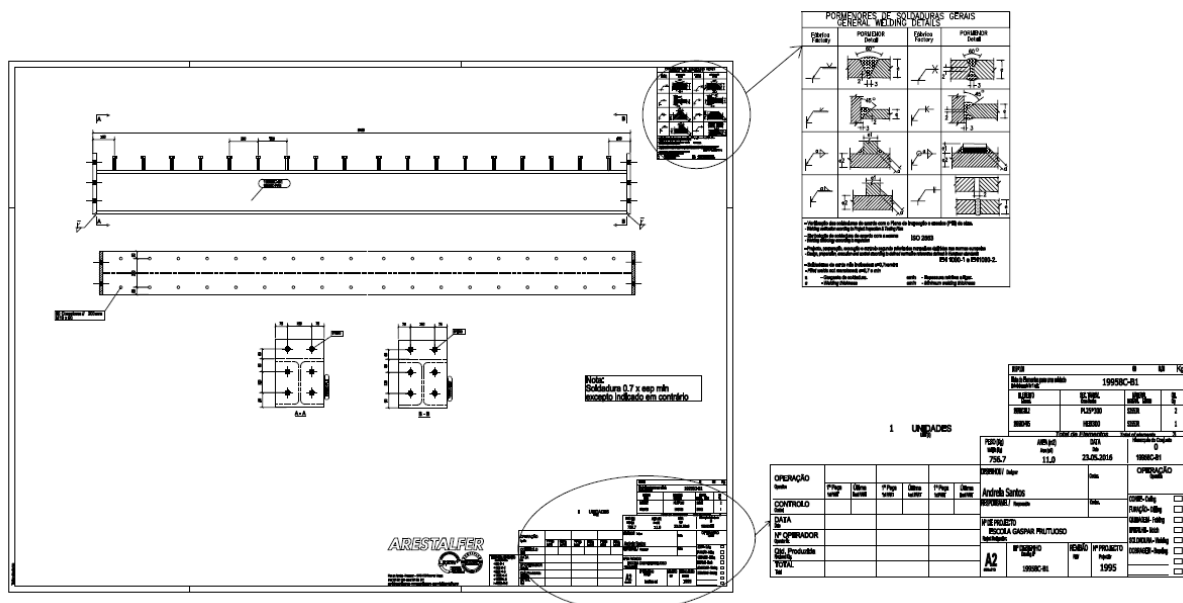


Figura 53 - Desenho de conjunto.

Cada desenho de conjunto tem uma marcação, no fabrico essa marcação será puncionada ou colocada uma etiqueta na peça. Quando se realiza o desenho de montagem todas as peças têm marcação, de modo a conhecer o local exato de cada peça. Na parte 5.5 explica-se como se procede à marcação das peças.

No Anexo C apresentam-se dois desenhos de conjunto de uma coluna e de uma viga referentes à obra em estudo.

NC files

As máquinas de corte e furação do fabrico utilizam este tipo de ficheiro obtido a partir do *Tekla* para o corte e furação dos perfis e das chapas.

5.4.4 Desenhos de montagem

O desenho de montagem é um desenho com a localização de todos os conjuntos que fazem parte da obra. Possui, muitas vezes, os pormenores das ligações. Podem-se, igualmente, conceber esquemas de implantação.

A figura 54 corresponde a um exemplo de um desenho de montagem, para a montagem dos diferentes conjuntos, com a indicação das prioridades da estrutura (Santos & Simões da Silva, 2011).

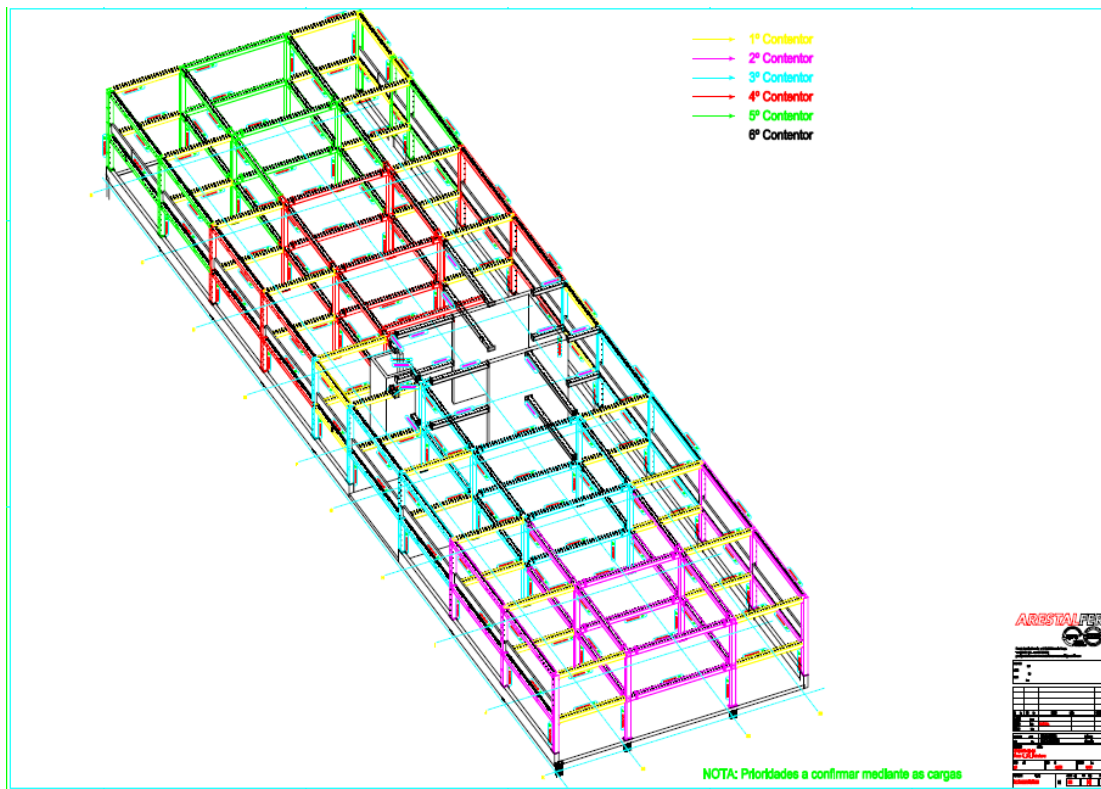


Figura 54 - Desenho de montagem.

No Anexo D apresentam-se alguns desenhos de montagem referentes à obra em estudo.

5.4.5 Planos de Fabrico

O Plano de fabrico é composto por todos os elementos pertencentes a esse plano, como os desenhos de corte, os desenhos de conjunto, os desenhos de montagem, os NC files e a folha de rosto.

A folha de rosto apresenta-se no Anexo E e consiste numa lista dos perfis pertencentes a um plano de fabrico, compreendendo o tipo de material, o comprimento, a área e o peso total de cada perfil. Esta folha é entregue no fabrico juntamente com os desenhos de corte e de conjunto e os NC files, de forma a produzirem todas as peças pertencentes a este plano de fabrico.

5.4.6 Aproveitamento do material

A gestão de materiais é essencial no planeamento e controle da obra. Os materiais representam uma grande despesa em construção, portanto, quanto menor forem os custos de aquisição ou de compra mais fácil é baixar os gastos durante a execução da obra. A gestão de materiais é importante, pois se os materiais existem em *stock* não é necessário adquiri-los (Hendrickson, 1998).

O aproveitamento do material realiza-se com recurso à ferramenta *Cut IQ*, em que se introduzem todos os perfis que são necessários para o plano de fabrico em causa com os respetivos comprimentos. De seguida, colocam-se os perfis comerciais necessários para realizar os elementos necessários na obra. Os perfis comerciais poderão ser perfis que seja necessário requisitar, sobras de outros planos de fabrico ou material existente no armazém.

O objetivo desta ferramenta é realizar o plano de fabrico utilizando o menor número de recursos possíveis e obtendo um bom aproveitamento. O *Cut IQ* informa a percentagem que é usada dos perfis comerciais. A percentagem tem que ser igual ou superior a 95% para ter um bom aproveitamento do perfil.

Tem de se ter alguma destreza a realizar este processo, porque é preferível que sobrem partes maiores dos perfis do que mais pequenas, para que possam ser reutilizadas nos planos de fabrico seguintes. E ainda é necessário requisitar perfis que sejam economicamente viáveis e de fácil transporte (inferiores a 12 metros).

Além do *Cut IQ* existe o *Plan IQ*, o segundo funciona de um modo idêntico ao primeiro, no entanto é utilizado para realizar o aproveitamento de chapas. Para esta obra não se realizou o aproveitamento das chapas.

5.4.7 Requisição do material

A requisição do material consiste em requisitar o material necessário para a elaboração da obra, de acordo com o obtido no *Cut IQ*.

A requisição de materiais realiza-se com a devida antecedência, tendo em conta os prazos de entrega.

A requisição de material por parte da gestão de obra deve ser registada através do número ou código particular de cada obra. Assim, deve-se efetuar o registo no sistema para que mais tarde se possa fazer a contabilização dos custos com material de cada uma das obras (Cardoso, 2011).

Na requisição discrimina-se as quantidades, as características técnicas, as normas aplicáveis e o prazo de entrega ideal para o fabrico.

No Anexo F apresenta-se uma folha de requisição de material.

5.4.8 Listagens de fixações

A listagem de fixações compreende a lista de parafusos com informação das quantidades e das dimensões, esta lista retira-se do *Tekla*, ver figura 55.

Tekla Structures lista de parafusos para o projeto nº:		1995	
TÍTULO:	ESCOLA GASPAR FRUTUOSO	Date:	27.06.2016
Doc/P20120213 - Parafusos			
Standard	Obra/Fabrica		Qty
EN-14399	Site	BOLT 27X90	510
EN-14399	Site	BOLT 24x75	456

Figura 55 - Listagem de fixações da obra em estudo.

5.4.9 Esquema de pintura

O esquema de pintura é definido pela Arestalfer em conjunto com o fornecedor, com a aprovação do cliente, este é de acordo com o especificado no Caderno de Encargos e Notas Técnicas. O esquema de pintura tem de garantir a proteção necessária ao ambiente corrosivo onde se localiza a obra, sendo C5 de acordo com a norma NP EN 12944-2 (CEN, 1998).

O esquema de pintura apresenta-se no Anexo G e consiste no seguinte:

- i. Preparação da superfície;
- ii. Metalização a quente;
- iii. Primário em fábrica;

- iv. Tratamento mecânico ao grau ST3;
- v. Primário em obra;
- vi. Intumescente;
- vii. Acabamento.

Uma parte do tratamento anticorrosivo é dado em obra, sendo que os três primeiros tópicos apresentados a cima são aplicados em fábrica e os seguintes em obra.

A preparação da superfície consiste na decapagem por granalha de aço ao grau SA2^{1/2} / Blasting Grade SA2^{1/2}, cujo objetivo é obter uma superfície lisa e uniforme.

A metalização a quente compreende a projeção de zinco, servindo de proteção contra a corrosão.

O primário em fábrica é 7K-150 C-Pox Primer ZP150, sendo um primário excelente para aplicação em estaleiro.

O tratamento mecânico ao grau ST3 consiste na preparação da superfície.

O primário em obra é 7N-180 C-Pox ST180AL, sendo um primário com excelente resistência à humidade e à corrosão.

O intumescente utiliza-se 7B-420 Hensotherm 420 KS (R90), sendo que sob a ação do calor, produz uma espuma isolante de muito baixa condutividade térmica, protegendo o suporte da ação do fogo.

O acabamento é 7B-258 C-Thane S258 Poliuretano, apresentando elevada dureza e resistência à abrasão, mantendo uma boa flexibilidade.

A pintura em obra é subempreitada, para a realização desta subempreitada foi necessário a realização de um mapa comparativo de modo a escolher o subempreiteiro mais adequado.

5.5 Aprovisionamentos

Ao conceber-se uma obra têm-se em conta as condições impostas, nunca descuidando o fator económico. Um material é mais económico que outro, quando as condições de resistência, duração e facilidade de aplicação sejam iguais e o preço seja

inferior no local da obra. É essencial realizar um bom planeamento, para que os materiais sejam aprovionados com a devida antecedência, de forma a que estes encontrem-se em obra no momento em que são necessários (Semedo, 2009).

A negociação efetua-se pelo Departamento de aprovisionamentos em parceria com o requisitante.

A gestão administrativa dos pedidos compete ao departamento de compras, compreendendo o seguinte:

- i. Processamento do pedido de compra com base na requisição;
- ii. Envio do pedido de compra ao fornecedor e arquivo de documentação relevante no pedido;
- iii. Controle de prazos de entrega e efetuar a receção de materiais.

5.5.1 Pedidos de compra

O pedido de compra é processado pelo Departamento de aprovisionamentos e este tem todas as características técnicas necessárias para a correta identificação do que se pretende adquirir. O pedido de compra apresenta um mapa comparativo previamente aprovado de acordo com a estratégia de liberação da obra em vigor.

O pedido de compra da obra em estudo apresenta-se no Anexo H.

5.5.2 Mapa comparativo de fornecedores

Os mapas comparativos de fornecedores consistem em mapas de comparação de preços para avaliação de propostas e posteriormente para tomada de decisão.

A comparação de propostas é sempre complicada porque para além de estarmos a tentar descobrir onde estamos a ser enganados temos ainda de analisar as propostas para além do seu valor, isto é, perceber o que falta, os asteriscos visíveis e os escondidos.

5.6 Fabrico

Em relação ao fabrico, a Arestalfer dispõe de uma equipa qualificada e de equipamentos modernos com tecnologia CNC, dos quais consta sistemas de otimização de corte por plasma e oxicorte assim como de quinagem e furação. E ainda possui uma linha de tratamentos superficiais de alta qualidade, ver figura 56 (Arestalfer, 2015).



Figura 56 - Fábrica da Arestalfer.

O fabrico é realizado nas instalações da Arestalfer. O fabrico dividiu-se nos vários blocos constituintes da Obra, sendo prioritários os primeiros blocos a montar.

Para cada obra existe um Plano de Inspeção e Ensaio (PIE), dependente da classe de execução, que define todas as inspeções e ensaios que são necessários realizar durante cada fase do fabrico. De acordo com o PIE emitem-se relatórios que compõem um *dossier* de qualidade da obra.

Todas as peças devem ser convenientemente marcadas em fábrica para que, na montagem, não possa surgir qualquer dúvida quanto à sua posição.

A marcação das peças em fabrico é composto por: número da obra, número do plano de fabrico, zona onde pertence a peça e o tipo de peça (PR – perfil; PL – chapa; T – tubo).

5.6.1 Corte

O corte de perfis realiza-se conforme os desenhos de corte entregues no fabrico.

O corte de perfis pode ser executado para ajuste de comprimento com disco de serra ou com guilhotina. O corte da chapa quando o contorno é reto e a forma convexa pode também ser realizado com guilhotina. Nos casos, em que os contornos são mais complexos, requer outro tipo de tecnologias como o oxicorte, corte por plasma, por laser ou por jato de água com abrasivo (INETI, 2001).

Nesta obra realiza-se corte por serra e corte por plasma.

O corte por serra é um dos mais recomendados, ver figura 57, por não introduzir tensões residuais, sendo o equipamento mais usual o serrote. Esta ferramenta é rápida, no entanto tem algumas limitações como por exemplo em cortes mais complexos e/ou com mais de 45° (Martins, 2008).



Figura 57 - Corte por Serra.

O corte por plasma, ver figura 58, é um método de corte em que o material metálico é fundido na zona de corte pelo jato de plasma, sendo a junta de corte removida pelo jato de ar. A grande desvantagem é o consumo de energia ser relativamente elevada, porque o material tem de ser fundido numa junta larga (INETI, 2001).



Figura 58 - Corte por Plasma.

O empeno causado pela ação do calor é reduzido através do bom arrefecimento e da elevada velocidade de corte. As superfícies de corte são de aspeto metálico, apresentam boa qualidade e regularidade. O uso de água reduz o impacto ambiental, cheiros, poeiras, ruído e a emissão de radiações UV é absorvida. Uma característica benéfica, é o facto de a água minimizar o efeito do calor na integridade estrutural do metal.

Todos os materiais condutores podem ser cortados por plasma, sendo que a qualidade do corte depende do tipo de material e do sistema de corte por plasma utilizado (INETI, 2001).

5.6.2 Furação

A furação das peças metálicas constitui outra etapa do ciclo de produção do fabrico das estruturas metálicas e neste caso utilizou-se neste processo a broca, ver figura 59.



Figura 59 - Máquina de furação.

As dimensões dos furos e a localização destes é informado no desenho de corte enviado para o fabrico.

