

Figura 20 – Envolventes máxima e mínima de esforço transverso

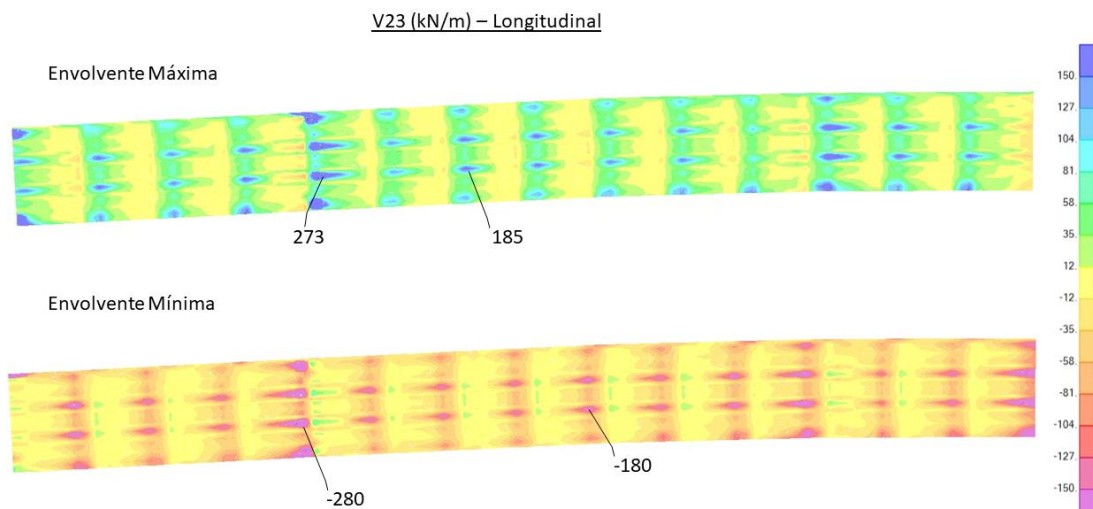


Figura 21 – Envolventes máxima e mínima de esforço transverso

Utilizaram-se folhas de cálculo desenvolvidas internamente para a verificação da segurança da laje e dimensionamento das suas armaduras. No entanto, também foi realizada a determinação das secções das armaduras diretamente pelas funcionalidades incluídas no programa de cálculo automático, em elementos de área, tendo em consideração os momentos fletores e esforços axiais atuantes. Nas figuras seguintes, estão representadas as envolventes das secções das armaduras superiores e inferiores, em ambas as direções. A escala de cores está limitada a uma armadura considerada geral (aplicada em toda a extensão da laje), sendo que as áreas em azul-escuro indicam as necessidades de reforço relativamente à secção de armadura corrente.

Armadura superior transversal

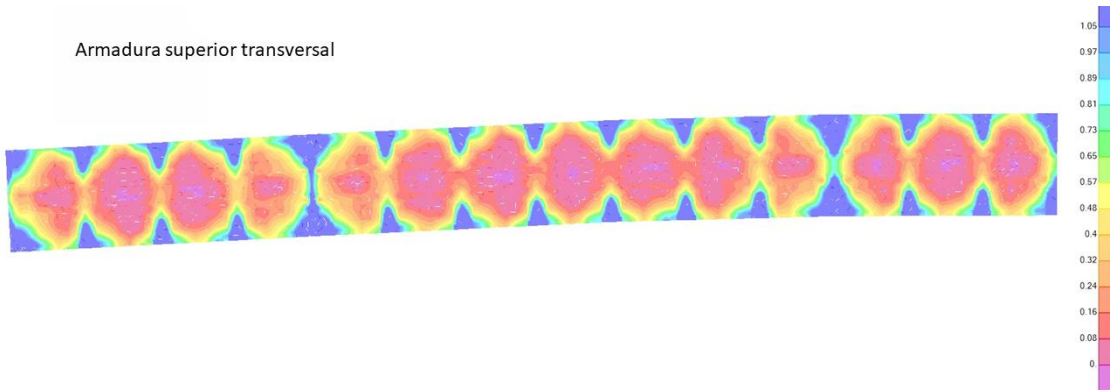


Figura 22 – Área de armadura superior transversal de cálculo (Armadura geral de 10.05cm²/m - Ø16//0.20)

Armadura superior longitudinal

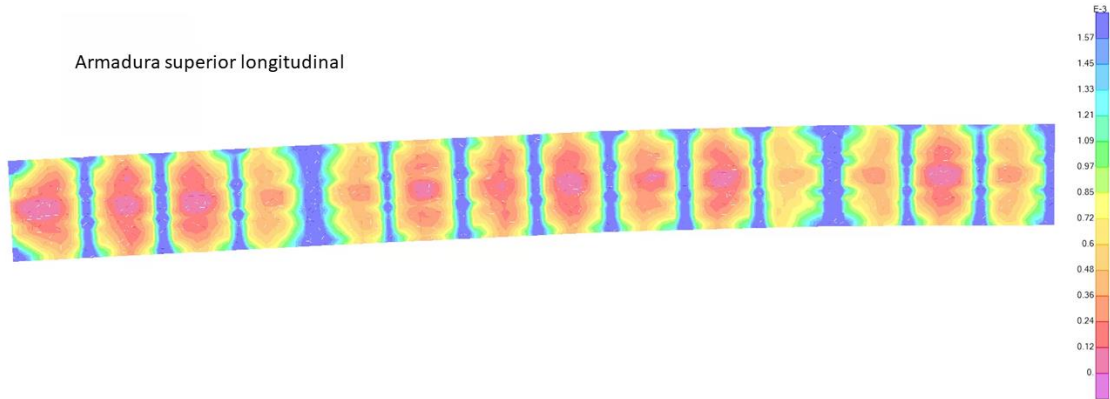


Figura 23 – Área de armadura superior longitudinal de cálculo (Armadura geral de 15.7cm²/m- Ø20//0.20)

Armadura inferior transversal

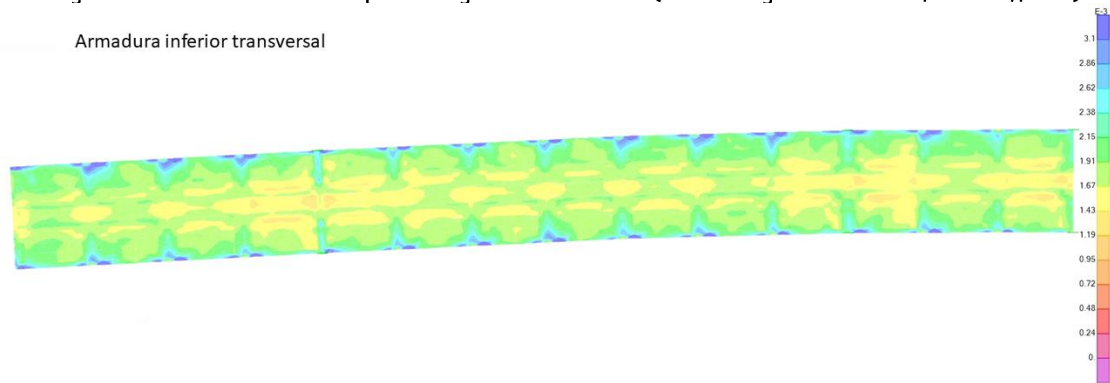


Figura 24 – Área de armadura inferior transversal de cálculo (Armadura geral de 31.1cm²/m- Ø20//0.10)

Armadura inferior longitudinal

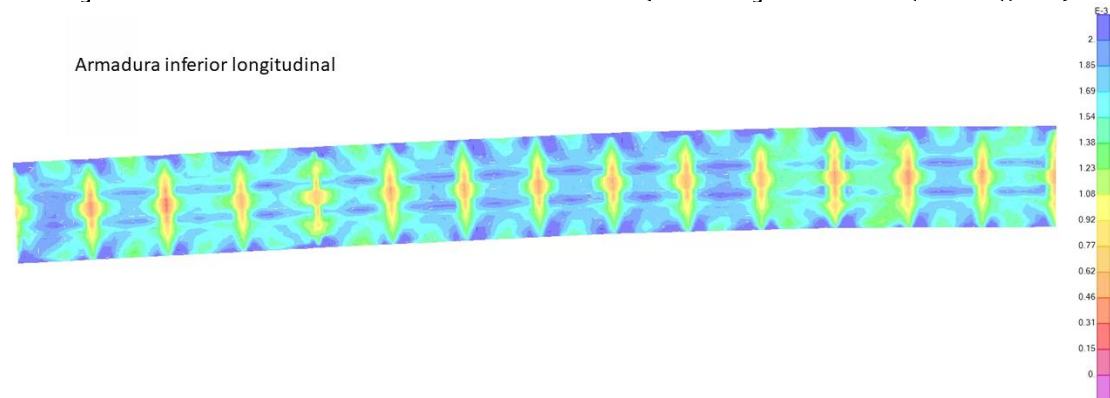


Figura 25 – Área de armadura inferior longitudinal de cálculo (Armadura geral de 20.1cm²/m- Ø16//0.10)

3.2 Elementos Metálicos

Apresenta-se, de seguida, uma súmula dos resultados obtidos na análise estrutural e verificação da segurança aos Estados Limites Últimos dos elementos metálicos, sob o efeito das ações permanentes totais e variáveis regulamentarmente definidas no capítulo correspondente.