5.6.3 Limpeza

A limpeza consiste em limpar a zona onde se efetua o corte para a remoção das “rebarbas”, ver Figura 60.a). Todas as arestas vivas devem ser arredondadas com um raio de ± 2 mm, ver Figura 60.b). Isto impede ferimentos nos operadores e, no caso de a peça ser pintada nas arestas, zona que por natureza tem menor resistência aos danos mecânicos, evita

que fique com menos tinta, fruto da tensão superficial que se gera junto a arestas vivas (Santos & Simões da Silva, 2011).



Figura 60 – a) Limpeza de peças; b) Peças após a limpeza.

A preparação dos bordos é fundamental para a qualidade da soldadura (Santos & Simões da Silva, 2011).

5.6.4 Armação

À medida que os elementos vão sendo cortados e, só depois de um dado conjunto ter todos os elementos disponíveis, inicia-se a armação (Santos & Simões da Silva, 2011).

O sucesso desta fase depende da simplicidade do desenho de montagem. Assim, é necessário que este desenho tenha um número de cotas suficientes para que se possam posicionar todos os elementos.

A armação consiste em colocar as peças nos devidos locais de acordo com os desenhos de conjunto e realizar um pingo de solda de modo a fixar as peças, ver figura 61 (Santos & Simões da Silva, 2011).



Figura 61 - Realização da armação em fábrica.

5.6.5 Soldadura

As empresas são obrigadas a implementar um sistema de qualidade de acordo com a ISO 3834 para a soldadura de estruturas de aço. Não é necessário que este esteja certificado por uma terceira parte, mas o seu cumprimento deve ser verificado (CEN, 2011).

Os processos de soldadura consistem em unir peças de um modo permanente, através da fusão na zona de contacto do metal dos elementos. Os diferentes processos de soldadura podem distinguir-se de uma forma muito geral, quer pela técnica como o metal em fusão é protegido da oxidação. O metal de adição pode ser eléctrodos revestidos, fio ou barra. A soldadura pode ser manual, semiautomática ou automática (Martins, 2008).

Algumas soldaduras realizam-se em fábrica, ver figura 62, e outras em obra, ver figura 63.



Figura 62 - Realização de soldaduras em fábrica.



Figura 63 -Soldadura em obra de uma viga a um pilar.

5.6.6 Limpeza de solda

A limpeza de solda realiza-se após a soldadura e consiste em limpar a solda a mais, ver figura 64.



Figura 64 - Limpeza de solda.

5.6.7 Tratamento superficial

O tratamento superficial é aplicado conforme o esquema de pintura, apresentado no ponto 5.3.9, ver figura 65.



Figura 65 - Aplicação do tratamento superficial.

5.7 Transporte

Os tipos de transportes utilizados são rodoviário e marítimo, da fábrica até ao Porto de Leixões o transporte utilizado foi camião, de Leixões até Ponta Delgada foi navio e de Ponta Delgada ao local da obra foi novamente camião.

O número de contentores é estimado de acordo com o número de toneladas que é necessário transportar até ao local da obra, sendo que existem contentores 20 pés OT e 40 pés OT.

Os contentores escolhidos são do tipo “Open Top” (OT), de modo a facilitar a descarga do material. Este contentor é aberto no topo e coberto com uma lona após o carregamento do material (Santos & Simões da Silva, 2011).

Quando as peças acabam de ser fabricadas procede-se ao transporte, tendo em conta o plano de fabrico a que pertence e as toneladas máximas permitidas para transporte.

5.8 Montagem

5.8.1 Preparação das condições em obra

A sequência de montagem conjuga-se com o transporte e com a disponibilidade do estaleiro para armazenar convenientemente as peças, ver figura 66. É essencial ter o material, devidamente arrumado e pronto a montar de acordo plano de montagem, evitando perdas de tempo (Santos & Simões da Silva, 2011).



Figura 66 - Local da obra em estudo.

Antes de iniciar a montagem, verifica-se o nivelamento e alinhamento dos chumbadouros. Depois da betonagem dos chumbadouros e devido à vibração das fundações, podem ocorrer deslocamentos entre os chumbadouros, para evitar que isso ocorra utilizam-se chapas *gabarit* que garantem a distância entre eles. É assim recomendável verificar o seu posicionamento antes da montagem, recorrendo a um levantamento topográfico (Santos & Simões da Silva, 2011).

5.8.2 Logística

Os materiais têm características próprias que exigem que estas se mantenham mesmo após a sua aplicação. O controlo da quantidade dos materiais é realizado pelos orçamentos, planeamento e no decorrer da obra, contribuindo para tal: as guias de encomenda, entrega e transporte, as faturas, quadros de aprovisionamento, de resultados e inventários (Semedo, 2009).

O controlo de mão-de-obra é dos processos mais complexos e imprevisíveis de realizar. Um diretor de obra tem de ser um verdadeiro líder, controlando toda a mão-de-obra, assegurando a ocupação de todos os trabalhadores, alcançando assim o maior rendimento possível. Cada interveniente tem que saber exatamente qual a sua função, ou seja, o seu campo de ação e responsabilidades, de forma a centralizar-se unicamente na sua tarefa com total rendimento, sem que aconteçam perdas de tempo, eventualmente a esperar pelo trabalho dos outros ou sem se preocupar em fiscalizar/criticar o trabalho dos outros executantes, que a si não compete. O facto de em obra permanecerem pessoas de diferentes tipos de formação, idades distintas, eventualmente nacionalidades diferentes, concorre ao diretor de obra reunir semanalmente com encarregados e subempreiteiros, a fim de trocar impressões de forma a haver um bom ambiente em obra, aprofundando os problemas técnicos e humanos dos seus colaboradores, estimulando-os para a execução do plano de trabalhos. Para além do controlo físico de mão-de-obra, quer por posto de trabalho, equipa, elemento de construção, tarefa ou grupo de tarefas, cabe também do diretor de obra estimar os tempos de execução (Semedo, 2009).

5.8.3 Equipamentos

Os equipamentos incluem as ferramentas manuais e mecânicas portáteis, o equipamento auxiliar e as grandes máquinas. Estes são armazenados na fábrica, onde são sujeitos a manutenção, nos períodos de imobilização, para serem distribuídos pelas diversas obras, nos períodos da sua atividade. A distribuição e utilização das máquinas faz-se de acordo com a distribuição de mão-de-obra, subordinando-se à utilização das máquinas que a empresa possui, a pleno rendimento. A organização das máquinas deve ser cuidadosamente estudada, analisando os períodos de utilização de cada uma, atendendo ao seu rendimento e à sequência, início e fim das tarefas nas obras. Para além das máquinas propriamente ditas, o programa da utilização de outra espécie de equipamento, tais como ferramentas manuais e mecânicas, andaimes, entre outros, também deve ser estudado. O referido estudo deve constar no inventário de armazém, devidamente atualizado, para eventual utilização de determinado material e para cada caso, avaliar se ainda se encontra em perfeitas condições ou se será imprescindível adquirir um novo. Concluindo, o diretor de obra, no que respeita aos equipamentos, deve estar sempre em posse de dados que lhe possibilitem saber das suas localizações, estados de conservação, rendimentos e respetivos consumos, estado diário e respetivos consumíveis (Semedo, 2009).

5.8.4 Montagem

O processo de montagem é a última fase do fabrico e execução de estruturas metálicas. A montagem é realizada de acordo com um plano de montagem executado pelo preparador de obra (Martins, 2008).

A montagem de edifícios requer uma séria de cuidados para que as opções sejam rápidas e sequenciais. De forma a otimizar as operações procede-se à diminuição do tempo de montagem, garantindo a segurança da mão-de-obra e dos equipamentos (Santos & Simões da Silva, 2011).

Neste caso, a montagem da estrutura principal respeita a sequência dos blocos referida anteriormente.

Na figura 67 mostra-se a montagem de alguns dos blocos da obra Escola Gaspar Frutuoso.



Figura 67 - Montagem da obra da Escola Gaspar Frutuoso.

5.8.5 Verificações/Inspeções

É fundamental que, durante o fabrico do material para a obra, este seja inspecionado, evitando assim, perdas de tempo em obras, com reparações e todos os custos associados a um trabalho não previsto (Santos & Simões da Silva, 2011).

Todas as verificações e inspeções são realizadas de acordo com o Plano de Inspeções e Ensaios (PIE) e como está definido na norma EN 1090-2, compondo o *dossier* de qualidade da obra.

Já em obra são executados ensaios às soldaduras realizadas em obra e relatórios dos momentos de aperto dos parafusos.

Ensaios às soldaduras

Na inspeção das soldaduras, para além da inspeção visual realizada segundo a EN 970 (CEN, 1997), realiza-se o ensaio de Partículas Magnéticas (CEN,1998). O ensaio de Partículas Magnéticas possibilita a deteção de fissuras superficiais e é utilizado em soldaduras de topo e canto. É um ensaio económico (Santos & Simões da Silva, 2011).

No Anexo I apresenta-se um exemplo de um ensaio às soldaduras realizado na obra em estudo.

Relatórios dos momentos de aperto dos parafusos

As medições dos momentos de aperto dos parafusos realizam-se manualmente com um torquímetro, que consiste numa escala que mede a carga sobre uma mola ou num instrumento ativado por um transdutor eletrónico (Atlas Copco, 2003).

O método mais comum de verificação do momento de aperto é um torquímetro de estalo equipado com uma embreagem que pode ser pré-ajustada a um torque específico. Se o torque for maior do que o valor de torque pré-estabelecido, a embreagem irá soltar-se com um estalo. Se o torque for menor, o aumento do torque final é possível até que a embreagem estale. No entanto, um aperto excessivo não pode ser detetado com o torquímetro de estalo (Atlas Copco, 2003).

5.8.6 Qualidade

O controlo de qualidade procura garantir que a obra é desenvolvida conforme o programa estabelecido, implicando o imprescindível acompanhamento do processo construtivo durante todas as suas fases de conceção e execução da obra. Atualmente, os materiais utilizados são na sua maioria certificados, no entanto ainda se testarem os materiais através de ensaios (Semedo, 2009).

As empresas que fornecem os materiais têm que corresponder às obrigações legais para os produtos de construção, a certificação tem de ser garantida de acordo com as normas aplicáveis, assim a manutenção das características evidenciadas.

Cada obra está sujeita ao seu plano de qualidade, já que não há duas obras iguais, existindo diferenças em inúmeros aspetos, nomeadamente, o cliente, o projeto, os intervenientes na execução, o prazo, o preço, os processos construtivos e as condicionantes ambientais, etc. No plano de qualidade são definidos vários pressupostos, particularmente a organização e os meios afetos à obra; a autoridade; a responsabilidade e a relação recíproca entre todos intervenientes; os procedimentos e os requisitos da qualidade específicos da obra; planificações das atividades da qualidade; entre outros. Para cada fase do processo construtivo descrevem-se de forma ordenada as ações a desenvolver em cada uma delas, bem como os respetivos intervenientes. (Semedo, 2009)

5.8.7 Segurança

A construção civil é um dos sectores com maiores taxas de sinistralidade, sobretudo com maior taxa de sinistralidade mortal. Deste modo, Portugal decidiu criar regulamentação, tendo deste há vários anos lançado diplomas nesse sentido.

Como tal, houve necessidade de conceber várias medidas que visam a prevenção e a avaliação de riscos, durante a conceção e a execução da obra, desde o projeto à fase de utilização (Semedo, 2009).

O Plano de Segurança e Saúde é obrigatório e aponta as medidas necessárias à prevenção e minimização de todos os riscos para segurança, higiene e saúde dos trabalhadores e de terceiros, durante a execução da obra. Este plano é dividido em duas partes, o Plano de Segurança e Saúde em fase de projeto e o Plano de Segurança e Saúde em fase de execução da obra. O primeiro é elaborado em fase de projeto para que futuramente seja garantida a segurança e a saúde de todos os intervenientes no estaleiro. O segundo visa evitar problemas de segurança e saúde durante a montagem da obra.

Um diretor de obra deve conhecedor a legislação em vigor acerca de segurança e saúde, ou seja, a regulamentação, a sinalização, os equipamentos de proteção individual e coletiva, emissão de ruído, utilização de substâncias perigosas, riscos elétricos, etc.

O objetivo em obra passa por gerir todos os recursos com o menor risco possível, isto é, diminuir a eventual ocorrência de uma situação desagradável ou inconveniente, associada a perigo, de onde poderá originar ocorrência de acidentes. Conforme a probabilidade de ocorrência, estima-se o risco (Semedo, 2009).

5.8.8 Ambiente

O sector da construção civil é um dos que produz maior quantidade de resíduos e que tem mais impacte ambiental. Deste modo, é fundamental ter políticas direcionadas para a preservação do Meio Ambiente (Semedo, 2009).

Atualmente, começa a ser prática comum a conceção e implementação de um Plano de Gestão Ambiental, que englobe formação e sensibilização, acompanhamento ambiental e

a gestão dos resíduos. A formação e sensibilização devem ser específicas para os diretores de obra, encarregados e os restantes trabalhadores.

Em obra é essencial estimular todos os trabalhadores a reduzirem o impacto ambiental das atividades que executam, minimizando os desperdícios e colaborando para a eficaz reutilização e reciclagem dos resíduos. Sendo bastante relevante que a separação dos resíduos seja oportunamente pensada pelo diretor de obra. A adequada triagem de resíduos e o correto acondicionamento nos estaleiros e frentes de trabalho é de enorme importância (Semedo, 2009).

5.9 Custeio de obra

Em posse das despesas gastas em cada uma das atividades em que se produziu trabalho, torna-se fácil fazer a comparação entre os custos previstos e os verdadeiros. O responsável pela produção, o diretor de obra, deve comparar valores, estudá-los e atuar assertivamente. Assim, é mais simples apurar onde ganha, onde perde e se correu tudo como previsto, cabendo-lhe atuar em conformidade para que seja cumprido o contrato, sempre com uma política de custos estruturada, bem ponderada, de modo a concluir a obra e obter o máximo de lucro com a melhor qualidade do produto final. (Semedo, 2009)

O custeio de obra consiste numa tabela que está dividida nas seguintes colunas: orçamento, valor real e diferença entre o orçamento e o real. Estas colunas estão associadas a cada artigo, sendo estes compostos por: Acessórios e consumíveis, Armazém, Combustíveis, Estaleiro, Fabrico, Gestão de obra, Gestão de projeto, Mão-de-obra de montagem, Mão-de-obra técnica, Material de escritório, Pintura, Subcontratos e Transportes.

Ao longo da execução da obra a tabela vai sendo atualizada pelo Diretor de obra e assim vão sendo encontrados desvios entre o orçamento e o valor real. Quando a obra estiver finalizada faz-se uma comparação entre o valor orçamentado e o valor faturado, o objetivo é que o valor faturado seja superior para se obter uma margem de lucro.

Não é possível apresentar um custeio da obra, pois os valores reais não podem ser apresentados, de forma a proteger os dados da obra.

5.10 Fecho de obra

A reunião de fecho de obra consiste numa análise do custeio de obra, concluindo assim os desvios entre o faturado e o orçamento, verificando assim o lucro total da obra. Através desta análise permite verificar quais foram os erros cometidos na obra para que não sejam repetidos em obras futuras.

Como não é possível apresentar valores e conclusões reais, de seguida apresentam-se algumas possíveis causas e erros cometidos durante a execução de uma obra. Numa obra poderão ocorrer atrasos e desvios entre o valor real e o valor orçamentado, tendo como possíveis causas:

- i. Erros e omissões no Caderno de encargos;
- ii. Trabalhos a mais solicitados pelo cliente;
- iii. Atrasos no planeamento da obra, nomeadamente na montagem em obra causada por intempéries;
- iv. Atualização de preços dos materiais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente documento referiu-se ao relatório do estágio curricular realizado na empresa Arestalfer. Neste trabalho desenvolveu-se todas as fases inerentes à execução e conceção de um caso de estudo, a obra da Escola Gaspar Frutuoso, localizada nos Açores. Ao longo do estágio passaram-se por diversas fases: Orçamentação; Projeto; Planeamento de obra; Preparação e Gestão de obra.

O edifício é composto por 10 corpos estruturais, no entanto procedeu-se à conceção de apenas 6 desses. A estrutura foi realizada com perfis HEB300, RHS 100x100x10 e RHS 150x150x12.

A fase inicial da orçamentação passou pela realização do mapa de quantidades, de acordo com os desenhos e o caderno de encargos enviados pelo cliente. Com base no mapa de quantidades desenvolveu-se o orçamento da obra, recorrendo ao estudo de cada custo envolvido na execução da obra. O orçamento dividiu-se em custos diretos e indiretos e margem de lucro. Os custos diretos correspondem a: aquisição do material; chapas de ligação; parafusos, chumbadouros e conetores; projeto; preparação de obra; fabrico; qualidade e segurança; pintura; transporte; montagem; soldadores; gestão de obra; equipamentos. Os custos indiretos correspondem a: garantias bancárias; encargos financeiros; encargos 4% (como definido no ponto 2.3.2). Em forma de conclusão desta fase, realizou-se uma avaliação do custo, para verificar quais os custos mais relevantes na obra.

No projeto realizou-se o dimensionamento dos componentes estruturais de todos os edifícios, referidos anteriormente, através do programa de cálculo *Robot Structural Analysis*.

O capítulo de projeto apresentou-se apenas a escolha das ações a considerar, a elaboração das combinações de ações, o dimensionamento, de uma viga e de um pilar, e o cálculo de duas ligações aparafusadas (viga-viga e coluna-viga), uma ligação soldada e um chumbadouro e a verificação da resistência ao fogo, de uma viga e de um pilar. No dimensionamento e no cálculo das ligações apresentou-se uma comparação dos valores obtidos através do programa de cálculo *Robot* e a folha de cálculo realizada para o efeito.

As ações consideradas foram as ações permanentes (peso próprio e restantes cargas permanentes), as ações variáveis (sobrecarga e vento), o sismo e o fogo. As combinações de ações realizaram-se para o estado limite último e estado limite de serviço.

O dimensionamento realizou-se para uma viga e um pilar onde os esforços eram máximos, para a combinação de ações mais desfavorável. Os elementos verificaram-se em relação à resistência da secção transversal e à resistência do elemento à encurvadura. Nas verificações apresentadas correspondem às que suscitaram dúvidas na comparação entre os cálculos efetuados pelo programa de cálculo e folhas de cálculo realizadas para o efeito.

Nas ligações aparafusadas escolheu-se uma ligação viga-viga e outra coluna-viga, cujos esforços eram os máximos, para a combinação de ações mais desfavorável. A ligação aparafusada viga-viga localizou-se num local onde os momentos eram aproximadamente nulos, de forma a serem desprezados. Efetuou-se também uma ligação soldada entre uma coluna e uma viga, na ligação com os esforços máximos. O chumbadouro calculado corresponde também à ligação com as reações máximas, para a combinação de ações mais desfavorável.

A verificação ao fogo efetuou-se com recurso ao programa *Elefir-EN*, realizando a verificação de uma viga e de um pilar. Desta verificação obteve-se a temperatura crítica de cada elemento, que será utilizada para a escolha da espessura da tinta, definida pelo cliente no esquema de pintura.

No capítulo de planeamento definiram-se a listagem, a duração e o encadeamento das tarefas, os recursos e o equipamento, de forma a elaborar o Diagrama de *Gantt*. O Diagrama de *Gantt* realizou-se com a ferramenta *MS Project*. Desta ferramenta retiraram-se ainda diagramas de recursos, tempo e financeiro. Por último abordam-se os motivos e formas de minimizar os atrasos que podem ocorrer no planeamento de uma obra.

Na fase de preparação de obra abordam-se diversos temas: classe de execução, direção de obra, aprovisionamentos, fabrico, transporte, montagem, custeio de obra e fecho de obra.

A classe de execução da obra foi de EXC2, apresentando requisitos específicos para a execução da fabricação dos elementos para a obra.

O Diretor de obra é o responsável por toda a fase de preparação e gestão de obra. Este tem que dirigir os aspetos administrativos, técnicos e económicos, sendo responsável pelo cumprimento de todas as cláusulas do contrato, caderno de encargos e restantes peças do projeto e das normas e disposições legais em vigor.

A preparação de obra realizou a modelação em *Tekla* da obra, onde se retiraram desenhos de aprovação, desenhos de corte, desenhos de conjunto, *NCfiles*, desenhos de montagem, listagens de material, listas de parafusos, listas de componentes e de elementos. O Plano de fabrico é composto por todos os elementos pertencentes a esse plano, como os desenhos de corte, os desenhos de conjunto, os desenhos de montagem, os NC files e a folha de rosto. O aproveitamento do material foi realizado para cada plano de fabrico, através da ferramenta *Cut IQ*. Após a realização do aproveitamento, elaborou-se a requisição do material necessário para esse plano de fabrico. O esquema de pintura foi elaborado de acordo com o Caderno de Encargos e Notas Técnicas.

O departamento de aprovisionamentos realizou os pedidos de compra, com base nas requisições de material, e o mapa comparativo de fornecedores. O processo de fabrico englobou o corte, a furação, a limpeza, a armação, a soldadura, a limpeza de solda e o tratamento superficial. Processou-se também o transporte que se realizou através de camiões e contentores transportados por navio, dado a localização da obra.

A montagem da obra inicia-se após a preparação das condições em obra, sendo essencial nesta fase a logística, de materiais e de mão-de-obra, e a gestão de equipamentos. Durante a montagem teve de se assegurar diversos requisitos, qualidade, segurança e ambiente, desta forma efetuaram-se verificações e inspeções. O custeio de obra foi atualizado ao longo da execução da obra, correspondendo à comparação entre o valor orçamentado e o valor faturado.

O fecho de obra correspondeu ao final da conceção e execução da obra. A reunião de fecho de obra consistiu na análise do custeio de obra e na verificação do lucro desta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, R. (2008), *Planeamento de obra*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Arcelor Mittal (2014), *Profilés et Aciers Marchands Sections and Merchant Bars Profil – und Stabstahl*, Arcelor Mittal, Luxembourg.
- Arestalfer (2015). (<http://www.arestalfer.com/pt>). Acedido em Dezembro de 2015.
- Arnaldo, M. (2006). *20 ANOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL*, Instituto Politécnico de Tomar, Tomar.
- Autodesk (2016), *Manual de utilização do Robot Structural Analysis*, Autodesk.
- Cardoso, J. (2011), Desenvolvimento e implementação de um sistema de custeio por encomenda numa empresa de metalomecânica, Universidade do Minho, Braga.
- CEN (1997), EN 970, *Non-destructive examination of fusion welds – Visual examination*, European Committee for Standardization, Brussels.
- CEN (1998), EN 1290, *Non-destructive examination of fusion welds – Magnetic particle examination of welds*, European Committee for Standardization, Brussels.
- CEN (2004), EN 10025-2, *Hot rolled products of structural steels. Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels*, European Committee for Standardization, Brussels.
- CEN (2005), EN 14399-1, *High-strength structural bolting assemblies for preloading. Part 1: General requirements*, European Committee for Standardization, Brussels.
- CEN (2009a). *Norma Portuguesa NP EN 1990, Eurocódigo 0 - Bases para o projeto de estruturas*, IPQ, Lisboa, 2009.
- CEN (2009b). *Norma Portuguesa NP EN 1991-1-1, Eurocódigo 1 - Ações em estruturas. Parte 1-1: Ações gerais. Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios*, IPQ, Lisboa, 2009.
- CEN (2009c). *Norma Portuguesa NP EN 1991-1-5, Eurocódigo 1 - Ações em estruturas. Parte 1-5: Ações gerais. Ações térmicas*, IPQ, Lisboa, 2009.

- CEN (2010a). *Norma Portuguesa NP EN 1991-1-2, Eurocódigo 1 - Ações em estruturas. Parte 1-2: Ações gerais. Ações em estruturas expostas ao fogo*, IPQ, Lisboa, 2010.
- CEN (2010b). *Norma Portuguesa NP EN 1991-1-4, Eurocódigo 1 - Ações em estruturas. Parte 1-4: Ações gerais. Ações do vento*, IPQ, 2010.
- CEN (2010c). *Norma Portuguesa NP EN 1993-1-1, Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*, IPQ, Lisboa, 2010.
- CEN (2010d). *Norma Portuguesa NP EN 1993-1-2, Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço. Parte 1-2: Regras gerais. Verificação da resistência ao fogo*, IPQ, Lisboa, 2010.
- CEN (2010e). *Norma Portuguesa NP EN 1993-1-8, Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço. Parte 1-8: Projeto de ligações*, IPQ, Lisboa, 2010.
- CEN (2010f). *Norma Portuguesa NP EN 1998-1-1, Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1-1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios*, IPQ, Lisboa, 2010.
- CEN (2011), EN 1090-2, *Execution of Steel Structures and Aluminium Structures. Part 2: Technical Requirements for Steel Structures*, European Committee for Standardization, Brussels.
- Couto, J. (2007), *Incumprimento dos prazos na construção*, Universidade do Minho, Braga.
- Faria, J. (2014). *Sebenta de Gestão de Obras e Segurança*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Fernandes, A. (2012), *Planeamento e Acompanhamento de Obra - Estágio na Exsepi*, Instituto Superior da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Franssen, J.-M. & Vila Real, P. (2015a). *Fire Design of Steel Structures*, Eurocode Design Manuals, ECCS, Berlin.
- Galéa, Y. (2002), *Déversement élastique d'une poutre à section bi-symétrique soumise à des moments d'extrémité et une charge répartie ou concentrée*. Revue Construction Métallique n°2-2002. CTICM.
- Hendrickson, C. (1998). *Project Management for Construction*, Carnegie Mellon University, pmebook, Pittsburgh.
- INETI (2001), *Guia técnico - Setor da Indústria Marinha*, Departamento de Materiais e

- Tecnologias de Produção, Lisboa.
- Jaspart, J.-P. e Weynand, K. (2016), *Design of Joints in Steel and Composite Structures*, Eurocode Design Manuals, ECCS, Berlin.
- Martins, J. (2008), *Sebenta de Materiais de Construção II*, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Fernando Pessoa, Porto.
- Oliveira, D. (2016), *Sebenta de Dinâmica de Estruturas e Engenharia Sísmica*, Universidade do Minho, Braga, 2016.
- Peixoto, N. (2008), *Ligações metálicas de acordo com o Eurocódigo 3*, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Project Management Institute (2013), *Manual Microsoft Project Professional*, Microsoft partner.
- Reis, A. (2008). *Sebenta de dimensionamento de estruturas – Dimensionamento de estruturas metálicas*, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Ribas, J. (2015), *Planeamento e Gestão da Construção sob a Ótica da Sustentabilidade*, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Santos, F., & Simões da Silva, L. (2011). *Manual de Execução de Estruturas Metálicas, Coleção Construção Metálica e Mista*, cmm Press, Coimbra.
- SBE (2015), *High-strength structural bolting for preloading System HR and HV - Hexagon bolt, nut and washers assemblies*, Technical Data Sheet, Società Bulloneria Europea S.p.A.
- SCI/BCSA (2011) *Joints in steel construction: Simple Joints to Eurocode 3*, SCI Assessment, London, 2011.
- SCI/BCSA (2013), *Moment-resisting joints to Eurocode 3*, SCI Assessment, London, 2013.
- Semedo, J. (2009). *Direcção de obra fora de Portugal: preparação individual*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Simões da Silva, L., & Gervásio, H. (2007). *Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas: Métodos Avançados*, Coleção Construção Metálica e Mista, cmm Press, Coimbra.

Simões, R. (2014). *Manual de dimensionamento de estruturas metálicas*, Coleção Construção Metálica e Mista, cmm Press, Coimbra.

TC8 (2006), ECCS, *Rules for Member Stability in EN 1993-1-1: Background documentation and design guidelines*, ECCS, ISBN: 92-9147-000-84.

Tekla (2015), *Tekla Structures Release notes*, Tekla Corporation.

UE (2011). *Regulamento (UE) N° 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho de 9 de março de 2011*, Jornal Oficial da União Europeia, Março.

Vila Real, P & Franssen J-M. Elefir-EN V1.5.8 (July 2015b), *Software for fire design of steel structural members according the Eurocode 3*. <http://elefiren.web.ua.pt>, 2015.

ANEXOS

Anexo A – Orçamento da Obra Escola Gaspar Frutuoso

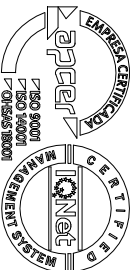
LISTA DE PREÇOS

ART.	DESIGNAÇÃO	QUANT.	Un.	EUROS	
				PREÇO /Un.	TOTAL
	Escola Gaspar Frutuoso São Miguel				
1	Fornecimento e montagem de estrutura metálica em aço S275JR, considerando pilares e vigas em perfis do tipo HEB 300. Esquema de pintura:				
1.1	Bloco A	125 896,6	kg	2,72€	342 438,81€
1.2	Bloco B	125 040,9	kg	2,73€	341 361,53€
1.3	Bloco C	125 211,8	kg	2,73€	341 828,14€
1.4	Bloco E	17 340,2	kg	2,74€	47 512,10€
1.5	Bloco F	70 807,7	kg	2,72€	192 596,95€
1.6	Bloco G	59 021,3	kg	2,72€	160 537,80€
2	Fornecimento e montagem de estrutura metálica em aço S275JR, considerando pilares e vigas em perfis do tipo SHS100x100x10. Esquema de pintura:				
2.1	Passadiços	3 757,96	kg	2,64€	9 921,02€
3	Fornecimento e montagem de estrutura metálica em aço S275JR, considerando pilares e vigas em perfis do tipo SHS150x150x12. Esquema de pintura:				
3.1	Passadiços	10 681,84	kg	2,55€	27 238,70€
TOTAL					1 463 435,05€

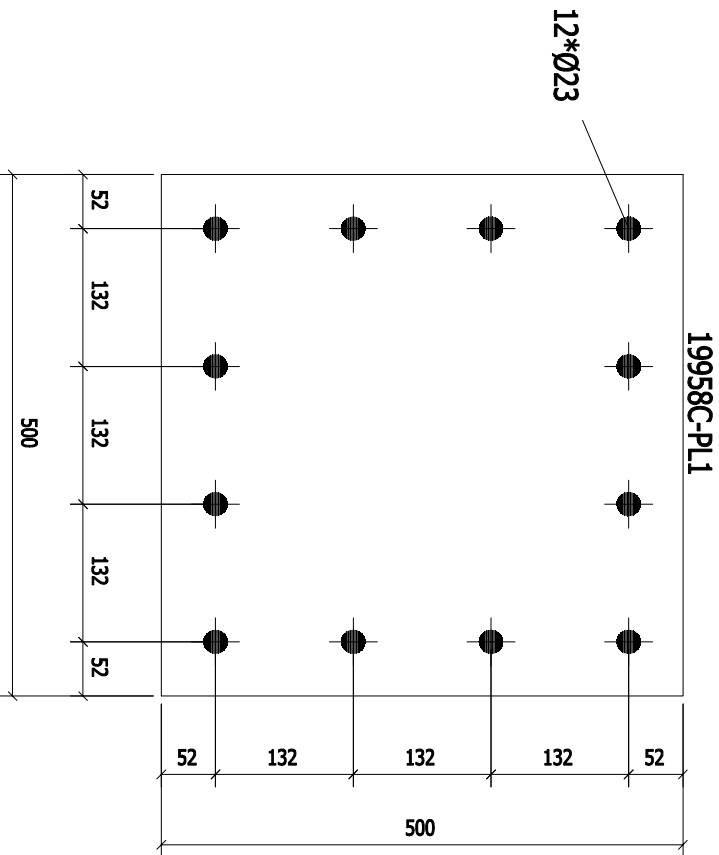
Total Geral - €

Anexo B – Desenhos de corte

ARESTALFER



Rua do Arestal - Dornelas - 3740-410 Sever do Vouga
 Tel: 234 591 000 - Fax: 234 551 341
 geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com



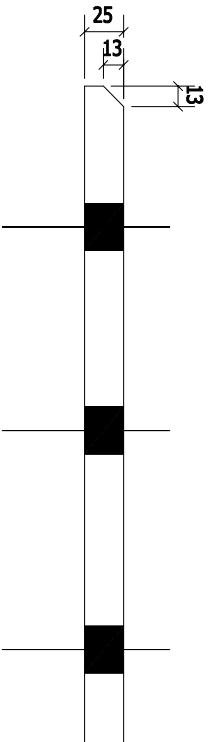
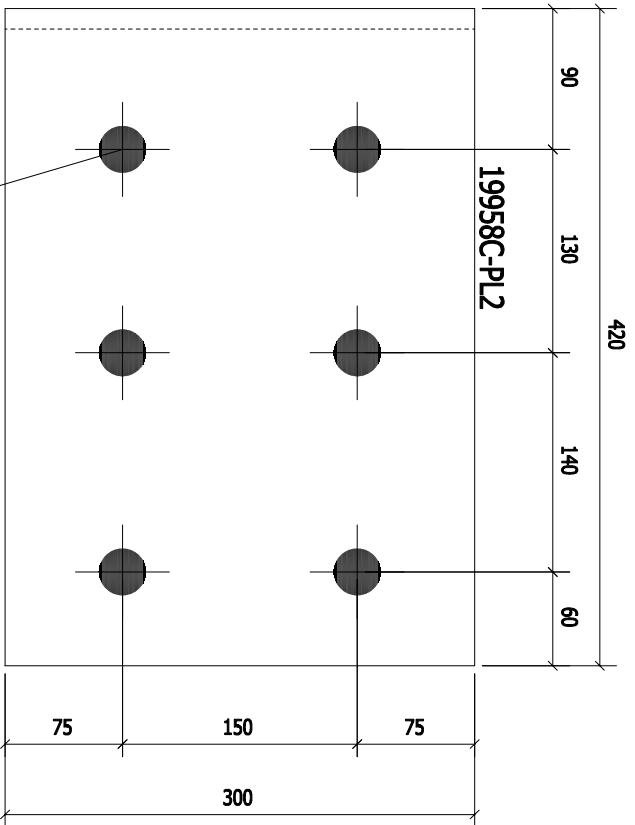
TOLERANÇAS DE REALIZAÇÃO