Para cada um dos membros indicam-se, de seguida, graficamente, os resultados da verificação da segurança. Os valores mostrados dizem respeito à relação entre os esforços atuantes e os esforços resistentes, pelo que se verifica a segurança, quando esse quociente é inferior a 1,00.

De forma a facilitar a leitura informa-se que o código de cores utilizado na representação gráfica das verificações de segurança compreende a cor vermelha para membros que não verifiquem a segurança, a cor laranja para elementos com rácio de verificação de segurança entre 0,9 e 1,0, a cor amarela para elementos com rácio de verificação de segurança entre 0,7 e 0,9, a cor verde para elementos com rácio de verificação de segurança entre 0,5 e 0,7 e a cor ciano para elementos com rácio de verificação de segurança menor do que 0,5.

Apresentam-se, também, tabelas com os resultados, resumidos, da verificação da segurança das barras que incluem a indicação dos esforços atuantes correspondentes às combinações que originam esses rácios e, para a barra que apresenta o maior rácio apresenta-se a verificação detalhada. Importa referir que, de acordo com a convenção de sinais considerada, os esforços axiais de compressão têm sinal negativo e os esforços axiais de tração apresentam sinal positivo.

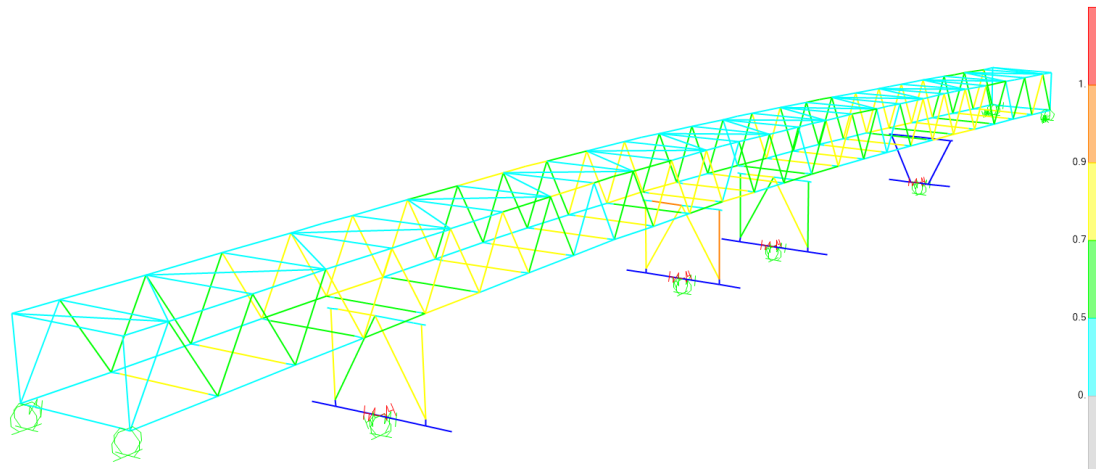


Figura 26 –Verificação de segurança – Estrutura Metálica.

3.2.1 Pilares

O pilar (PRS –Pilar_450) é uma seção em forma de H com altura e largura de 450mm, com banzos de 45mm e alma de 30mm. As diagonais são secções tubulares quadradas de lado 300mm com espessura de 16mm. As travessas no vão são PRS em forma de H com altura e largura de 500mm, com banzos de 30mm e alma de 20mm. Nos apoios junto aos pilares a secção é variável de acordo com as peças desenhadas, e recorreu-se ao módulo livre de definição de secções do SAP2000, *section designer* (ver figura seguinte).

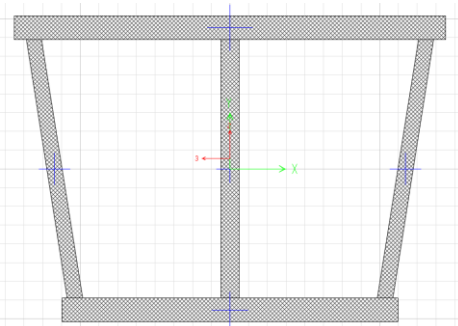


Figura 27 – Secção das travessas nos apoios – SAP2000.

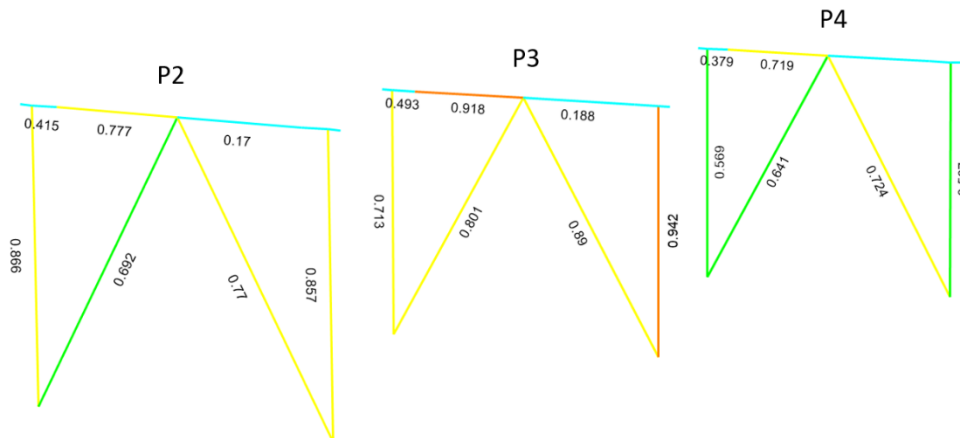


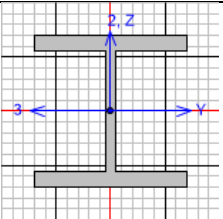
Figura 28 – Rátios de verificação de segurança – Pilares Metálicos e seu contraventamento e travessas

Tabela 3 – Resultados da verificação da segurança dos Pilares e seu contraventamento e travessas

Barra	Secção	Comb	Loc. m	NEd KN	MEd.y KN.m	MEd.z KN.m	L m	Key	Kez	Rácio
937	PRS-Pilar_450	ELU-Tue-Tdh_Q_W	0.00	-4941.2	-249.6	138.6	7.32	0.71	0.83	0.57
939	PRS-Pilar_450	ELU-Tue-Tdh_Q_W	0.00	-4909.9	266.1	140.6	7.32	0.71	0.83	0.57
941	PRS-Pilar_450	ELU-Tuc-Tdc_Q_W	0.00	-6262.5	-355.7	-161.0	7.02	0.71	0.83	0.71
943	PRS-Pilar_450	ELA-VF-P3	1.25	-3006.3	-1136.1	-458.5	7.02	0.71	0.83	0.94
949	PRS-Pilar_450	ELU-Tue-Tdh_Q_W	0.00	-7127.2	-350.0	287.7	7.20	0.71	0.83	0.87
951	PRS-Pilar_450	ELU-Tue-Tdh_Q_W	0.00	-7044.8	367.6	288.3	7.20	0.71	0.83	0.86
1179	SHS300x16	EQK-T1_Transv	0.00	-3067.4	0.0	0.0	8.39	0.95	0.95	0.69
1180	SHS300x16	EQK-T1_Transv	0.00	-3418.1	0.0	0.0	8.39	0.95	0.95	0.77
1181	SHS300x16	EQK-T1_Transv	0.00	-3611.3	0.0	0.0	8.23	0.95	0.95	0.80
1182	SHS300x16	EQK-T1_Transv	0.00	-4016.6	0.0	0.0	8.23	0.95	0.95	0.89
1183	SHS300x16	EQK-T1_Transv	0.00	-2808.7	0.0	0.0	8.49	0.95	0.95	0.64
1184	SHS300x16	EQK-T1_Transv	0.00	-3176.9	0.0	0.0	8.49	0.95	0.95	0.72
748	PRS500_Ap	EQK-T1_Transv	0.56	-3225.6	1086.1	0.6	0.75	11.47	5.73	0.42
884	PRS500_Ap	EQK-T1_Transv	0.00	93.2	353.3	0.4	0.75	11.47	5.73	0.08
894	PRS500_Ap	EQK-T1_Transv	0.56	-3899.5	1269.2	0.5	0.75	11.47	5.73	0.49
904	PRS500_Ap	ELA-VF-P3	0.00	-270.9	-427.2	0.0	0.75	11.47	5.73	0.11
914	PRS500_Ap	EQK-T1_Transv	0.56	-2989.0	990.1	-0.4	0.75	11.47	5.73	0.38
929	PRS500_Ap	EQK-T1_Transv	0.00	76.2	301.5	0.0	0.75	11.47	5.73	0.07

Barra	Secção	Comb	Loc. m	NEd KN	MEd.y KN.m	MEd.z KN.m	L m	Key	Kez	Rácio
882	PRS500_Vao	EQK-T1_Transv	2.66	-3231.0	37.7	2.8	3.55	1.21	2.42	0.78
892	PRS500_Vao	ELU-Tue-Tdh_Q_W	0.89	49.3	-23.6	-0.1	3.55	1.21	2.42	0.17
902	PRS500_Vao	EQK-T1_Transv	3.55	-3906.6	57.7	2.1	3.55	1.21	2.42	0.92
912	PRS500_Vao	ELA-VF-P3	0.00	-270.9	-359.9	0.0	3.55	1.21	2.42	0.19
928	PRS500_Vao	EQK-T1_Transv	2.66	-2994.1	56.5	-1.8	3.55	1.21	2.42	0.72
933	PRS500_Vao	ELU-Tue-Tdh_Q_W	0.44	30.9	-5.9	0.0	3.55	1.21	2.42	0.14

Verificação detalhada no SAP2000 do Pilar mais solicitado (barra 943):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 943 X Mid: 69.848 Combo: ELA-VF-P3 Design Type: Column
Length: 7.02 Y Mid: 3.386 Shape: PRS-Pilar_450_45Frame Type: Secndry
Loc : 1.25 Z Mid: -4.746 Class: Class 1 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method 2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0. deg

Aeff=0.051 Av,2=0.013 Av,3=0.041 eNy=0. eNz=0.
A=0.051 Iy=0.002 iy=0.186 Wel,y=0.008 Weff,y=0.008
It=2.869E-05 Iz=6.842E-04 iz=0.115 Wel,z=0.003 Weff,z=0.003
Iw=2.803E-05 Iyz=0. h=0.45 Wpl,y=0.009
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,z=0.005

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd
1.25	-3006.331	-1136.077	-458.508	1737.511	652.879	0.007

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.62)
D/C Ratio: 0.942 = 0.246 + 0.392 + 0.303 < 0.95 OK
= NEd / (Chi_z NRk / GammaM1) + kzy (My,Ed + NEd eNy) / (Chi_LT My, Rk / GammaM1) + kzz (Mz,Ed + NEd eNz) / (Mz, Rk / GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.62)

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i
Y-Y	1.	5.005	26.839
Y-Y Braced	1.	5.005	26.839
Z-Z	1.	5.82	50.39
Z-Z Braced	1.	5.82	50.39
LTB	1.	5.82	50.39

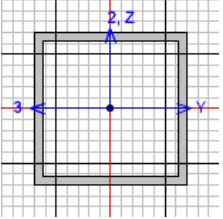
AXIAL FORCE DESIGN

	NEd Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
Axial	-3006.331	18211.5	18211.5

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	18211.5	18837.36	83792.388	83792.388	1.

	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb, Rd
Y-Y	c	0.49	147610.07	0.351	0.599	0.923	16805.952
Y-Y Braced	c	0.49	147610.07	0.351	0.599	0.923	16805.952
Z-Z	d	0.76	41874.436	0.659	0.892	0.67	12199.845
Z-Z Braced	d	0.76	41874.436	0.659	0.892	0.67	12199.845
Torsional TF	d	0.76	83792.388	0.466	0.71	0.803	14626.611
MOMENT DESIGN							
		MEd	MEd, span	Mc, Rd	Mv, Rd	Mn, Rd	Mb, Rd
		Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Y-Y		-1136.077	-1136.077	3256.504	3223.72	3038.798	2818.721
Z-Z		-458.508	-458.508	1646.224	1646.224	1646.224	
Compactness	Section Class 1	Flange Class 1	Web Class 1	Epsilon	Alpha	Psi	
				0.814	0.892	-0.67	
LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
	c	0.49	0.459	0.669	0.866	2.803E-05	15448.238
Factors	kw	C1	C2	C3			
	1.	1.758	0.553	1.73			
	za	zs	zg	zz	zj		
	0.225	-2.8E-17	0.225	0.	-2.776E-17		
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	0.787	0.925	0.852	0.808	0.654	0.973	1.089

Verificação detalhada no SAP2000 da Diagonal mais solicitada (barra 1182):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 1182 X Mid: 69.816 Combo: EQK-T1_Transv Design Type: Brace
Length: 8.232 Y Mid: 5.535 Shape: SHS300x16 Frame Type: Secndry
Loc : 0. Z Mid: -4.746 Class: Class 1 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method 2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0. deg

Aeff=0.017 Av,2=0.01 Av,3=0.009 eNy=0. eNz=0.
A=0.017 Iy=2.301E-04 iy=0.115 Wel,y=0.002 Weff,y=0.002
It=3.665E-04 Iz=2.301E-04 iz=0.115 Wel,z=0.002 Weff,z=0.002
Iw=0. Iyz=0. h=0.3 Wpl,y=0.002
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,z=0.002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd
0.	-4016.56	5.953	0.	2.892	0.	0.

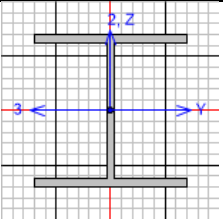
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)
D/C Ratio: 0.89 = 0.876 + 0.014 + 0. < 0.95 OK
= NEd/(Chi_y NRk/GammaM1) + kyy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1) + kyz (Mz,Ed+NED eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.61)

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i

Y-Y	1.	7.821	68.161					
Y-Y Braced	1.	7.821	68.161					
Z-Z	1.	7.821	68.161					
Z-Z Braced	1.	7.821	68.161					
LTB	1.	7.821	68.161					
AXIAL FORCE DESIGN								
		NEd	Nc,Rd	Nt,Rd				
		Force	Capacity	Capacity				
Axial		-4016.56	6204.424	6204.424				
		Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
		6204.424	6417.646	1124285.678	7796.851	1.		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd	
Y-Y	a	0.21	7796.851	0.892	0.971	0.739	4586.	
Y-Y Braced	a	0.21	7796.851	0.892	0.971	0.739	4586.	
Z-Z	a	0.21	7796.851	0.892	0.971	0.739	4586.	
Z-Z Braced	a	0.21	7796.851	0.892	0.971	0.739	4586.	
Torsional TF	a	0.21	7796.851	0.892	0.971	0.739	4586.	
MOMENT DESIGN								
		MEd	MEd, span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd	
		Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity	
Y-Y		0.	5.953	651.528	651.528	296.586	651.528	
Z-Z		0.	0.	651.528	651.528	296.586		
		Section	Flange	Web	Epsilon	Alpha	Psi	
Compactness		Class 1	Class 1	Class 1	0.814	1.	0.295	
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr	
LTB	d	0.76	0.198	0.519	1.	0.	16600.608	
	kw	C1	C2	C3				
Factors	1.	1.132	0.459	0.525				
	za	zs	zg	zz	zj			
	0.15	0.	0.15	0.	0.			
	Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
		0.955	1.	0.955	1.534	0.964	0.921	1.606

Verificação detalhada no SAP2000 da Travessa mais solicitada na zona dovão (barra 902):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 902 X Mid: 69.758 Combo: EQK-T1_Transv Design Type: Beam
Length: 3.55 Y Mid: 9.46 Shape: PRS500_500x30_20Frame Type: Secndry
Loc : 3.55 Z Mid: -1.236 Class: Class 1 Rolled : No

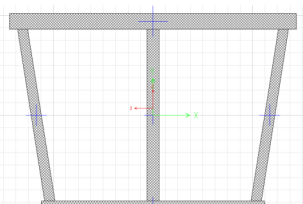
Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method 2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0. deg

Aeff=0.039 Av,2=0.011 Av,3=0.03 eNy=0. eNz=0.
A=0.039 Iy=0.002 iy=0.215 Wel,y=0.007 Weff,y=0.007
It=9.800E-06 Iz=6.253E-04 iz=0.127 Wel,z=0.003 Weff,z=0.003
Iw=3.452E-05 Iyz=0. h=0.5 Wpl,y=0.008

E=210000000.	fy=355000.	fu=510000.	Wpl, z=0.004					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	Ned	My, Ed	Mz, Ed	V2, Ed	V3, Ed	TEd		
3.55	-3906.564	1191.416	2.135	425.917	0.305	0.148		
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.62)								
D/C Ratio:	0.918 = 0.466 + 0.45 + 0.002 < 0.95			OK				
	= NEd/(Chi_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1) + kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.62)							
BASIC FACTORS								
Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i					
Y-Y	1.	4.296	19.938					
Y-Y Braced	1.	4.296	19.938					
Z-Z	1.	8.591	67.673					
Z-Z Braced	1.	8.591	67.673					
LTB	1.	8.591	67.673					
AXIAL FORCE DESIGN								
	NEd	Nc, Rd	Nt, Rd					
	Force	Capacity	Capacity					
Axial	-3906.564	13774.	13774.					
	Npl, Rd	Nu, Rd	Ncr, T	Ncr, TF	An/Ag			
	13774.	14247.36	28157.716	28157.716	1.			
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb, Rd	
Y-Y	b	0.34	202301.394	0.261	0.544	0.978	13474.911	
Y-Y Braced	b	0.34	202301.394	0.261	0.544	0.978	13474.911	
Z-Z	c	0.49	17559.632	0.886	1.06	0.609	8383.701	
Z-Z Braced	c	0.49	17559.632	0.886	1.06	0.609	8383.701	
Torsional TF	c	0.49	28157.716	0.699	0.867	0.725	9986.903	
MOMENT DESIGN								
	MEd	MEd, span	Mc, Rd	Mv, Rd	Mn, Rd	Mb, Rd		
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity		
Y-Y	58.302	1191.416	2846.39	2846.39	2299.916	2350.12		
Z-Z	2.135	2.135	1346.87	1346.87	1339.598			
	Section	Flange	Web	Epsilon	Alpha	Psi		
Compactness	Class 1	Class 1	Class 1	0.814	1.	-0.433		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr	
LTB	c	0.49	0.531	0.722	0.826	3.452E-05	10105.25	
	kw	C1	C2	C3				
Factors	1.	1.817	0.	0.953				
	za	zs	zg	zz	zj			
	0.25	0.	0.25	0.	0.			
	Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
		0.62	0.763	0.62	0.631	0.708	0.888	1.18