Assembly Tolerances

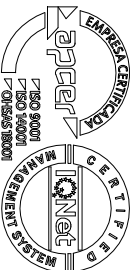
< 500	+/- 1
< 4000	+/- 2
< 8000	+/- 3
< 12000	+/- 4
< 16000	+/- 6
>= 16000	+/- 8

OPERAÇÃO	1ª Peça		Última		1ª Peça		Última		1ª Peça		Última	
	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART
OPERATION												
CONTROL												
DATA												
Nº OPERADOR												
Ord. Produzida												
TOTAL												

Chapa 20x00	mm	UNIDADES	1	QUANT. Client	1	Nº COMPONENTE Component Number	19958C-C1
OPERATION							
MATERIAL	RESINA	ESPESURA	39.3	ABEITADA	0.5	DATA	23.05.2016
DESIGNADO / Designer	Andrelia Santos	VERIFICOU / Verified		Comer.	0		
Nº DE PROJECTO	ESCOLA GASPAR FRUTUOSO						
Project Designation							
Nº DESENHO	19958C-PL1	REVISÃO	REV	Nº PROJECTO	1995		
Drawing Nº				Project Nº			
CORTE - Cutting <input type="checkbox"/> FURAÇÃO - Drilling <input type="checkbox"/> QUIMAGEM - Folding <input type="checkbox"/> ENTALHE - Notch <input type="checkbox"/> SOLDADURA - Welding <input type="checkbox"/> DOBRAGEM - Bending <input type="checkbox"/>							



ARESTALFER



Rua do Arestal - Dornelas - 3740-418 Sever do Vouga
 Tel: 234 591 000 - Fax: 234 551 341
 geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

TOLERANÇAS DE REALIZAÇÃO
 Assembly Tolerances

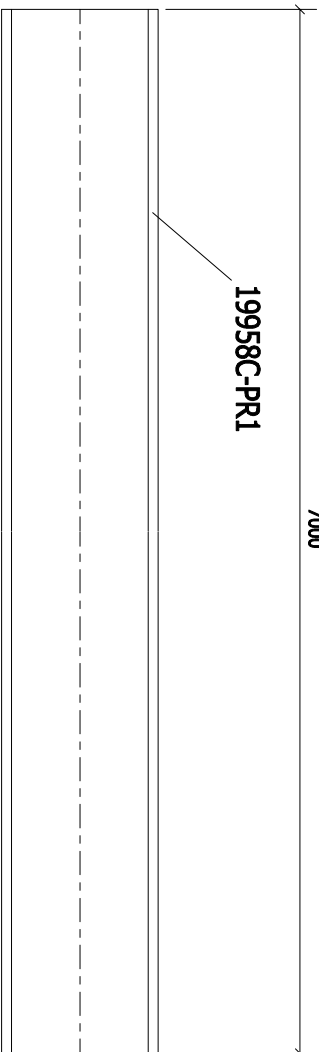
< 500	+/- 1
< 4000	+/- 2
< 8000	+/- 3
< 12000	+/- 4
< 16000	+/- 6
>= 16000	+/- 8

OPERAÇÃO	1ª Peça		Última		1ª Peça		Última		1ª Peça		Última	
	Id	PKT	Id	PKT	Id	PKT	Id	PKT	Id	PKT	Id	PKT
CONTROLO												
DATA												
Nº OPERADOR												
Ord. Produzida												
TOTAL												

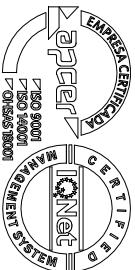
Mapa 25.00	mm	8	UNIDADES	23.05.2015	Quant.	19958C-81
MATERIAL	RESUMO	ÁREA (m²)	DATA	OPERACÃO	Quant.	19958C-C1
VERIFICOU / Verific	DESENHOU / Desenh	0,3	23.05.2015	CORTE - Cutting		
Andrelia Santos	Andrelia Santos			PERFURAÇÃO - Drilling		
				QUILAGEM - Folding		
				ENTALHE - Notch		
				SOLDADURA - Welding		
				DOBRAGEM - Bending		

Nº DE PROJECTO	Nº DESENHO	REVISÃO	Nº PROJECTO
ESCOLA GASPAR FRUTUOSO	19958C-PL2	REV	1995

A4 207x290



ARESTALFER



Rua do Arestal - Domelas - 3740-410 Sever do Vouga
 Tel: 234 591 000 - Fax: 234 551 341
 geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

TOLERANÇAS DE REALIZAÇÃO
 Assembly Tolerances

< 500 +/- 1
< 4000 +/- 2
< 8000 +/- 3
< 12000 +/- 4
< 16000 +/- 6
>= 16000 +/- 8

OPERAÇÃO	1ª Peça		Última		1ª Peça		Última		1ª Peça		Última	
	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART		
Operação												
CONTROLO												
DATA												
Nº OPERADOR												
Qtd. Produzida												
TOTAL												

HE330	1	UNIDADES(S)	QUANT. Client	1	Nº COMPONENTE Component Number	19958C-C1
MATERIAL	RESUMO	ÁREA (m²)	DATA	23.05.2016	OPERAÇÃO	Operação
VERIFICOU / Verific	DESENHOU / Desenha	818,8	0	0	CORTE - Cutting	<input type="checkbox"/>
Andrelia Santos	0	12,1	0	0	PERFORAÇÃO - Drilling	<input type="checkbox"/>
VERIFICOU / Verific	0		0	0	QUIMAGEM - Folding	<input type="checkbox"/>
					ENTALHE - Mach	<input type="checkbox"/>
					SOLDADURA - Welding	<input type="checkbox"/>
					DOBRAGEM - Bending	<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>

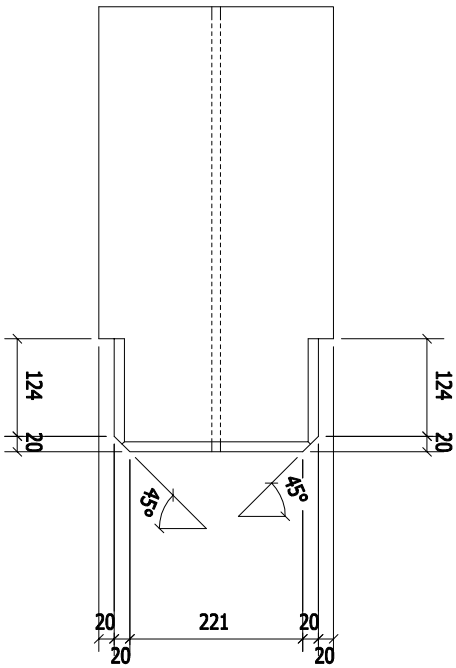
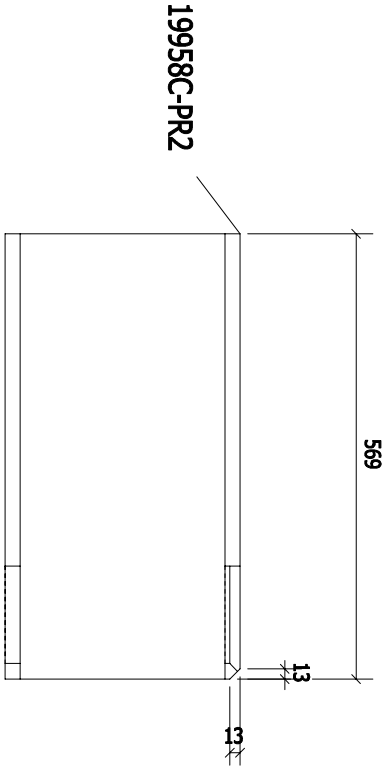
Nº DE PROJECTO
 ESCOLA GASPAR FRUTUOSO
 Project Designation:

Nº DESENHO
 19958C-PR1

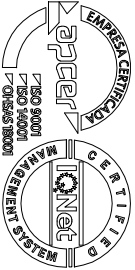
REVISÃO
 REV

Nº PROJECTO
 1995

A4
 207x290



ARESTALFER



Rua do Arestal - Domelas - 3740-418 Sever do Vouga
 Tel: 234 591 000 - Fax: 234 551 341
 geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

TOLERANÇAS DE REALIZAÇÃO

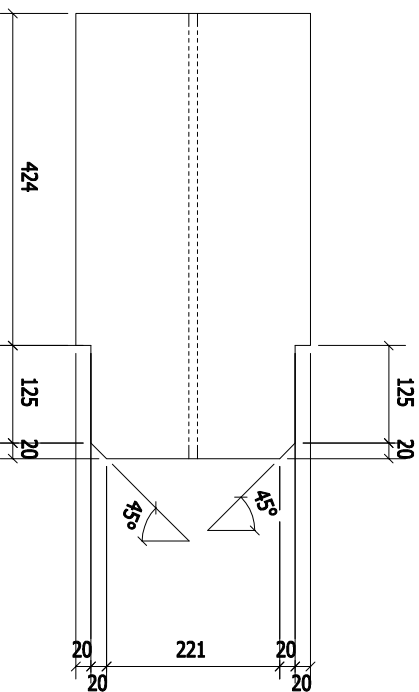
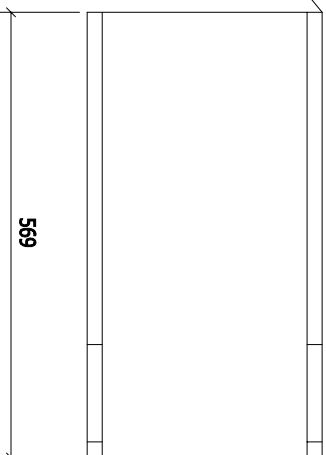
Assimilando tolerâncias

< 500	+/- 1
< 4000	+/- 2
< 8000	+/- 3
< 12000	+/- 4
< 16000	+/- 6
>= 16000	+/- 8

OPERAÇÃO	1ª Peça		Última		1ª Peça		Última		1ª Peça		Última	
	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART
OPERAÇÃO												
CONTROLO												
DATA												
Nº OPERADOR												
Qtd. Produzida												
TOTAL												

HER300	2	UNIDADES(S)	QUANT. Client.	2	Nº COMPONENTE Component Number	19958C-C1
MATERIAL	RESINA	QUANT. (kg)	66,6	1,0	DATA	23.05.2016
DESENHOU / Designe	Andrelia Santos	VERIFICOU / Verificad	0	0	OPERAÇÃO	Operação
Nº DE PROJECTO		ESCOLA GASPAR FRUTUOSO		CORTE - Cutting <input type="checkbox"/> FURAÇÃO - Drilling <input type="checkbox"/> QUILAGEM - Folding <input type="checkbox"/> ENTALHE - Mach <input type="checkbox"/> SOLDADURA - Welding <input type="checkbox"/> DOBRAGEM - Bending <input type="checkbox"/>		
Nº DESENHO	19958C-PR2	REVISÃO	REV	Nº PROJECTO	1995	

19958C-PR3



HE330	QUANT. Client	Nº COMPONENTE Component Number
2	2	19958C-C1
UNIDADES(S)		OPERAÇÃO Operação

MATERIAL	RESUMO	AREA(m²)	DATA	OPERAÇÃO
HE330	66,6	1,0	23.05.2016	
CLASSIF.				

DESENHOU / Designer	CONTE	CORTE - Cutting
Andréia Santos	0	PERFURAÇÃO - Drilling
VERIFICOU / Verifier	0	QUIMAGEM - Folding
		ENTALHE - Notch
		SOLDADURA - Welding
		DOBRAGEM - Bending

TOLERÂNCIA DE ACABAMENTO

Acabamento: Brancos

< 500 +/- 1

< 4000 +/- 2

< 8000 +/- 3

< 12000 +/- 4

< 16000 +/- 6

>= 16000 +/- 8

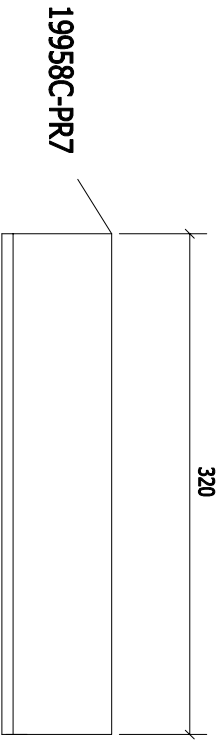
OPERAÇÃO	1ª Peça		Última		1ª Peça		Última		1ª Peça		Última	
	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART
CONTROLO												
DATA												
Nº OPERADOR												
Qtd. Produzida												
TOTAL												

Nº DE PROJECTO	Nº DESENHO	REVISÃO	Nº PROJECTO
ESCOLA GASPAR FRUTUOSO	19958C-PR3	REV	1995
Project Designer:			
A4			
307x210			

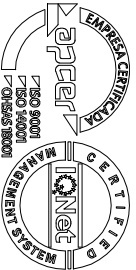
ARESTALFER



Rua do Arestal - Domelas - 3740-410 Sever do Vouga
 Tel: 234 591 000 - Fax: 234 551 341
 geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com



ARESTALFER



Rua do Arestal - Dornelas - 3740-418 Sever do Vouga
 Tel: 234 591 000 - Fax: 234 551 341
 geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

TOLERANÇAS DE REALIZAÇÃO

Assimil. Dimensões

< 500	+/- 1
< 4000	+/- 2
< 8000	+/- 3
< 12000	+/- 4
< 16000	+/- 6
>= 16000	+/- 8

OPERAÇÃO	1ª Peça		Última		1ª Peça		Última		1ª Peça		Última	
	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART
OPERAÇÃO												
CONTROLO												
DATA												
Nº OPERADOR												
Qtd. Produzida												
TOTAL												

L2177	2	UNIDADES(S)	2	QUANT. Client.	2	Nº COMPONENTE Component Number	19958C-C1
MATERIAL	RESINA	AREIA (m³)	24	DATA	23.05.2016	OPERAÇÃO	Operação
DESENHOU / Designer	VERIFICOU / Verifier			Conte.	0	CORTE - Cutting	<input type="checkbox"/>
Andrelia Santos				Conte.	0	FURAÇÃO - Drilling	<input type="checkbox"/>
						QUIMAGEM - Folding	<input type="checkbox"/>
						ENTALHE - Notch	<input type="checkbox"/>
						SOLDADURA - Welding	<input type="checkbox"/>
						DOBRAGEM - Bending	<input type="checkbox"/>
							<input type="checkbox"/>
							<input type="checkbox"/>
							<input type="checkbox"/>
							<input type="checkbox"/>

Nº DE PROJECTO

ESCOLA GASPAR FRUTUOSO

Project Designation:

Nº DESENHO Drawing Nº

19958C-PR7

REVISÃO REV

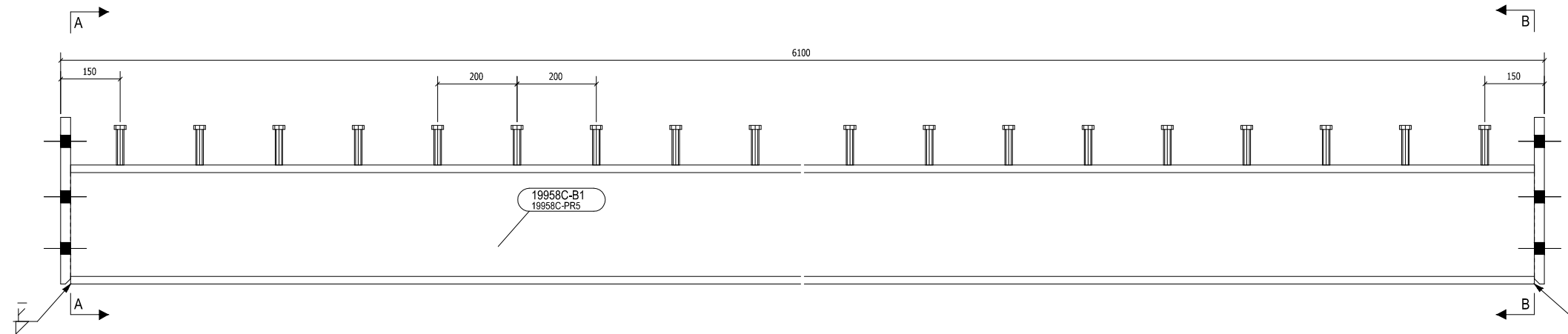
Nº PROJECTO Project Nº

1995

A4

367x240

Anexo C – Desenhos de conjunto



19958C-B1
19958C-PR5

60 Conectores // 200 mm
M19 x 90

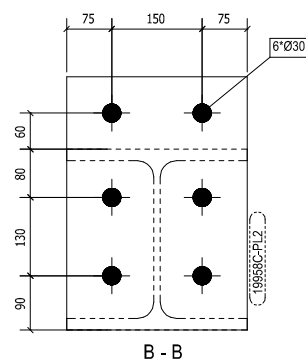
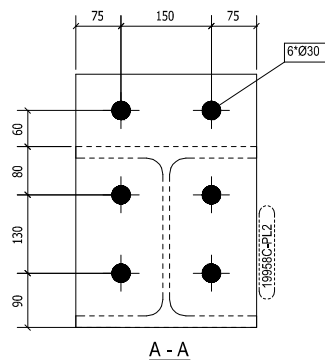


TABELA DE CONDIÇÕES DE SOLDAGEM			
Posição	Material	Processo	Norma
Vertical	PL 25	MA	EN 10025-2
Horizontal	PL 25	MA	EN 10025-2
Horizontal	PL 25	MA	EN 10025-2
Horizontal	PL 25	MA	EN 10025-2

• Verificar as condições de soldagem em função da espessura e do tipo de metal.
 • Verificar as condições de soldagem em função do tipo de metal e do tipo de processo.
 • Verificar as condições de soldagem em função do tipo de metal e do tipo de processo.
 • Verificar as condições de soldagem em função do tipo de metal e do tipo de processo.
 • Verificar as condições de soldagem em função do tipo de metal e do tipo de processo.
 • Verificar as condições de soldagem em função do tipo de metal e do tipo de processo.
 • Verificar as condições de soldagem em função do tipo de metal e do tipo de processo.

Nota:
Soldadura 0.7 x esp min
excepto indicado em contrário

1 UNIDADES			
Lista de Elementos para uma unidade		19958C-B1	
Elemento	Quantidade	Material	Qt. Orç.
19958C-PL2	2	PL 25 S355JR	2
19958C-PR5	1	HEB300 S355JR	1
Total de Elementos		Total de Valorização	
		0	

OPERACÃO	RESPONSÁVEL	DATA	OPERACÃO
OPERACÃO	ANDREA SANTOS	23.05.2016	OPERACÃO
CONTRÓLELO	ANDREA SANTOS	23.05.2016	CORTE - Cutting
CONTRÓLELO	ANDREA SANTOS	23.05.2016	FURACO - Drilling
CONTRÓLELO	ANDREA SANTOS	23.05.2016	DOBRAGEM - Folding
CONTRÓLELO	ANDREA SANTOS	23.05.2016	ENTALHE - Notch
CONTRÓLELO	ANDREA SANTOS	23.05.2016	SOLDADURA - Welding
CONTRÓLELO	ANDREA SANTOS	23.05.2016	DOBRAGEM - Bending
CONTRÓLELO	ANDREA SANTOS	23.05.2016	CONTRÓLELO

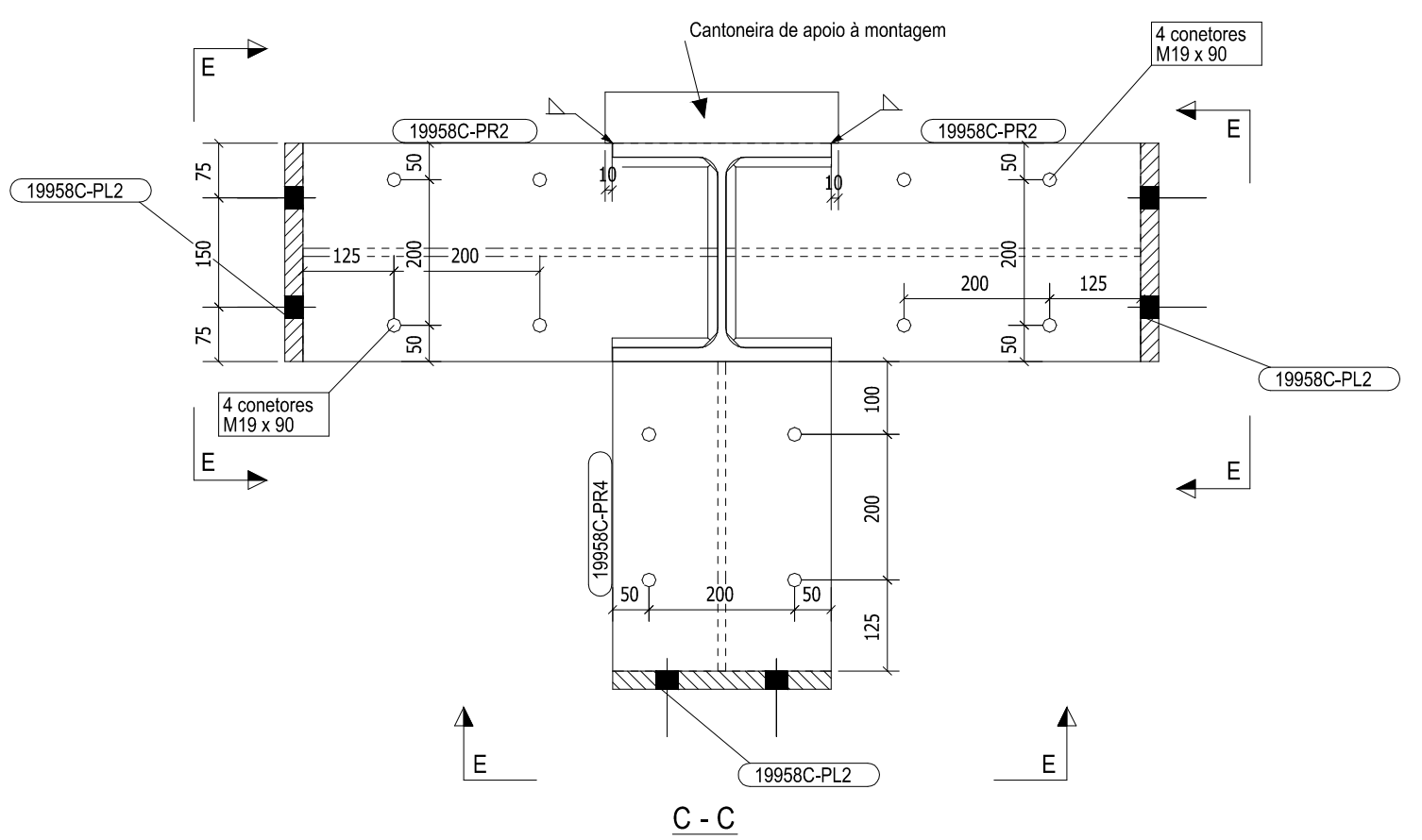
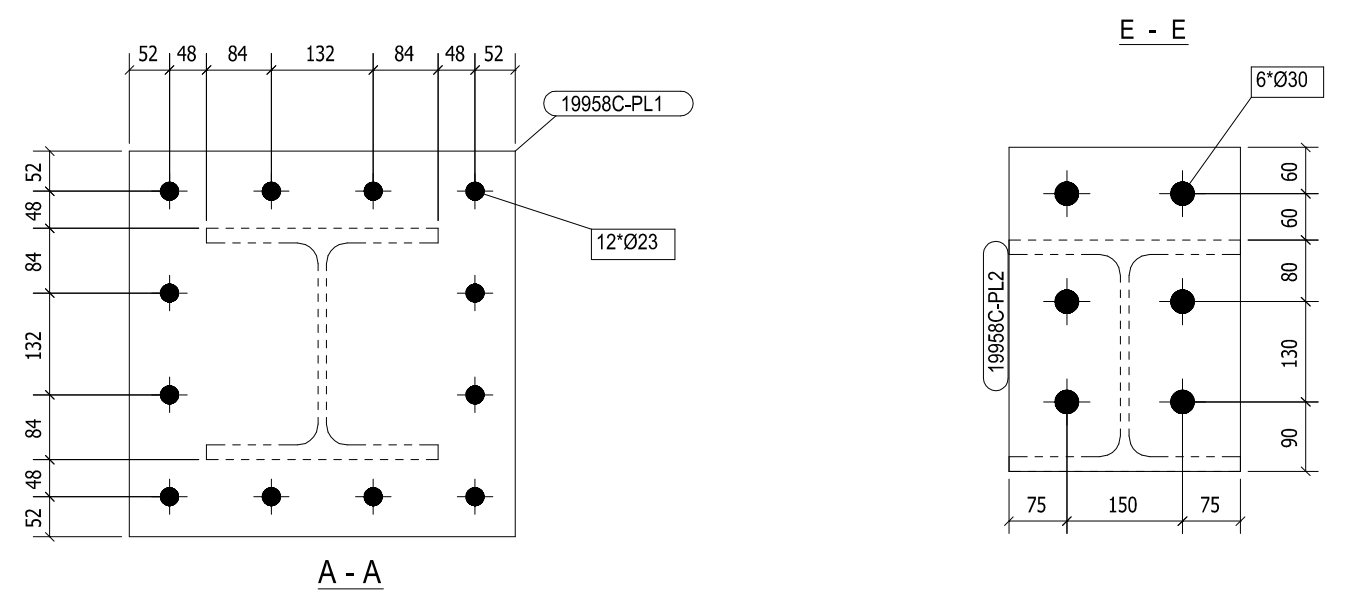
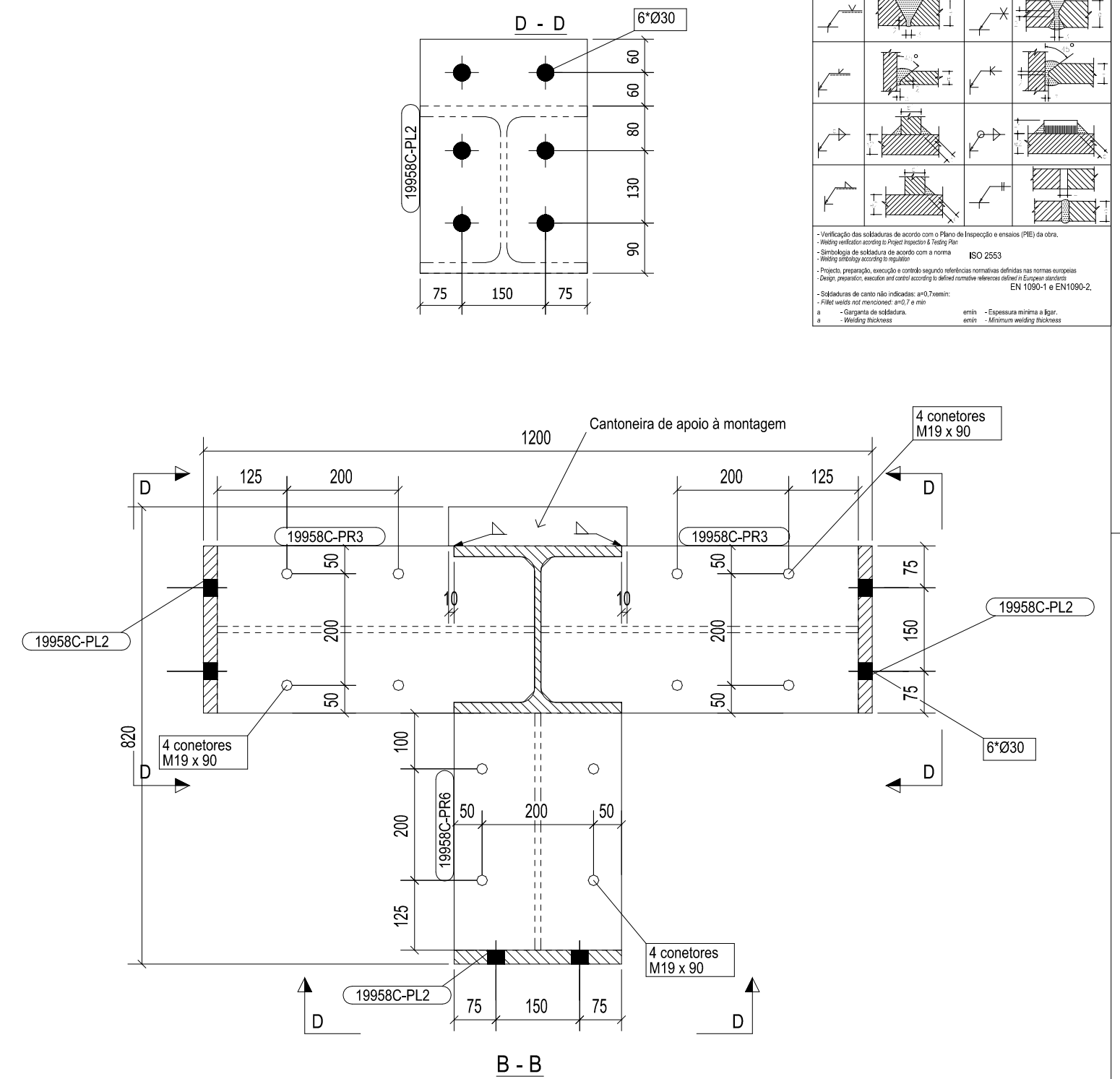
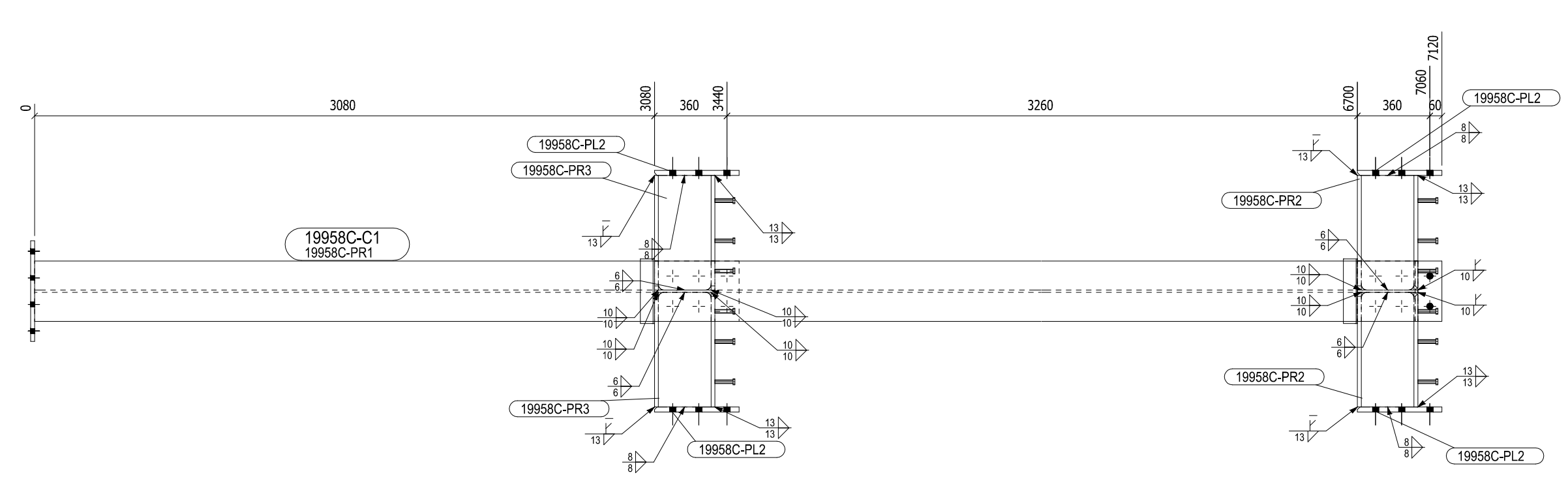
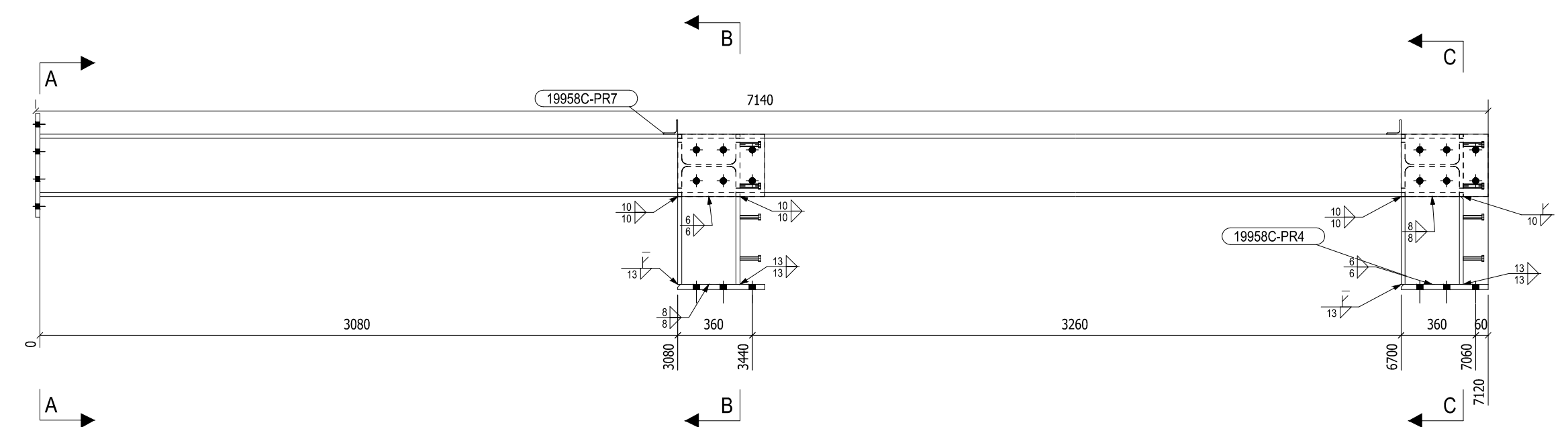
OPERACÃO	1ª Peça	Última	1ª Peça	Última	1ª Peça	Última
OPERACÃO						
CONTRÓLELO						
CONTRÓLELO						
CONTRÓLELO						
CONTRÓLELO						
CONTRÓLELO						
CONTRÓLELO						
CONTRÓLELO						
CONTRÓLELO						
CONTRÓLELO						