Verificação detalhada no SAP2000 da Travessa mais solicitada na zona do apoio (barra 894):

						
EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)						
Units : KN, m, C						
Frame :	894	X Mid:	69.726	Combo:	EQK-T1_Transv	Design Type: Beam
Length:	0.75	Y Mid:	11.61	Shape:	TravessasPilaresFrame	Type: Secndry

Loc	: 0.75	Z Mid:	-1.236	Class:	Class 3	Rolled	: No
Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03							
Combination = Eq. 6.10		Reliability = Class 2			Interaction = Method		
2 (Annex B)							
MultiResponse = Envelopes		P-Delta Done? No			Consider Torsion? No		
Ignore Seismic Code? No		Ignore Special EQ Load? No			D/P Plug Welded? Yes		
GammaM0=1.	GammaM1=1.	GammaM2=1.25					
q=4.	Omega=1.	GammaOV=1.1					
An/Ag=1.	RLLF=1.	PLLF=0.75	D/C Lim=0.95	Prin. Axis Angle =			
90. deg							
Aeff=0.086	Av,2=0.04	Av,3=0.053	eNy=0.	eNz=0.			
A=0.086	Iy=0.003	iy=0.197	Wel,y=0.012	Weff,y=0.012			
It=0.005	Iz=0.004	iz=0.208	Wel,z=0.01	Weff,z=0.01			
Iw=0.	Iyz=0.	h=0.51	Wpl,y=0.016				
E=210000000.	fy=355000.	fu=510000.	Wpl,z=0.015				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd	
0.75	-3899.475	1501.103	0.57	415.311	0.663	0.148	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)							
D/C Ratio:	0.493 = 0.159 + 0.334 + 0. <			0.95	OK		
= NEd/(Chi_y NRk/GammaM1) + kyy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1)							
+ kyz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.61)							
BASIC FACTORS							
Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i				
Y-Y	1.	8.603	43.604				
Y-Y Braced	1.	8.603	43.604				
Z-Z	1.	4.298	20.678				
Z-Z Braced	1.	4.298	20.678				
LTB	1.	4.298	20.678				
AXIAL FORCE DESIGN							
	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd				
	Force	Capacity	Capacity				
Axial	-3899.475	30483.14	30483.14				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	30483.14	31530.73	4637345.534	93605.096	1.		
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd	
Y-Y	c 0.49	93605.096	0.571	0.754	0.803	24466.784	
Y-Y Braced	c 0.49	93605.096	0.571	0.754	0.803	24466.784	
Z-Z	c 0.49	416223.595	0.271	0.554	0.964	29388.849	
Z-Z Braced	c 0.49	416223.595	0.271	0.554	0.964	29388.849	
Torsional TF	c 0.49	93605.096	0.571	0.754	0.803	24466.784	
MOMENT DESIGN							
	MEd	MEd, span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd	
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity	
Y-Y	1191.416	1501.103	4353.789	4353.789	4353.789	4353.789	
Z-Z	0.57	0.57	3657.34	3657.34	3657.34		
Compactness	Section Class 3	Flange Class 3	Web Class 3	Epsilon 0.814	Alpha 1.	Psi -0.744	
Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr	
LTB	d 0.76	0.099	0.467	1.	0.	444124.138	
Factors	kw	C1	C2	C3			
	1.	1.116	0.	0.999			
	za	zs	zg	zz	zj		
	0.237	0.	0.237	0.	0.		
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	0.917	0.697	0.917	0.968	0.712	0.774	0.712

3.2.2 Viga Principal Triangulada

As cordas são perfis PRS em forma de I, com altura de 800 mm (corda inferior) e 700 mm (corda superior), largura de 400 mm, banzos com espessuras de 25 mm ou 30 mm e almas de 16 mm. As cordas são principalmente solicitadas a esforços normais e possuem alma com espessura de 16 mm, sendo classificadas como classe 4, quando submetidas à compressão e classe 1 para esforços de flexão. Nos casos em que as cordas estão sujeitas a esforços de compressão, o cálculo da verificação de segurança deve ser realizado considerando a secção efetiva (classe 4). Portanto, as secções modeladas para a verificação de segurança têm em consideração a redução da altura efetiva da alma, conforme definido na EN 1993-5 e ilustrado na figura seguinte.

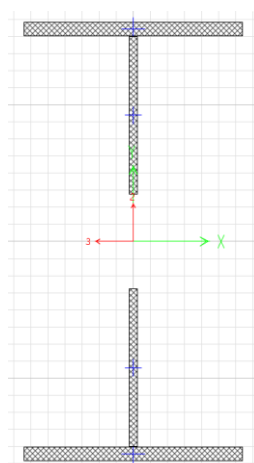


Figura 29 – Seção das cordas com alma de classe 4 à compressão.

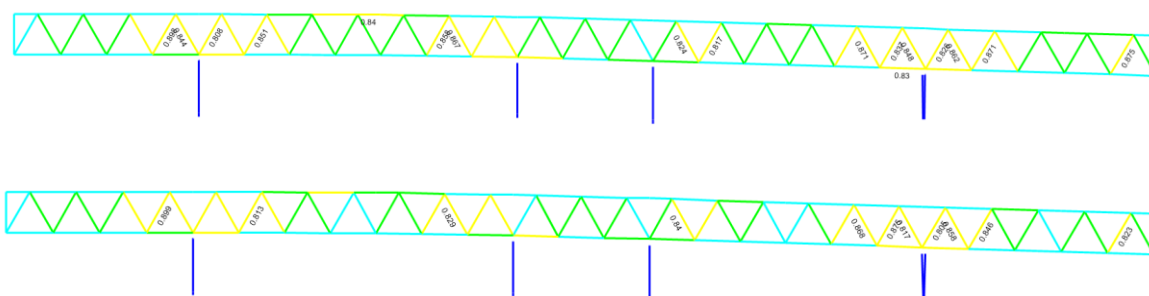


Figura 30 – Rátios de verificação de segurança – Viga principal (cordas e diagonais) – $\phi_3 = 1.052$.

Tabela 4 – Resultados da verificação da segurança dos das cordas e diagonais da viga principal

Barra	Secção	Comb	Loc. m	N _{Ed} KN	M _{Ed,y} KN.m	M _{Ed,z} KN.m	L m	K _y	K _z	Rácio
VP_Cle01	PRS800_25	ELU-Tdc-Tue_Q_W	0.00	-107.5	135.5	-144.9	6.43	1.00	0.90	0.22
VP_Cle02	PRS800_25	ELU-Qv2.07-A-WY-T	6.49	2011.4	271.5	30.6	6.49	1.00	0.90	0.18
VP_Cle03	PRS800_25	ELU-Qv2.07-A-WY-T	6.48	1794.7	65.2	-35.3	6.48	1.00	0.90	0.16
VP_Cle04	PRS800_25	ELU-Tdc-Tue_Q_W	0.00	-600.3	252.6	44.1	6.48	1.00	0.90	0.22
VP_Cle05	PRS800_30*	ELU-W-X-z_Q_T	6.48	-2153.3	-1206.9	-75.5	6.48	1.00	0.90	0.78
VP_Cle06	PRS800_30*	ELU-Qv2.07-F-WX-T	0.00	-2466.7	-1268.9	-76.9	6.34	1.00	0.90	0.83
VP_Cle07	PRS800_25	ELU-Tdc-Tue_Q_W	6.34	-579.9	282.3	49.1	6.34	1.00	0.90	0.22