ARESTALFER

Rua do Arestal - Dornelas - 3740-418 Sever do Vouga
Tel: 234 551 000 - Fax: 234 551 341
geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

TOLERANÇAS DE DIMENSÕES GERAIS			
Tolerância	ISO 286	ISO 286	ISO 286
±0.1	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±0.2	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±0.3	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±0.5	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±1.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±1.5	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±2.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±3.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±4.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±5.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±6.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±7.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±8.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±9.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±10.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±12.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±15.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±18.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±20.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±25.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±30.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±35.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±40.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±45.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±50.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±60.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±70.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±80.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±90.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±100.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±120.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±150.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±200.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±250.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±300.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±400.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±500.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±600.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±800.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±1000.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±1200.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±1500.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±2000.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±2500.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±3000.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±4000.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±5000.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±6000.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±8000.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6
±10000.0	H7/g6	H7/g6	H7/g6

- Verificação das soldaduras de acordo com o Plano de Inspeção e ensaio (PIE) da obra.
 - Alargamento mínimo a laser: 1mm/100m.
 - Desdobramento da soldadura de acordo com a norma ISO 2553.
 - Projeto, preparação, execução e controle seguem referências normativas definidas nas normas europeias.
 - Design executivo baseado em normas europeias referidas no documento de especificações técnicas.
 - Soldadura de corte não indicadas: ar+T ou ar+M.
 - Falso vazio nos pontos: ar+T e ar+M.
 - Espessura de soldadura: ar+T e ar+M.
 - Welding thickness: ar+T e ar+M.
 - Espessura mínima a laser: ar+T e ar+M.
 - Minimum welding thickness: ar+T e ar+M.



Nota:
Soldadura 0.5 x esp min
excepto indicado em contrário

1 UNIDADES

Lista de Elementos para uma unidade			
ELEMENTO	QTD	Material	QT.
19958C-PL1	1	S355JR	1
19958C-PL2	6	S355JR	6
19958C-PR1	1	S355JR	1
19958C-PR2	2	S355JR	2
19958C-PR3	2	S355JR	2
19958C-PR4	1	S355JR	1
19958C-PR6	1	S355JR	1
19958C-PR7	2	S355JR	2
Total de Elementos			16

PESO (Kg)	AREA (m2)	DATA
Weight (kg)	Area (m2)	Date
1375.5	19.9	23.05.2016

DESENHOU / Designer	Contec.	OPERAÇÃO
Andreia Santos		Operador
RESPONSÁVEL / Responsible	Contec.	CORTE - Cutting
		FURAÇÃO - Drilling
		QUINAGEM - Folding
		ENTALHE - Notch
		SOLDADURA - Welding
		DOBRAGEM - Bending

Nº DE PROJECTO	DATA	Nº DE PROJECTO
ESCOLA GASPAR FRUTUOSO	23.05.2016	1995
Project Designation	Date	Project No
Nº DESENHO	REVISÃO	Nº DESENHO
19958C-1	REV	1995
Drawing No	Revision	Project No

OPERAÇÃO	1ª Peça	Última	1ª Peça	Última	1ª Peça	Última
Operation	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART	1st PART	Last PART
CONTRÓLO						
DATA						
Nº OPERADOR						
Qtd. Produzida						
TOTAL						

TOLERANÇAS DE ARMAÇÃO
Quantity Tolerance
< 500 +/- 1
< 4000 +/- 2
< 8000 +/- 3
< 12000 +/- 4
< 16000 +/- 6
>= 16000 +/- 8

ARESTALFER

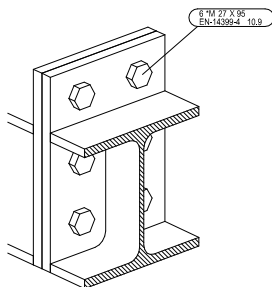


Rua do Arestal - Dornelas - 3740-418 Sever do Vouga
Tel: 234 591 000 - Fax: 234 551 341
geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

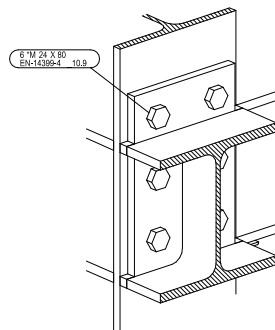
Anexo D – Desenhos de montagem

LIGAÇÕES APARAFUSADAS

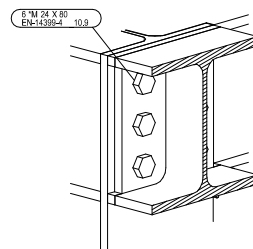
Ligação L1



Ligação L2

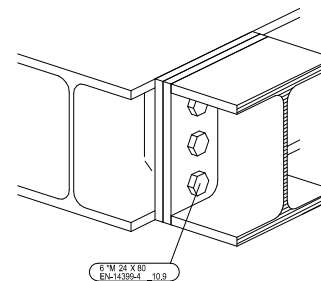


Ligação L3



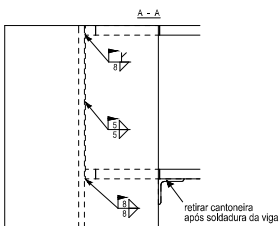
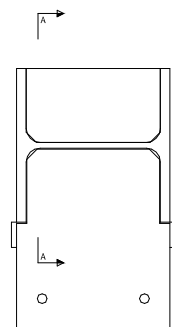
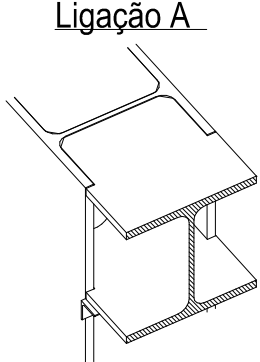
Ligação L5

(Só existe 2 situações no Bloco A)

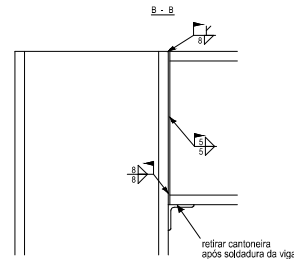
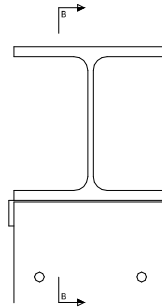
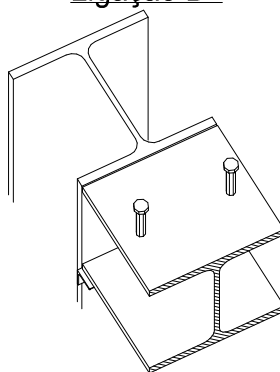


LIGAÇÕES SOLDADAS EM OBRA

Ligação A



Ligação B

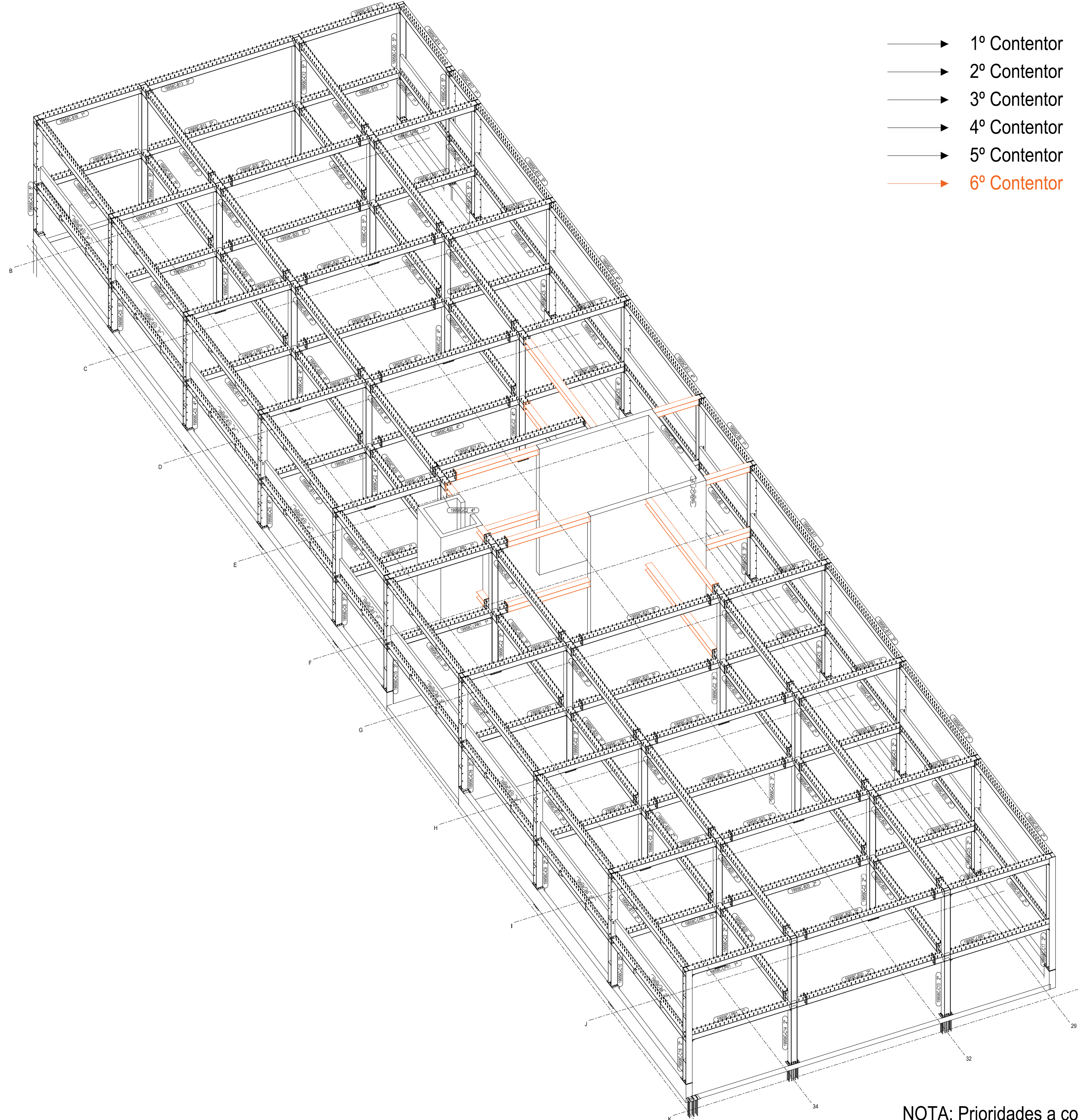


ARESTALFER



Rua do Arestal - Dornelas - 3766418 Sever do Vouga
 Tel: 234 581 000 - Fax: 234 581 541
 geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

000188	1				
0002	2				
0003	3				
01	02	03	04	05	06
07	08	09	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174
175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192
193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204
205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222
223	224	225	226	227	228
229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246
247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258
259	260	261	262	263	264
265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276
277	278	279	280	281	282
283	284	285	286	287	288
289	290	291	292	293	294
295	296	297	298	299	300



- 1º Contentor
- 2º Contentor
- 3º Contentor
- 4º Contentor
- 5º Contentor
- 6º Contentor

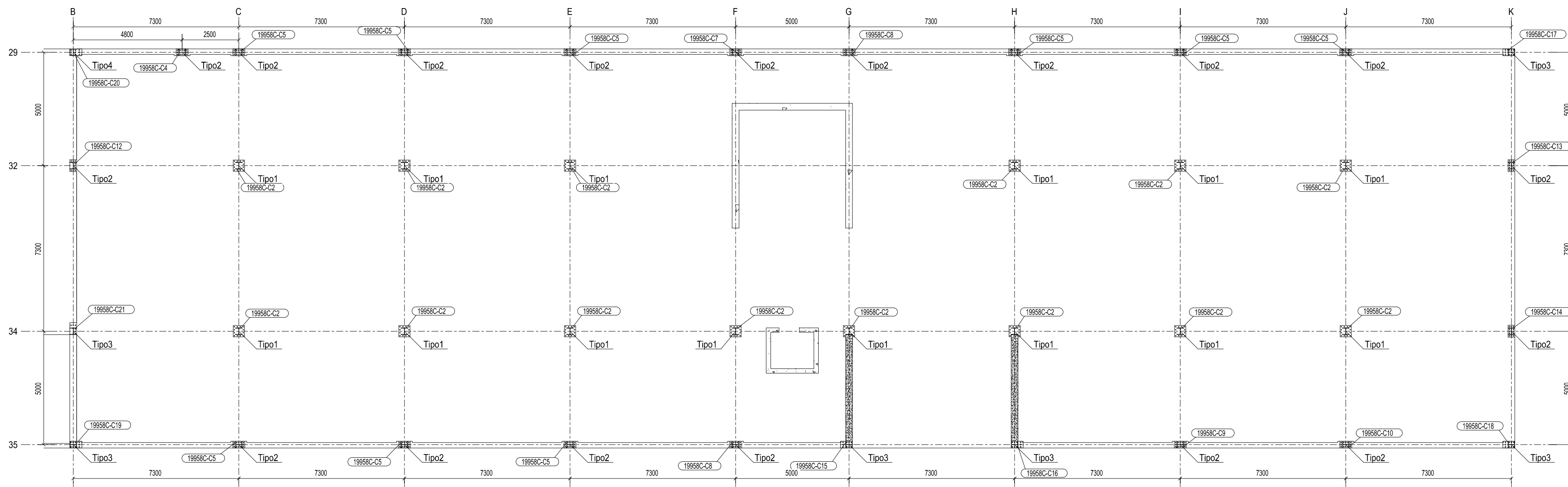


Rua do Arco - Dornelas - 3704-418 Seixal de V. Alegre
 Tel: 214 691 000 - Fax: 214 691 341
 geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

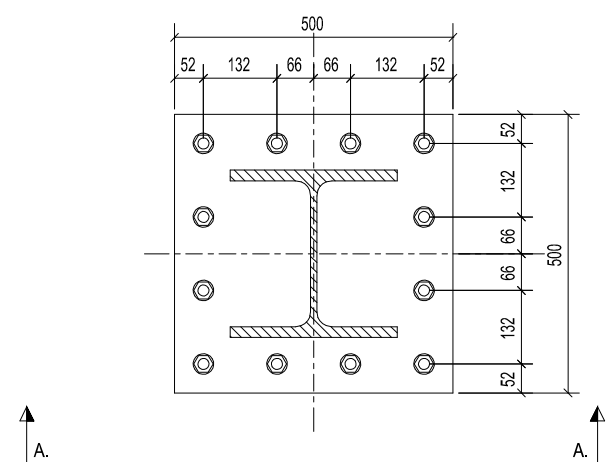
0000	Proj				
0001	Des				
0002	Rev				
0003	Rev				
0004	Rev				
0005	Rev				
0006	Rev				
0007	Rev				
0008	Rev				
0009	Rev				
0010	Rev				
0011	Rev				
0012	Rev				
0013	Rev				
0014	Rev				
0015	Rev				
0016	Rev				
0017	Rev				
0018	Rev				
0019	Rev				
0020	Rev				
0021	Rev				
0022	Rev				
0023	Rev				
0024	Rev				
0025	Rev				
0026	Rev				
0027	Rev				
0028	Rev				
0029	Rev				
0030	Rev				
0031	Rev				
0032	Rev				
0033	Rev				
0034	Rev				
0035	Rev				
0036	Rev				
0037	Rev				
0038	Rev				
0039	Rev				
0040	Rev				
0041	Rev				
0042	Rev				
0043	Rev				
0044	Rev				
0045	Rev				
0046	Rev				
0047	Rev				
0048	Rev				
0049	Rev				
0050	Rev				
0051	Rev				
0052	Rev				
0053	Rev				
0054	Rev				
0055	Rev				
0056	Rev				
0057	Rev				
0058	Rev				
0059	Rev				
0060	Rev				
0061	Rev				
0062	Rev				
0063	Rev				
0064	Rev				
0065	Rev				
0066	Rev				
0067	Rev				
0068	Rev				
0069	Rev				
0070	Rev				
0071	Rev				
0072	Rev				
0073	Rev				
0074	Rev				
0075	Rev				
0076	Rev				
0077	Rev				
0078	Rev				
0079	Rev				
0080	Rev				
0081	Rev				
0082	Rev				
0083	Rev				
0084	Rev				
0085	Rev				
0086	Rev				
0087	Rev				
0088	Rev				
0089	Rev				
0090	Rev				
0091	Rev				
0092	Rev				
0093	Rev				
0094	Rev				
0095	Rev				
0096	Rev				
0097	Rev				
0098	Rev				
0099	Rev				
0100	Rev				