Barra	Secção	Comb	Loc. m	NEd KN	MEd.y KN.m	MEd.z KN.m	L m	Key	Kez	Rácio
VP_Cle08	PRS800_25	ELU-Qv2.06-A-WY-T	6.34	2127.6	260.3	20.1	6.34	1.00	0.90	0.19
VP_Cle09	PRS800_25	ELU-Qv2.06-A-WY-T	6.34	2124.8	72.4	-40.8	6.34	1.00	0.90	0.19
VP_Cle10	PRS800_25	EQK-T1_Transv	6.34	-479.4	74.7	-51.8	6.34	1.00	0.90	0.16
VP_Cle11	PRS800_30*	ELU-Qv2.09-F-WY-T	6.34	-1751.7	-887.3	-116.1	6.34	1.00	0.90	0.60
VP_Cle12	PRS800_30*	ELU-Qv2.03-F-WY-T	0.00	-2467.5	-740.1	14.8	6.33	1.00	0.90	0.59
VP_Cle13	PRS800_30*	ELU-Qv2.09-F-WX-T	0.00	-2149.2	188.8	26.1	6.33	1.00	0.90	0.39
VP_Cle14	PRS800_30*	ELU-Qv2.02-F-WY-T	6.33	-3045.4	-966.7	5.2	6.33	1.00	0.90	0.75
VP_Cle15	PRS800_30*	ELU-Qv2.06-F-WY-T	0.00	-2064.6	-1046.0	-151.6	6.36	1.00	0.90	0.73
VP_Cle16	PRS800_25	EQK-T1_Transv	0.00	-1041.6	134.2	-107.4	6.36	1.00	0.90	0.30
VP_Cle17	PRS800_25	EQK-T1_Transv	0.00	-826.8	110.4	-97.0	6.36	1.00	0.90	0.27
VP_Cle18	PRS800_25	ELU-Qv2.04-A-WY-T	6.37	3560.8	237.7	-23.8	6.37	1.00	0.90	0.31
VP_Cle19	PRS800_25	EQK-T1_Transv	3.19	3125.6	61.6	-8.2	6.37	1.00	0.90	0.28
VP_Cle20	PRS800_25	EQK-T1_Transv	6.33	-1289.5	135.7	-64.4	6.33	1.00	0.90	0.29
VP_Cle21	PRS800_30*	ELU-Tue-Tdc_Q_W	6.31	-1912.4	-1162.1	-101.2	6.31	1.00	0.90	0.74
VP_Cle22	PRS800_25	ELU-Tdc-Tue_Q_W	6.45	-226.6	209.0	-104.5	6.45	1.00	0.90	0.19
VP_Cle23	PRS800_25	EQK-T1_Transv	6.45	-398.9	131.7	-35.7	6.45	1.00	0.90	0.13
VP_Cle24	PRS800_25	ELU-Tdc-Tue_Q_W	6.45	-845.5	202.0	12.4	6.45	1.00	0.90	0.22
VP_Cle25	PRS800_30*	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.00	-2172.0	-1087.8	-31.2	6.45	1.00	0.90	0.70
VP_CSe01	PRS700_25*	ELU-Qv2.07-F-WY-T	3.22	-45.0	170.9	-60.8	3.22	1.00	0.90	0.20
VP_CSe02	PRS700_25*	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.00	-2283.6	61.8	47.7	6.46	1.00	0.90	0.50
VP_CSe03	PRS700_25*	ELU-Qv2.08-F-WY-T	0.81	-3131.8	155.7	-5.0	3.24	2.00	1.80	0.62
VP_CSe04	PRS700_25*	ELU-Qv2.08-F-WY-T	1.62	-3131.6	158.5	5.4	3.24	2.00	1.80	0.62
VP_CSe05	PRS700_25*	ELU-Qv2.08-F-WY-T	0.00	-2510.5	177.6	27.2	6.48	1.00	0.90	0.50
VP_CSe06	PRS700_25	ELU-Tdc-Tue_Q_W	6.48	-688.1	-311.6	70.7	6.48	1.00	0.90	0.27
VP_CSe07	PRS700_25	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.24	3356.5	-242.4	7.8	3.24	1.98	1.80	0.31
VP_CSe08	PRS700_25	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.17	3356.8	-242.7	-84.5	3.17	2.02	1.80	0.31
VP_CSe09	PRS700_25	ELU-Qv2.03-F-WY-T	0.00	-819.1	-282.0	63.2	6.34	1.00	0.90	0.27
VP_CSe10	PRS700_30*	ELU-Qv2.03-F-WY-T	0.00	-2766.8	83.9	11.1	6.34	1.00	0.90	0.46
VP_CSe11	PRS700_30*	ELU-Qv2.03-F-WY-T	0.79	-3404.5	170.8	-2.8	3.17	2.00	1.80	0.58
VP_CSe12	PRS700_30*	ELU-Qv2.03-F-WX-T	0.00	-3464.5	166.0	-69.3	3.17	2.00	1.80	0.58
VP_CSe13	PRS700_30*	ELU-Qv2.05-F-WX-T	0.00	-2865.6	178.0	35.5	6.34	1.00	0.90	0.48
VP_CSe14	PRS700_25*	ELU-Qv2.05-F-WY-T	6.34	-1099.6	-247.1	56.9	6.34	1.00	0.90	0.33
VP_CSe15	PRS700_25	ELU-Qv2.03-A-WY-T	3.17	2812.6	-147.4	12.4	3.17	2.00	1.80	0.26
VP_CSe16	PRS700_25	ELU-Qv2.03-A-WY-T	3.17	2812.9	-193.5	-53.2	3.17	2.00	1.80	0.26
VP_CSe17	PRS700_25	ELU-Qv2.06-A-WY-T	6.33	2087.5	67.7	-26.6	6.33	1.00	0.90	0.19
VP_CSe18	PRS700_25	ELU-Qv2.09-A-WY-T	6.33	2343.8	-269.7	46.4	6.33	1.00	0.90	0.22
VP_CSe19	PRS700_25	ELU-Qv2.03-A-WY-T	3.17	3779.1	-159.6	17.2	3.17	2.01	1.80	0.35
VP_CSe20	PRS700_25	ELU-Qv2.03-A-WY-T	3.21	3779.3	-209.5	-104.7	3.21	1.99	1.80	0.35
VP_CSe21	PRS700_25*	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.00	-1051.3	-310.4	77.6	6.33	1.00	0.90	0.38
VP_CSe22	PRS700_30*	ELU-Qv2.04-F-WX-T	6.33	-3563.6	228.9	48.4	6.33	2.02	0.90	0.61
VP_CSe23	PRS700_25	ELU-Qv2.04-F-WX-T	0.00	-4002.3	183.0	16.5	6.33	2.02	0.90	0.55

Barra	Secção	Comb	Loc. m	NEd KN	MEd.y KN.m	MEd.z KN.m	L m	Key	Kez	Rácio
VP_CSe24	PRS700_30*	ELU-Qv2.02-F-WX-T	1.61	-4880.3	162.6	-1.2	3.21	3.97	1.80	0.80
VP_CSe25	PRS700_30*	ELU-Qv2.04-F-WX-T	0.00	-4851.9	122.2	-107.5	3.22	3.97	1.80	0.84
VP_CSe26	PRS700_30*	ELU-Qv2.04-F-WX-T	6.33	-4943.7	170.0	30.6	6.33	1.00	0.90	0.78
VP_CSe27	PRS700_30*	ELU-Qv2.04-F-WY-T	6.33	-3502.3	58.1	-21.6	6.33	1.00	0.90	0.57
VP_CSe28	PRS700_25*	ELU-Qv2.02-F-WY-T	6.32	-1046.0	-338.8	92.6	6.32	2.02	0.90	0.42
VP_CSe29	PRS700_25	ELU-Qv2.02-A-WY-T	0.01	1368.3	-288.7	-3.4	6.32	2.02	0.90	0.13
VP_CSe30	PRS700_25	ELU-Qv2.02-A-WY-T	3.18	3382.7	-243.8	-31.6	3.18	4.00	1.80	0.31
VP_CSe31	PRS700_25*	ELU-Qv2.01-A-WY-T	0.00	-34.6	119.8	-47.5	3.23	1.00	0.90	0.15
VP_CSe32	PRS700_25*	ELU-Qv2.01-F-WY-T	6.45	-1631.0	46.2	41.2	6.45	1.00	0.90	0.38
VP_CSe33	PRS700_25*	ELU-Qv2.01-F-WY-T	6.45	-1690.0	158.5	-16.9	6.45	1.00	0.90	0.37
VP_CSe34	PRS700_25	ELU-Tdc-Tuc_Q_W	0.00	-442.5	-277.3	69.5	6.45	1.00	0.90	0.23
VP_CSe35	PRS700_25	ELU-Qv2.02-A-WY-T	2.42	3382.7	-244.2	-41.5	3.23	3.95	1.80	0.31
VP-De-01	SHS350x10	EQK-T1 Transv	0.00	-50.3	-51.3	219.9	5.55	0.75	0.75	0.37
VP-De-02	SHS350x10	ELU-Qv2.01-F-WY-T	0.00	-1571.9	-53.6	72.2	6.42	0.75	0.75	0.48
VP-De-03	SHS350x10	ELU-Qv2.01-F-WY-T	0.00	1581.1	-15.8	350.2	6.42	0.75	0.75	0.67
VP-De-04	SHS350x10	ELU-W+Y-z_Q_T	6.42	-64.4	3.9	322.6	6.42	0.75	0.75	0.54
VP-De-05	SHS350x10	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.00	-126.4	14.1	331.8	6.42	0.75	0.75	0.55
VP-De-06	SHS350x10	ELU-Qv2.04-A-WY-T	6.42	1683.5	-22.6	335.9	6.42	0.75	0.75	0.66
VP-De-07	SHS350x10	ELU-W+Y-z_Q_T	0.00	-1594.6	69.9	283.2	6.42	0.75	0.75	0.75
VP-De-08	SHS350x10	ELU-Qv2.02-A-WY-T	6.42	2574.2	-65.0	321.6	6.42	0.75	0.75	0.90
VP-De-09	SHS350x10	ELU-Qv2.02-A-WY-T	0.00	-2702.7	-14.3	-204.8	6.42	0.75	0.75	0.84
VP-De-10	SHS350x16	ELU-Qv2.02-F-WY-T	6.40	-3906.3	-35.2	-299.2	6.40	0.75	0.75	0.81
VP-De-11	SHS350x16	ELU-Qv2.09-F-WY-T	0.00	3701.2	-93.7	431.4	6.39	0.75	0.75	0.75
VP-De-12	SHS350x12.5	ELU-Qv2.02-F-WY-T	6.40	-2778.3	94.3	289.9	6.40	0.75	0.75	0.85
VP-De-13	SHS350x12.5	ELU-Qv2.06-F-WY-T	0.00	2752.6	-49.7	404.1	6.38	0.75	0.75	0.79
VP-De-14	SHS350x10	ELU-Qv2.04-F-WY-T	6.40	-1439.1	45.6	262.7	6.40	0.75	0.75	0.67
VP-De-15	SHS350x10	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.00	1407.7	-13.9	341.9	6.40	0.75	0.75	0.62
VP-De-16	SHS350x10	ELU-Qv2.04-F-WY-T	6.38	39.6	20.7	347.5	6.38	0.75	0.75	0.58
VP-De-17	SHS350x10	ELU-Qv2.02-F-WY-T	0.00	0.4	25.8	365.4	6.42	0.75	0.75	0.61
VP-De-18	SHS350x10	ELU-Qv2.02-A-WY-T	6.37	1487.9	-11.6	372.6	6.37	0.75	0.75	0.69
VP-De-19	SHS350x10	ELU-Qv2.06-A-WY-T	0.00	-1387.0	46.7	284.7	6.42	0.75	0.75	0.69
VP-De-20	SHS350x12.5	ELU-Qv2.06-A-WY-T	6.35	2888.4	-55.5	422.5	6.35	0.75	0.75	0.86
VP-De-21	SHS350x12.5	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.00	-2844.2	90.8	290.8	6.44	0.75	0.75	0.87
VP-De-22	SHS350x16	ELU-Qv2.09-A-WY-T	6.34	3860.1	-96.8	434.5	6.34	0.75	0.75	0.79
VP-De-23	SHS350x16	ELU-Qv2.04-A-WY-T	0.00	-4081.8	-13.2	-255.4	6.46	0.75	0.75	0.79
VP-De-24	SHS350x10	ELU-Qv2.04-F-WX-T	6.32	-1537.3	-29.0	-156.8	6.32	0.75	0.75	0.52
VP-De-25	SHS350x10	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.00	1481.4	-37.4	309.2	6.46	0.75	0.75	0.57
VP-De-26	SHS350x10	ELU-W+Y-z_Q_T	6.32	-419.7	24.6	304.4	6.32	0.75	0.75	0.51
VP-De-27	SHS350x10	ELU-Qv2.02-F-WY-T	0.00	471.3	7.9	303.4	6.46	0.75	0.75	0.51
VP-De-28	SHS350x10	ELU-Qv2.02-F-WY-T	6.32	463.5	-13.7	320.0	6.32	0.75	0.75	0.53
VP-De-29	SHS350x10	ELU-Tdh-Tuc_Q_W	0.00	-834.7	-36.2	-88.3	6.46	0.75	0.75	0.29