NOTA: Prioridades a confirmar mediante as cargas

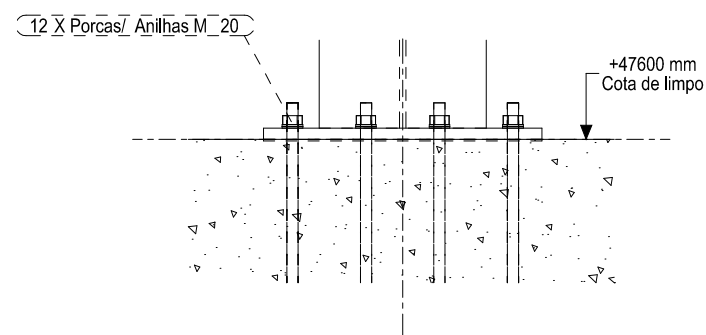
Planta de fundações



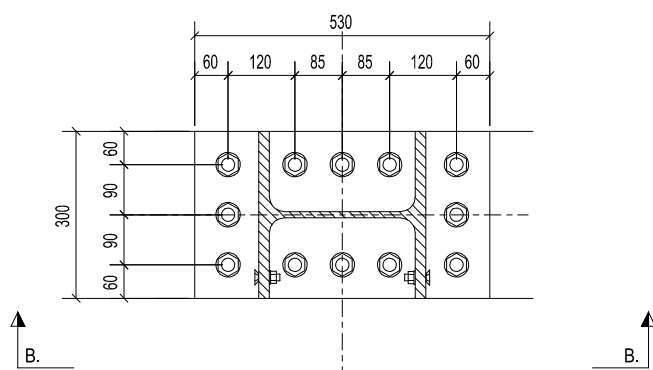
Tipo1



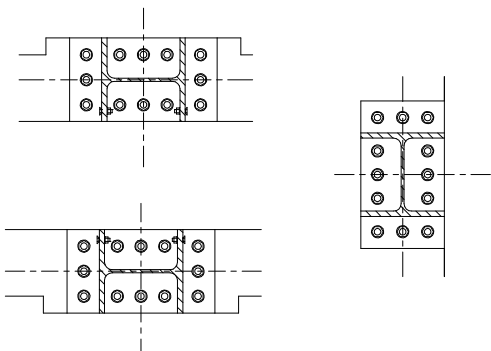
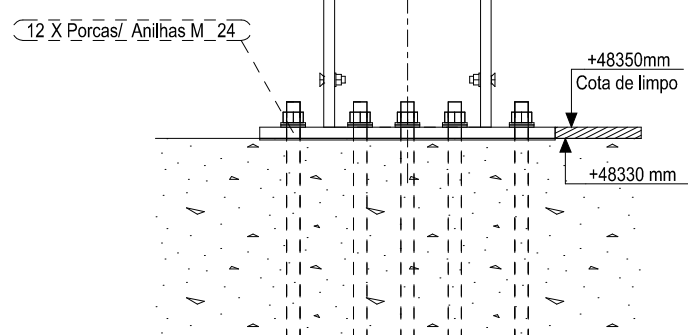
A - A



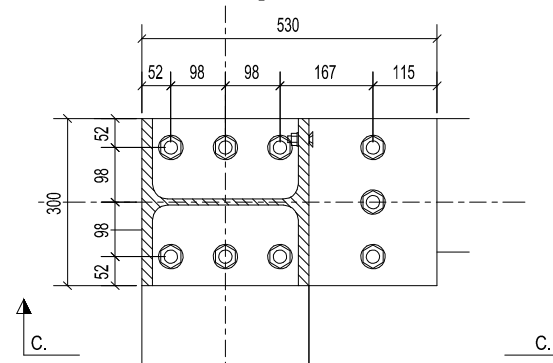
Tipo2



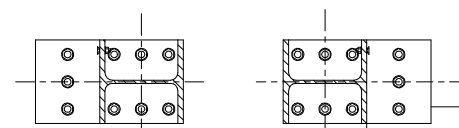
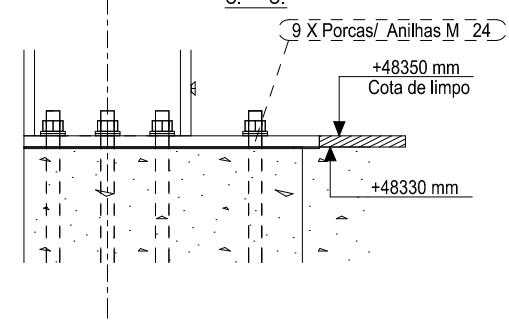
B - B



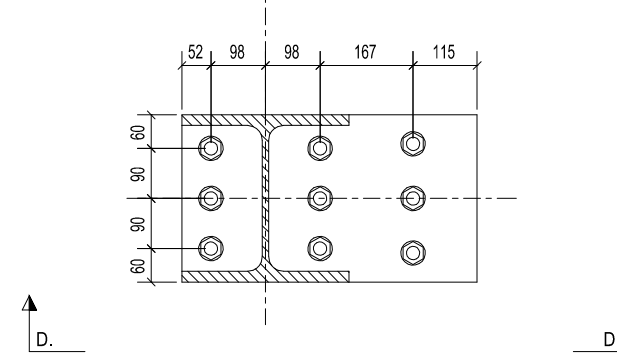
Tipo3



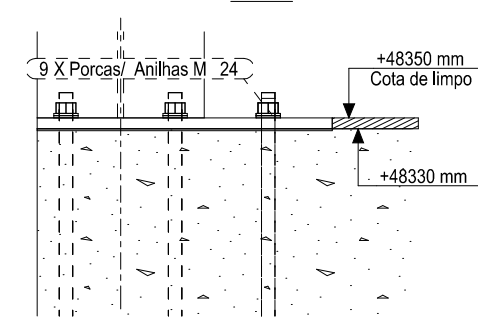
C - C



Tipo4



D - D



ARESTALFER



Rua do Arestal - Dornelas - 3740-418 Sever do Vouga
Tel: 234 591 000 - Fax: 234 551 341
geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

DOUÇEIRA	Indústria
OBJETO	Edifício
MEMBRAS	Alumínio

REV.	Ed.	DATA	DESIGNADO	CHAVEADO	REVISADO	ESP.
------	-----	------	-----------	----------	----------	------

PROJETISTA	Engenheiro	ANDRÉ SERRAS
DESENHADOR	Arquiteta	ANDRÉ SERRAS
TÉCNICO	Arquiteta	ANDRÉ SERRAS

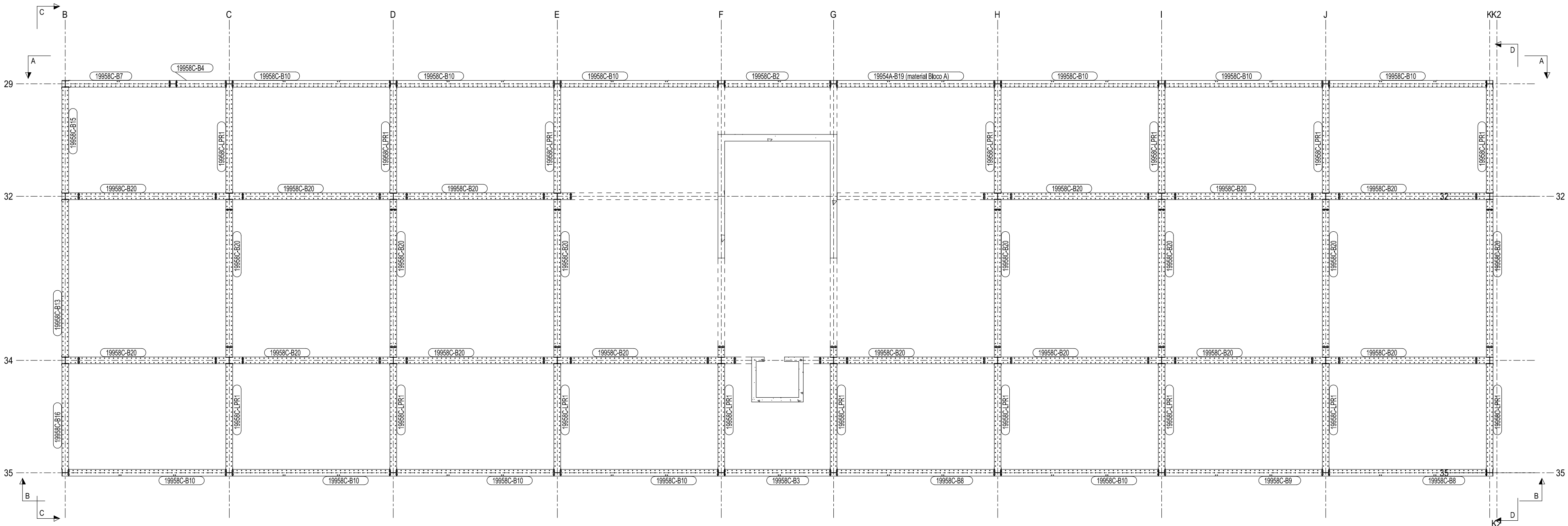
ESPECIFICAÇÃO	ESTRUTURA METÁLICA	Steel Structure
FABRICAÇÃO	PROJETO DE MONTAGEM	Site Assembly

INDICADOR: DM1995-02-16
Bloco C_Planta de fundações_Estrutura

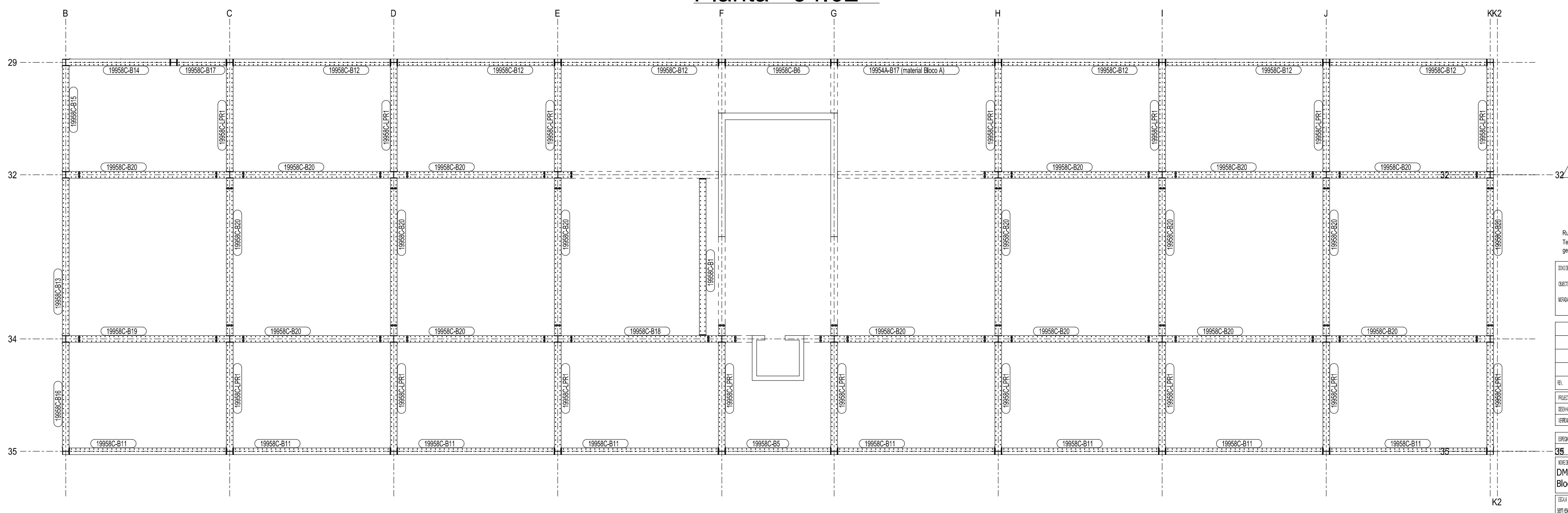
ESCALA	sem escala	DATA	2016/05/23	FÓRMOLO	A3
--------	------------	------	------------	---------	----

INDICADOR	DM1995-02-16	PROJETO	DM	1995	02
-----------	--------------	---------	----	------	----

Planta +51.00



Planta +54.62

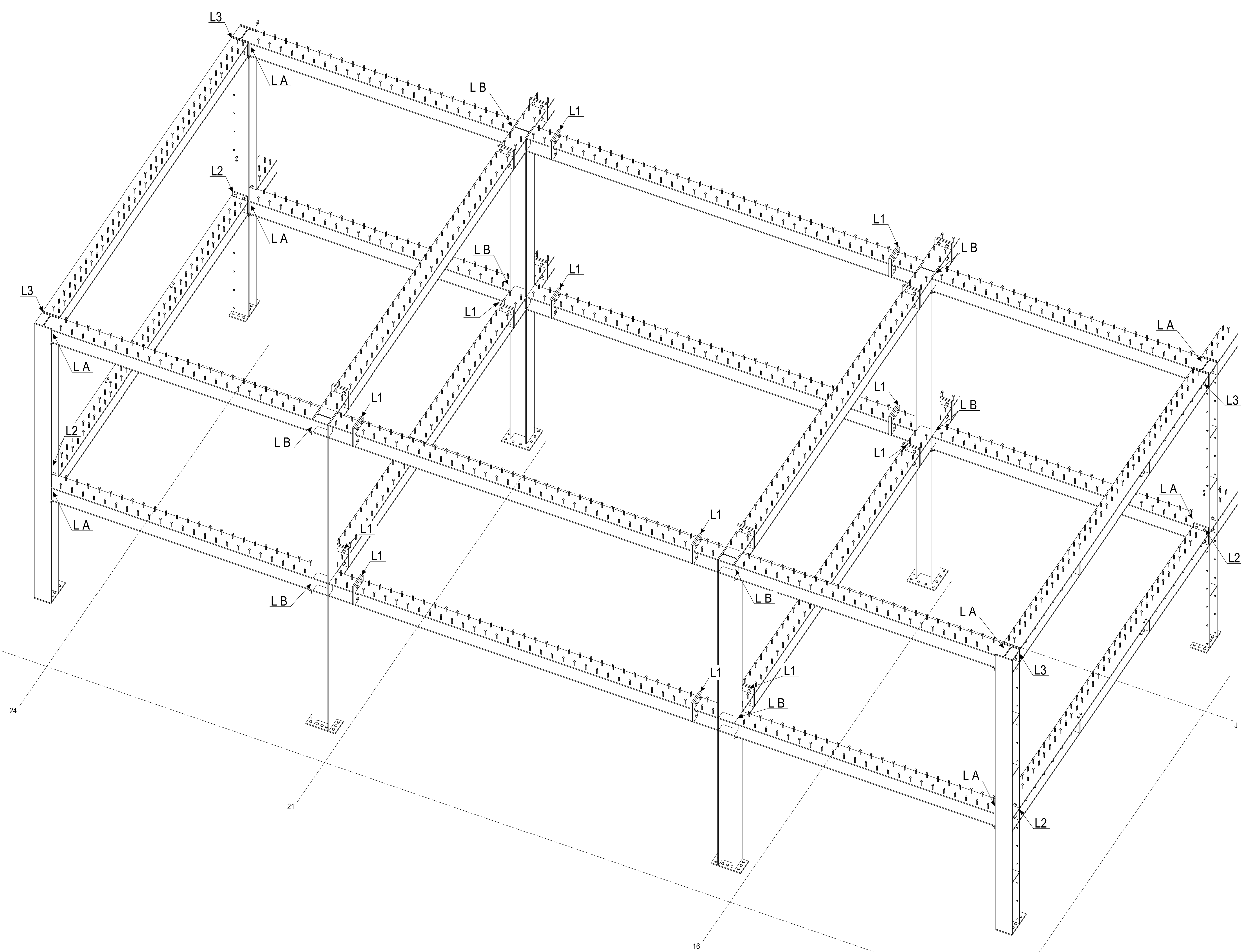


ARESTALFER



Rua do Arestal - Dornelas - 3740-418 Sever do Vouga
 Tel: 234 591 000 - Fax: 234 551 341
 geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