Barra	Secção	Comb	Loc. m	N _{Ed} KN	M _{Ed.y} KN.m	M _{Ed.z} KN.m	L m	Key	Kez	Rácio
VP-De-30	SHS350x12.5	ELU-Qv2.03-F-WY-T	0.00	-3132.1	-41.5	92.2	6.31	0.75	0.75	0.66
VP-De-31	SHS350x12.5	ELU-Qv2.05-F-WY-T	0.00	3099.1	-71.9	377.1	6.47	0.75	0.75	0.82
VP-De-32	SHS350x10	ELU-Qv2.03-F-WY-T	6.31	-1906.8	72.9	279.4	6.31	0.75	0.75	0.82
VP-De-33	SHS350x10	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.00	1932.7	-26.4	321.1	6.47	0.75	0.75	0.69
VP-De-34	SHS350x10	ELU-W+Y-z_Q_T	6.31	-640.3	35.0	298.7	6.31	0.75	0.75	0.51
VP-De-35	SHS350x10	ELU-Qv2.03-F-WY-T	0.00	541.9	5.0	314.4	6.47	0.75	0.75	0.52
VP-De-36	SHS350x10	ELU-Qv2.03-F-WY-T	6.31	520.1	5.4	332.1	6.31	0.75	0.75	0.55
VP-De-37	SHS350x10	ELU-W+Y-z_Q_T	0.00	-818.9	38.5	294.5	6.47	0.75	0.75	0.55
VP-De-38	SHS350x10	ELU-Qv2.05-A-WY-T	6.31	2196.6	-38.8	331.9	6.31	0.75	0.75	0.79
VP-De-39	SHS350x10	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.00	-2213.9	78.6	252.1	6.47	0.75	0.75	0.87
VP-De-40	SHS350x12.5	ELU-Qv2.07-A-WY-T	6.31	3154.4	-90.7	375.5	6.31	0.75	0.75	0.84
VP-De-41	SHS350x12.5	ELU-Qv2.07-A-WY-T	0.00	-3370.7	-17.9	-254.9	6.47	0.75	0.75	0.85
VP-De-42	SHS350x12.5	ELU-Qv2.07-A-WY-T	6.34	-3273.7	-31.9	-245.5	6.34	0.75	0.75	0.83
VP-De-43	SHS350x12.5	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.00	3228.2	-80.3	376.1	6.51	0.75	0.75	0.86
VP-De-44	SHS350x10	ELU-Qv2.07-A-WY-T	6.34	-2097.6	83.6	279.8	6.34	0.75	0.75	0.87
VP-De-45	SHS350x10	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.00	2139.9	-30.1	307.2	6.51	0.75	0.75	0.71
VP-De-46	SHS350x10	ELU-Qv2.07-A-WY-T	6.34	-748.7	36.6	286.0	6.34	0.75	0.75	0.52
VP-De-47	SHS350x10	ELU-Qv2.08-F-WY-T	0.00	452.6	6.4	319.9	6.51	0.75	0.75	0.53
VP-De-48	SHS350x10	ELU-Qv2.08-A-WY-T	6.34	670.0	3.8	353.5	6.34	0.75	0.75	0.59
VP-De-49	SHS350x10	ELU-W+Y-z_Q_T	0.00	-834.9	35.5	310.2	6.51	0.75	0.75	0.57
VP-De-50	SHS350x10	ELU-Qv2.07-F-WY-T	6.33	2198.3	-35.2	368.0	6.33	0.75	0.75	0.88
VP-De-51	SHS350x10	ELU-Qv2.07-F-WY-T	6.50	-2219.2	-68.3	89.1	6.50	0.75	0.75	0.64
VP-De-52	SHS350x10	EQK-T1 Transv	5.55	-63.2	43.4	133.2	5.55	0.75	0.75	0.22

* Alma da corda de classe 4 à compressão

Verificação detalhada no SAP2000 do Corda Inferior mais solicitada à compressão (barra VP Cle06):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : VP_Cle06 X Mid: 123.527 Combo: ELU-Qv2.07-F-WX-Design Type: Brace
Length: 6.335 Y Mid: 11.5 Shape: PRS800x400x30x16Frame Type: Secndry
Loc : 0. Z Mid: -1.911 Class: Class 3 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method
2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25


q=4.	Omega=1.	GammaOV=1.1					
An/Ag=1.	RLLF=1.	PLLF=0.75	D/C Lim=0.95	Prin. Axis Angle = 0. deg			
Aeff=0.033	Av,2=0.017	Av,3=0.022	eNy=0.	eNz=0.			
A=0.033	Iy=0.004	iy=0.351	We1,y=0.01	Weff,y=0.01			
It=7.776E-06	Iz=3.202E-04	iz=0.098	We1,z=0.002	Weff,z=0.002			
Iw=4.747E-05	Iyz=0.	h=0.8	Wp1,y=0.011				
E=210000000.	fy=355000.	fu=510000.	Wp1,z=0.002				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd	
0.	-2466.716	-1268.877	-76.883	207.39	25.005	1.556	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.62)							
D/C Ratio:	0.83 = 0.304 + 0.464 + 0.062 < 0.95			OK			
	= $N_{Ed} / (\chi_{z} N_{Rk} / \gamma_{M1}) + k_{zy} (M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}) / (\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1})$						
	+ $k_{zz} (M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}) / (M_{z,Rk} / \gamma_{M1})$			(EC3 6.3.3(4)-6.62)			
BASIC FACTORS							
Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i				
Y-Y	1.	6.335	18.042				
Y-Y Braced	1.	6.335	18.042				
Z-Z	1.	5.702	58.058				
Z-Z Braced	1.	5.702	58.058				
LTB	1.	5.702	58.058				
AXIAL FORCE DESIGN							
	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd				
	Force	Capacity	Capacity				
Axial	-2466.716	11785.432	11785.432				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	11785.432	12190.452	27487.497	20413.376	1.		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	c	0.49	211386.991	0.236	0.537	0.982	11568.82
Y-Y Braced	c	0.49	211386.991	0.236	0.537	0.982	11568.82
Z-Z	c	0.49	20413.376	0.76	0.926	0.687	8101.04
Z-Z Braced	c	0.49	20413.376	0.76	0.926	0.687	8101.04
Torsional TF	c	0.49	20413.376	0.76	0.926	0.687	8101.04
MOMENT DESIGN							
	MEd	MEd, span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd	
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity	
Y-Y	-1268.877	-1268.877	3632.98	3632.98	3632.98	2622.63	
Z-Z	-76.883	-76.883	568.348	568.348	568.348		
Compactness	Section Class 3	Flange Class 3	Web Class 3	Epsilon 0.814	Alpha 1.	Psi -0.581	
LTB	Curve d	AlphaLT 0.76	LambdaBarLT 0.583	PhiLT 0.815	ChiLT 0.722	Iw 4.747E-05	Mcr 10700.976
Factors	kw 1.	C1 1.888	C2 0.459	C3 0.525	zj 0.		
	za 0.4	zs 0.	zg 0.4	zz 0.			
Factors	Cmy 0.505	Cmz 0.4	CmLT 0.528	kyy 0.52	kyz 0.456	kzy 0.958	kzz 0.456

Verificação detalhada no SAP2000 do Corda Inferior mais solicitada à tração (barra VP Cle18):

EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)						
Units : KN, m, C						
Frame : VP_Cle18 X Mid: 47.455	Combo: ELU-Qv2.04-A-WY-Design Type: Beam					
Length: 6.374 Y Mid: 11.7	Shape: PRS800x400x25x16Frame Type: Secndry					
Loc : 6.374 Z Mid: -0.079	Class: Class 1 Rolled : No					
Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03						
Combination = Eq. 6.10	Reliability = Class 2 Interaction = Method					
2 (Annex B)						
MultiResponse = Envelopes	P-Delta Done? No Consider Torsion? No					
Ignore Seismic Code? No	Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes					
GammaM0=1.	GammaM1=1.					
q=4.	Omega=1.					
An/Ag=1.	RLLF=1.					
	GammaM2=1.25					
	GammaOV=1.1					
	PLLF=0.75					
	D/C Lim=0.95					
	Prin. Axis Angle = 0. deg					
Aeff=0.032	Av,2=0.014					
A=0.032	Iy=0.004					
It=5.013E-06	Iz=2.669E-04					
Iw=4.747E-05	Iyz=0.					
E=210000000.	fy=355000.					
	Av,3=0.02					
	iy=0.334					
	iz=0.091					
	h=0.8					
	fu=510000.					
	eNy=0.					
	Wel,y=0.009					
	Wel,z=0.001					
	Wpl,y=0.01					
	Wpl,z=0.002					
	eNz=0.					
	Weff,y=0.009					
	Weff,z=0.001					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd
6.374	3560.81	237.731	-23.827	6.891	2.803	0.09
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.9.1(6n))						
D/C Ratio:	0.313 < 0.95 OK					
	= (Ned/NRd) (EC3 6.2.9.1(6n))					
BASIC FACTORS						
Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i			
Y-Y	1.	6.374	19.093			
Y-Y Braced	1.	6.374	19.093			
Z-Z	1.	5.737	62.815			
Z-Z Braced	1.	5.737	62.815			
LTB	1.	5.737	62.815			
AXIAL FORCE DESIGN						
	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	3560.81	11360.	11360.			
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T			
	11360.	11750.4	28332.233			
	Ncr,TF		Ncr,TF			
			28332.233			
	An/Ag					
	1.					
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar			
Y-Y	b 0.34	181927.803	0.25			
Y-Y Braced	b 0.34	181927.803	0.25			
Z-Z	c 0.49	16808.811	0.822			
Z-Z Braced	c 0.49	16808.811	0.822			
Torsional TF	c 0.49	28332.233	0.633			
	Phi	Chi	Nb,Rd			
	0.54	0.982	11158.379			
	0.54	0.982	11158.379			
	0.99	0.648	7364.547			
	0.99	0.648	7364.547			
	0.807	0.766	8696.409			
MOMENT DESIGN						
	MEd	MEd, span	Mc,Rd			
	Moment	Moment	Capacity			
Y-Y	237.731	248.359	3550.			
Z-Z	-23.827	-23.827	727.04			
	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd			
	3550.	2999.688	2619.058			
	727.04	727.04				
Section	Flange	Web	Epsilon			
	Alpha	Psi				

Compactness	Class 1	Class 1	Class 1	0.814	0.082	-1.627	
LTB	Curve c	AlphaLT 0.49	LambdaBarLT 0.679	PhiLT 0.848	ChiLT 0.738	Iw 4.747E-05	Mcr 7704.334
Factors	kw	C1 1.02	C2 0.	C3 0.996	zj 5.551E-17		
	za	zs 5.6E-17	zg 0.4	zz 0.			
Factors	Cmy	Cmz 0.517	CmLT 0.986	kyy 0.998	kyz 0.31	kzy 1.	kzz 0.517

Verificação detalhada no SAP2000 do Corda Superior mais solicitada à compressão (barra VP_CSe25):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : VP_CSe25 X Mid: 49.032 Combo: ELU-Qv2.04-F-WX-Design Type: Beam
Length: 3.217 Y Mid: 11.775 Shape: PRS700x400x30x16Frame Type: Secndry
Loc : 0. Z Mid: 5.466 Class: Class 3 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method 2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0. deg

Aeff=0.033 Av,2=0.013 Av,3=0.022 eNy=0. eNz=0.
A=0.033 Iy=0.003 iy=0.305 Wel,y=0.009 Weff,y=0.009
It=7.741E-06 Iz=3.202E-04 iz=0.099 Wel,z=0.002 Weff,z=0.002
Iw=3.594E-05 Iyz=0. h=0.7 Wpl,y=0.01
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,z=0.002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd
0.	-4851.924	222.486	-107.53	41.927	44.478	2.077

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.62)
D/C Ratio: 0.84 = 0.61 + 0.11 + 0.12 < 0.95 OK
= NEd/(Chi_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1) + kzz (Mz,Ed+NED eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.62)

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i
Y-Y	1.	12.76	41.885
Y-Y Braced	1.	12.76	41.885
Z-Z	1.	5.791	58.611
Z-Z Braced	1.	5.791	58.611
LTB	1.	5.791	58.611

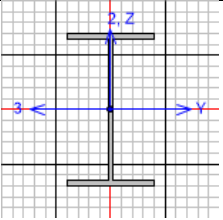
AXIAL FORCE DESIGN

	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-4851.924	11642.296	11642.296

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	11642.296	12042.397	27748.657	19786.903	1.

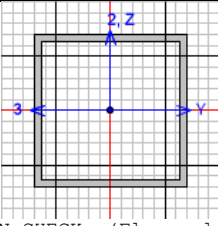
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	c	0.49	38745.005	0.548	0.736	0.816	9496.239
Y-Y Braced	c	0.49	38745.005	0.548	0.736	0.816	9496.239
Z-Z	c	0.49	19786.903	0.767	0.933	0.683	7949.823
Z-Z Braced	c	0.49	19786.903	0.767	0.933	0.683	7949.823
Torsional TF	c	0.49	19786.903	0.767	0.933	0.683	7949.823
MOMENT DESIGN							
		MEd	MEd, span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
		Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Y-Y		122.208	222.486	3087.226	3087.226	3087.226	1946.101
Z-Z		-107.53	-107.53	568.333	568.333	568.333	
Compactness	Section	Flange	Web	Epsilon	Alpha	Psi	
	Class 3	Class 3	Class 3	0.814	1.	-0.167	
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d	0.76	0.72	0.956	0.63	3.594E-05	5961.072
Factors	kw	C1	C2	C3			
	1.	1.199	0.459	0.525			
	za	zs	zg	zz	zj		
	0.35	0.	0.35	0.	0.		
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	0.836	0.496	0.836	0.977	0.635	0.96	0.635

Verificação detalhada no SAP2000 do Corda Superior mais solicitada à tracção (barra VP_CSe20):

						
EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)						
Units : KN, m, C						
Frame : VP_CSe20	X Mid: 68.11	Combo: ELU-Qv2.03-A-WY-Design Type: Brace				
Length: 3.213	Y Mid: 12.294	Shape: PRS700x400x25x16Frame Type: Secndry				
Loc : 3.213	Z Mid: 5.189	Class: Class 1 Rolled: No				
Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03						
Combination = Eq. 6.10	Reliability = Class 2	Interaction = Method 2 (Annex B)				
MultiResponse = Envelopes	P-Delta Done? No	Consider Torsion? No				
Ignore Seismic Code? No	Ignore Special EQ Load? No	D/P Plug Welded? Yes				
GammaM0=1.	GammaM1=1.	GammaM2=1.25				
q=4.	Omega=1.	GammaOV=1.1				
An/Ag=1.	RLLF=1.	PLLF=0.75	D/C Lim=0.95	Prin. Axis Angle = 0. deg		
Aeff=0.03	Av,2=0.012	Av,3=0.02	eNy=0.	eNz=0.		
A=0.03	Iy=0.003	iy=0.295	Wel,y=0.008	Weff,y=0.008		
It=4.876E-06	Iz=2.669E-04	iz=0.094	Wel,z=0.001	Weff,z=0.001		
Iw=3.594E-05	Iyz=0.	h=0.7	Wpl,y=0.008			
E=210000000.	fy=355000.	fu=510000.	Wpl,z=0.002			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd
3.213	3779.274	-209.519	-104.687	16.885	32.095	1.863
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.9.1(6n))						
D/C Ratio:	0.35 = 0.35	<	0.95	OK		
	= (Ned/NRd)		(EC3 6.2.9.1(6n))			