DOUÇURA	Indicador						
OBJETO	Indicador						
MEDIDA	Indicador						
REV.	Ed.	DATA	Des.	COORDENADO	Calculado	REVISADO	Ass.
PROJETISTA	Engen.						
REVISOR	Engen.	Andrés Santos					
TERCEIRO	Indicador						
ESPECIFICAÇÃO	Indicador	ESTRUTURA METÁLICA					
		PROJETO DE MONTAGEM					
INDICADOR	Indicador						
DM1995-05-16							
Bloco C_Plantas_Estrutura							
ESCALA	Indicador	DATA	Des.	REVISADO	Ass.		
sem escala		2016/05/23			A3		
INDICADOR	Indicador	PROJETO	Ass.	Des.	Ass.	REV.	Ass.
ESCOLA GASPAR FRUTUOSO		DM	1995			[05]	



24

21

16



Rua do Arestal - Dornelas - 3740-418 Sever do Vouga
 Tel: 234 591 000 - Fax: 234 551 341
 geral@arestalfer.com - www.arestalfer.com - comercial@arestalfer.com

DADO DE OBRA		Indicador	
OBJETO		Obra	
MONTAGEM		Montagem	
REV.	Ed.	DATA	Desenho
PROJETA	Engen.	DESIGNAÇÃO	Quantidade
REVISOR	Engen.	Arquivo	Arquivo
TERMINAR	Indicador	PROJETO DE MONTAGEM	Site Assembly
ESPECIFICAÇÃO	Indicador	ESTRUTURA METÁLICA	Steel Structure
FEEL	Indicador	PROJETO DE MONTAGEM	Site Assembly
INDICADOR			
DM1995-03-16			
Bloco C_Estrutura_3D tipo Localização ligações			
ESCALA	Indicador	DATA	Desenho
sem escala		2016/05/23	A3
INDICADOR	Indicador	PROJETO	Desenho
ESCOLA GASPAR FRUOSO	DM	1995	[03]

Anexo E – Folha de rosto

DIRECTOR DE OBRA

Nº OBRA

1995

PREPARADOR

Andreia Santos

NOME OBRA

ESCOLA GASPAR FRUTUO

Entregue para Fabrico em:**Data de Entrega em Obra:**

DATA:

DATA:

SEMANA:

SEMANA:

DESCRIÇÃO DO MATERIAL

PF8_Estrutura Corpo C

LIBERTAÇÃO DO PRODUTO:

(Rubrica de quem efetuou a validação do produto)

QT	Peça	Material	Comprimento (mm)	Área (m ²)	Peso total (kg)	Fabrico	Pintura
1	19958C-B1	HEB300	6099	11,00	756,70		
1	19958C-B2	HEB300	4700	8,54	577,79		
1	19958C-B3	HEB300	4700	8,54	577,79		
1	19958C-B4	HEB300	2200	4,21	285,38		
1	19958C-B5	HEB300	4699	8,42	569,23		
1	19958C-B6	HEB300	4699	8,42	569,23		
1	19958C-B7	HEB300	4641	8,32	561,39		
2	19958C-B8	HEB300	6999	25,38	1711,27		
1	19958C-B9	HEB300	7000	12,69	855,64		
12	19958C-B10	HEB300	6999	152,29	10267,64		
8	19958C-B11	HEB300	6999	100,59	6776,59		
7	19958C-B12	HEB300	6999	88,32	5941,39		
2	19958C-B13	HEB300	6995	24,55	1653,99		
1	19958C-B14	HEB300	4641	8,28	557,96		
2	19958C-B15	HEB300	4695	16,42	1107,13		
2	19958C-B16	HEB300	4839	16,92	1140,93		
1	19958C-B17	HEB300	2200	4,12	277,67		
1	19958C-B18	HEB300	6099	11,41	777,51		
1	19958C-B19	HEB300	6099	11,04	756,70		
39	19958C-B20	HEB300	6099	430,50	29511,11		
1	19958C-B21	HEB300	6960	12,37	836,86		
1	19958C-C1	HEB300	7140	19,90	1375,50		
13	19958C-C2	HEB300	7140	259,34	17881,94		
1	19958C-C4	HEB300	6290	12,18	817,97		
9	19958C-C5	HEB300	6290	107,92	7195,44		
1	19958C-C7	HEB300	6290	11,99	799,49		
2	19958C-C8	HEB300	6290	23,98	1598,99		
1	19958C-C9	HEB300	6290	11,99	799,49		
1	19958C-C10	HEB300	6290	11,99	799,49		
1	19958C-C12	HEB300	7140	16,06	1076,18		
1	19958C-C13	HEB300	7140	17,58	1202,29		
1	19958C-C14	HEB300	7140	17,58	1202,29		
1	19958C-C15	HEB300	6290	11,99	799,49		
1	19958C-C16	HEB300	6290	11,99	799,49		
1	19958C-C17	HEB300	6290	11,99	799,49		
1	19958C-C18	HEB300	6290	11,99	799,49		
1	19958C-C19	HEB300	6290	11,99	799,49		
1	19958C-C20	HEB300	6290	12,16	803,92		
1	19958C-C21	HEB300	7140	16,06	1076,18		
32	19958C-LPR1	HEB300	4839	267,92	18113,67		
TOTAIS				1838,92	124810,19		

Anexo F – Requisição de material

REQ. INT. - APROVISION.

Condições de Pagamento:

DOCUMENTO Nº:

DATA DE EMISSÃO: 16.06.2015

Exmos. Senhores:

Código do Projecto: 1995 PF

Descrição do Projecto: Escola Gaspar Frutuoso

Req. por:

Área de destino: Arestalfer

Fornecedor:

Observações:

1ª Encomenda HEB300

Referência	Designação	Qtd.	Un.	Entrega
	PERFIL HEB 300 S355J2 14000	22	UN	
	PERFIL HEB 300 S355JR 12350	57	UN	
	Todo o material pode ser S355JR			

Software PHC - Processado por programa certificado nº 0006/AT-Este documento não serve de fatura

Not

- a) O início do prazo de pagamento contar-se-á a partir da data de recepção das facturas dos nossos serviços.
- b) A(s) Guia(s) de Remessa e Factura(s) deve(m) referenciar sempre o número deste Pedido de Compra (bem como o nº do projecto). As facturas devem ser enviadas em duplicado acompanhadas das respectivas Guias e/ou Autos de Medição. Nas encomendas o número deste Pedido de Compra (bem como o nº do projecto) deve estar bem visível na embalagem.
- c) Cada factura deve contemplar apenas um Pedido de Compra.
- d) Valor sujeito à taxa de IVA legal em vigor, quando aplicável.

- e) Solicitamos o envio da Ficha de Segurança do Produto (aplicável para substâncias químicas perigosas) e informação técnica.
- g) Deverá emitir o certificado de qualidade do tipo 3.1, assinalando o nº de vazamento correspondente, no caso de produtos metálicos, de acordo com a Norma EN 10204. O certificado de qualidade deverá obrigatoriamente acompanhar o



Arestalfer, S.A.
Rua do Arestal
Domelas
3740-418 Sever do Vouga

Tel. 234 591 000
Fax 234 551 341
geral@arestalfer.com
comercial@arestalfer.com

Anexo G – Esquema de pintura

ARESTALFER

Arestalfer, S.A.
Rua do Arestal
Dornelas
3740-418 Sever do Vouga
Portugal

ESQUEMA DE TRATAMENTO SUPERFICIAL**SURFACE TREATMENT SCHEME**

Elaborado por: <i>Prepared by:</i>	Luis Pedro
---------------------------------------	------------

Rev.	0
------	---

Data / Date :	21/06/2016
---------------	------------

Nr. Doc.:	05-2015
-----------	---------

OBRA / PROJECT :	Escola Gaspar Frutuoso
------------------	------------------------

CLIENTE / CLIENT :	Mota-Engil
--------------------	------------

DIREÇÃO DE OBRA / PROJECT MANAGER :	Luis Pedro
-------------------------------------	------------

N.º / N.º er :	1995
----------------	------

CLASSE DE EXECUÇÃO / EXECUTION CLASS :	EXC2	De acordo com / According to EN1090
--	------	-------------------------------------

AMBIENTE DE CORROSIVIDADE / CORROSIVITY ENVIRONMENT :	C5	De acordo com / According to EN ISO12944-2
---	----	--

DURABILIDADE ESPERADA / EXPECTED DURABILITY :	≥ 5 Anos	De acordo com / According to EN ISO12944-5
---	----------	--

ÁREA TOTAL / TOTAL AREA :	11000 m ²
---------------------------	----------------------

COMPONENTE / ELEMENT	TIPO / TYPE	CAMADAS / LAYERS	CÔR / COLOUR	FABRICANTE / MANUFACTURER	REF.º PRODUTO / PRODUCT REFERENCE	ESP. HÚMIDA / WET THICKNESS	ESPESSURA SECA / DRY THICKNESS	
Estrutura Metálica Principal e Estrutura Secundária	Em Oficina	Preparação Superfície	Decapagem por Granalha de Aço ao Grau SA2 ^{1/2} / Blasting Grade SA2 ^{1/2}					
		Metalização a Quente	-	-	Projeção de Zinco		80	
		Primário		CIN	7K - 150 C-POX PRIMER ZP150		50	
Esquema de Reparação das Soldaduras e Zonas Danificadas	Em Obra		Tratamento mecânico ao grau ST3					
		Primário			7N-180 C-Pox ST180 Al		80-100	
Estrutura Principal - Interior	Em Obra	Intumescente			7B-420 Hensotherm 420KS (R90)	Espessura segundo a massividade do perfil		
		Acabamento	A Definir		7P-258 C-Thane S258 Poliuretano		2 X 60	
Estrutura Principal - Exterior	Em Obra	Intumescente			7B-600 C-Therm IC600 WB (R90)	Espessura segundo a massividade do perfil		
		Acabamento	A Definir		7P-258 C-Thane S258 Poliuretano		2 X 60	
Estrutura Secundária	Em Obra	Acabamento	A Definir		7P-258 C-Thane S258 Poliuretano		2 x 60	

OBSERVAÇÕES / REMARKS

* Nas zonas em contacto com betão, não se aplica intumescente e acabamento.

Anexo H – Pedido de compra

PEDIDO DE COMPRA

DOCUMENTO Nº:

DATA DE EMISSÃO: 16.06.2015

Página 1 de 1

Necessita de Inspeção?

Exmos. Senhores:

Código do Projecto: 1995

Descrição do Projecto: Escola Gaspar Frutuoso

Condições de Pagamento:

Centro de Custo:

Referência	Designação	Qtd.	Un.	Qtd.Alt	Un.	Preço	IVA	Total	Entrega
100070314	Req. Int. - Aprovision. nº 982 de 16.06.2015								
100070314	PERFIL HEB 300 S355JR 14000	22	UN	36 057,56	KG	0,70	23.00	25 240,29	18.06.2015
100070315	PERFIL HEB 300 S355JR 12350	57	UN	82 411,43	KG	0,70	23.00	57 688,00	18.06.2015
	Fornecer material na qualidade S355J0 agradeço o envio dos certificados de qualidade.								

Software PHC -

A(s) Guia(s) de Remessa e Factura(s) deve(m) referenciar sempre o número deste Pedido de Compra (bem como o nº do projecto).

Taxa	Base de Incidência	Valor do I.V.A.		
0.00 %			Total Ilíquido	82 928,29
23.00 %	82 928,29	19 073,51	Desconto	
13.00 %			Base de Incidência de I.V.A.	82 928,29
6.00 %			Total de I.V.A.	19 073,51
16.00 %			Total do Documento	102 001,80
18.00 %				
19.60 %				
	82 928,29	19 073,51		

Not

a) O início do prazo de pagamento contar-se-á a partir da data de recepção das facturas dos nossos serviços.

b) A(s) Guia(s) de Remessa e Factura(s) deve(m) referenciar sempre o número deste Pedido de Compra (bem como o nº do projecto). As facturas devem ser enviadas em duplicado acompanhadas das respectivas Guias e/ou Autos de Medição. Nas encomendas o número deste Pedido de Compra (bem como o nº do projecto) deve estar bem visível na embalagem.

c) Cada factura deve contemplar apenas um Pedido de Compra.

d) Valor sujeito à taxa de IVA legal em vigor, quando aplicável.

e) Solicitamos o envio da Ficha de Segurança do Produto (aplicável para substâncias químicas perigosas) e informação técnica.

g) Deverá emitir o certificado de qualidade do tipo 3.1, assinalando o nº de vazamento correspondente, no caso de produtos metálicos, de acordo com a Norma EN 10204. O certificado de qualidade deverá obrigatoriamente acompanhar o material.

f) Todos os produtos destinados a ser incorporados ou aplicados, de forma permanente, em obras de construção devem cumprir com os requisitos legais em vigor.



Arestalfer, S.A.
Rua do Arestal
Dornelas
3740-418 Sever do Vouga

Tel. 234 591 000
Fax 234 551 341
geral@arestalfer.com
comercial@arestalfer.com

Capital Social: 500.000,00 Euros
Mat. Cons. Reg. Sever do Vouga
com o 503648825
Alvará de 38910
503648825

Anexo I – Ensaio às soldaduras



RELATÓRIO DE CONTROLE POR MAGNETOSCOPIA

Obra Nº	16.00018.61.6	Rel. Nº	028/PRE	Cliente	ARESTALFER	Pág.	1/1
---------	---------------	---------	---------	---------	------------	------	-----

Elemento(s) Controlado(s) 8 soldaduras de canto das vigas da estrutura metálica, tendo-se efectuado 6 ensaios no Bloco C cota 51 e 2 ensaios no Bloco F à cota 51

Área Controlada Totalidade das soldaduras e zonas adjacentes

FASE DE INSPECÇÃO:

Matéria Prima Controle de Construção Controle de Manutenção Remoção de Defeitos
Antes T. Térmico Após T. Térmico Após Reparação

CONTROLE DE:

Soldadura Chapa Tubo Vazados Outros
Material Aço carbono Espessura Várias mm Esquema do Cliente

CONDIÇÕES DE ENSAIO:

Estado da Superfície Escovada e adequada ao ensaio

Ensaio de Acordo com EN 1290

Nível de Qualidade EN 1291 (Isenção de indicações lineares relevantes)

EQUIPAMENTO:

Marca do Equipamento YOKE magisfluss Modelo YOKE PERMANENTE Nº 14418

Técnica de Magnetização:

Magnetização Directa Pontas Distância entre Pontas 165 mm
Magnetização Indirecta Anel Yoke Permanente
Tipo de Corrente AC CC Intensidade _____
Indicador de Campo

Método de Magnetização:

Contínuo Residual

Partículas Ferromagnéticas:

Marca MARKER Referência MR 76 S

Seco Colorido

Húmido Fluorescente

Temperatura Ambiente (aprx 20°C)

Luz Branca Luz UV Equipamento Nº --

Desmagnetização:

RESULTADOS: (Os resultados do ensaio referem-se exclusivamente aos itens ensaiados)

Conforme Nível de Qualidade Foram detetadas algumas indicações relevantes que foram prontamente retificadas
Não Conforme Nível de Qualidade
Indicações Registadas na Peça

Observações:

- Indicações Lineares Relevantes = ($l > 1,58\text{mm}$) ou Comprimento superior a três vezes largura ($l > 3w$). Indicações Arredondadas ($l \leq 3w$).

Local Ponta Delgada - Açores

Data 11/01/2016

Nome, Assinatura do Controlador Paulo Loura (nível II)

Anexo J – Relatório dos momentos de aperto dos parafusos

ARESTALFER

FICHA DE CONTROLO LIGAÇÃO APARAFUSADA
BOLTED CONNECTION INSPECTION RECORD

Regist.Nº
Record n.º

4

Nº obra 1995
Job N°

Designação: ESCOLA GASPAR FRUTUOSO - BLOCO A cota +54.62
Designation

Designação Designation	Parafusos/Classe Bolt/class	Inspeção Visual Visual checking		Momento Aperto Tightening Torque (N.m)	Control Momento Aperto Tightening Torque Control	
		Aceite Accept	Não aceite No accept		Aceite Accept	Não aceite No accept
<u>Ligação L1</u>	<u>M27-10.9</u>	<u>✓</u>		<u>1040</u>	<u>✓</u>	
<u>Ligação L3</u>	<u>M24-10.9</u>	<u>✓</u>		<u>593</u>	<u>✓</u>	

Chave Dinamométrica nº 183343
Dynamometrical key n°

Certificado de calibração
Calibration Certificate

Sim
Yes



Não
No



Anexo
Annex



Observações

FALTA APERTOS NO EIXO K E EIXO J.

Certifico que o exposto esta conforme
I certify that the exposed one agrees

Data
Date

25/11/2015

Assinatura
Signature

ENTIDADE INSPECTORA
INSPECTION

Data
Date

Assinatura
Signature