BASIC FACTORS							
Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i				
Y-Y	1.	6.38	21.629				
Y-Y Braced	1.	6.38	21.629				
Z-Z	1.	5.784	61.732				
Z-Z Braced	1.	5.784	61.732				
LTB	1.	5.784	61.732				
AXIAL FORCE DESIGN							
Axial	NEd Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity				
	3779.274	10792.	10792.				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	10792.	11162.88	27352.805	27352.805	1.		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	b	0.34	134679.572	0.283	0.554	0.97	10471.302
Y-Y Braced	b	0.34	134679.572	0.283	0.554	0.97	10471.302
Z-Z	c	0.49	16533.535	0.808	0.975	0.657	7092.301
Z-Z Braced	c	0.49	16533.535	0.808	0.975	0.657	7092.301
Torsional TF	c	0.49	27352.805	0.628	0.802	0.769	8294.601
MOMENT DESIGN							
	MEd Moment	MEd, span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Y-Y	-209.519	-209.519	2996.2	2996.2	2348.707	2031.045	
Z-Z	-104.687	-104.687	724.768	724.768	724.658		
Compactness	Section Class 1	Flange Class 1	Web Class 1	Epsilon	Alpha	Psi	
				0.814	1.000E-06	-1.7	
LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
	c	0.49	0.775	0.941	0.678	3.594E-05	4988.81
Factors	kw	C1	C2	C3			
	1.	1.123	0.459	0.525			
	za	zs	zg	zz	zj		
	0.35	5.6E-17	0.35	0.	-5.551E-17		
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyy	kzy	kzz
	0.888	0.534	0.888	0.888	0.32	1.	0.534

Verificação detalhada no SAP2000 da Diagonal (SHS350x16) mais solicitada (barra VP-De10):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : VP-De-10 X Mid: 26.869 Combo: ELU-Qv2.02-F-WY-Design Type: Brace
Length: 6.402 Y Mid: 10.72 Shape: SHS350x16 Frame Type: Secndry
Loc : 6.402 Z Mid: 2.775 Class: Class 2 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method
2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle =
90. deg

Aeff=0.021	Av, 2=0.012	Av, 3=0.01	eNy=0.	eNz=0.
A=0.021	Iy=3.742E-04	iy=0.135	Wel, y=0.002	Weff, y=0.002
It=5.962E-04	Iz=3.742E-04	iz=0.135	Wel, z=0.002	Weff, z=0.002
Iw=0.	Iyz=0.	h=0.35	Wpl, y=0.003	
E=210000000.	fy=355000.	fu=510000.	Wpl, z=0.003	

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My, Ed	Mz, Ed	V2, Ed	V3, Ed	TEd
6.402	-3906.252	-35.224	-299.173	4.602	57.991	3.553

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.62)

D/C Ratio: 0.808 = $0.573 + 0.019 + 0.217$ < 0.95 OK
= $NEd / (\chi_{z} N_{Rk} / \Gamma_{M1}) + k_{zy} (My, Ed + NEd eNy) / (\chi_{LT} M_{y, Rk} / \Gamma_{M1})$
+ $k_{zz} (Mz, Ed + NEd eNz) / (Mz, Rk / \Gamma_{M1})$ (EC3 6.3.3(4)-6.62)

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i
Y-Y	1.	4.801	35.589
Y-Y Braced	1.	4.801	35.589
Z-Z	1.	4.801	35.589
Z-Z Braced	1.	4.801	35.589
LTB	1.	4.801	35.589

AXIAL FORCE DESIGN

	NEd	Nc, Rd	Nt, Rd
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-3906.252	7299.081	7299.081

	Npl, Rd	Nu, Rd	Ncr, T	Ncr, TF	An/Ag
	7299.081	7549.923	1322809.898	33645.379	1.

	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb, Rd
Y-Y	a	0.21	33645.379	0.466	0.636	0.935	6821.539
Y-Y Braced	a	0.21	33645.379	0.466	0.636	0.935	6821.539
Z-Z	a	0.21	33645.379	0.466	0.636	0.935	6821.539
Z-Z Braced	a	0.21	33645.379	0.466	0.636	0.935	6821.539
Torsional TF	a	0.21	33645.379	0.466	0.636	0.935	6821.539

MOMENT DESIGN

	MEd	MEd, span	Mc, Rd	Mv, Rd	Mn, Rd	Mb, Rd
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Y-Y	-35.224	-35.224	901.361	901.361	542.464	901.361
Z-Z	-299.173	-299.173	901.361	901.361	542.464	

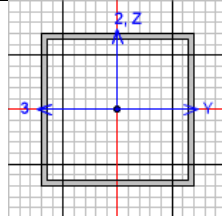
Compactness	Section Class 2	Flange Class 2	Web Class 2	Epsilon 0.814	Alpha 1.	Psi 0.07
-------------	-----------------	----------------	-------------	---------------	----------	----------

LTB	Curve d	AlphaLT 0.76	LambdaBarLT 0.131	PhiLT 0.482	ChiLT 1.	Iw 0.	Mcr 52473.736
-----	---------	--------------	-------------------	-------------	----------	-------	---------------

Factors	kw	C1	C2	C3	
	1.	1.394	0.459	0.525	
	za	zs	zg	zz	zj
	0.175	0.	0.175	0.	0.

Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	0.707	0.567	0.707	0.815	0.392	0.489	0.653

Verificação detalhada no SAP2000 da Diagonal (SHS350x12.5) mais solicitada (barra VP-De21):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : VP-De-21 X Mid: 61.767 Combo: ELU-Qv2.04-F-WY-Design Type: Brace
Length: 6.439 Y Mid: 12.134 Shape: SHS350x12.5 Frame Type: Secndry
Loc : 0. Z Mid: 2.512 Class: Class 2 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method
2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes
GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0.
deg

Aeff=0.017 Av,2=0.01 Av,3=0.008 eNy=0. eNz=0.
A=0.017 Iy=3.116E-04 iy=0.137 Wel,y=0.002 Weff,y=0.002
It=4.805E-04 Iz=3.116E-04 iz=0.137 Wel,z=0.002 Weff,z=0.002
Iw=0. Iyz=0. h=0.35 Wpl,y=0.002
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,z=0.002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	Ted
0.	-2844.22	90.845	290.846	24.695	46.482	43.518

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.62)

D/C Ratio: 0.867 = 0.517 + 0.039 + 0.311 < 0.95 OK
= $\frac{NEd}{\chi_z N Rk / \Gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{(My,Ed + NEd eNy)}{\chi_{LT} My, Rk / \Gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{(Mz,Ed + NEd eNz)}{(Mz, Rk / \Gamma_{M1})}$ (EC3 6.3.3(4)-6.62)

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i
Y-Y	1.	4.829	35.212
Y-Y Braced	1.	4.829	35.212
Z-Z	1.	4.829	35.212
Z-Z Braced	1.	4.829	35.212
LTB	1.	4.829	35.212

AXIAL FORCE DESIGN

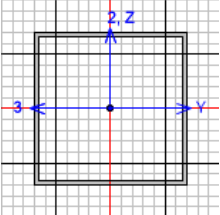
	NEd Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Ncr,T Capacity	Ncr,TF Capacity	An/Ag	
Axial	-2844.22	5879.597	5879.597	1031651.471	27686.274	1.	
		Npl,Rd	Nu,Rd				
		5879.597	6081.657				
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	a	0.21	27686.274	0.461	0.634	0.936	5503.368
Y-Y Braced	a	0.21	27686.274	0.461	0.634	0.936	5503.368
Z-Z	a	0.21	27686.274	0.461	0.634	0.936	5503.368
Z-Z Braced	a	0.21	27686.274	0.461	0.634	0.936	5503.368
Torsional TF	a	0.21	27686.274	0.461	0.634	0.936	5503.368

MOMENT DESIGN

	MEd Moment	MEd, span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Y-Y	90.845	90.845	739.445	739.445	499.562	739.445
Z-Z	290.846	290.846	739.445	739.445	499.562	

Compactness	Section Class 2	Flange Class 2	Web Class 2	Epsilon 0.814	Alpha 1.	Psi -0.033
LTB	Curve d	AlphaLT 0.76	LambdaBarLT 0.097	PhiLT 0.465	ChiLT 1.	Iw 0. 79260.054
Factors	kw 1.	C1 2.418	C2 0.	C3 0.79	zj 0.	
	za 0.175	zs 0.	zg 0.175	zz 0.		
Factors	Cmy 0.464	Cmz 0.697	CmLT 0.464	kyy 0.527	kyz 0.475	kzy 0.316 kzz 0.791

Verificação detalhada no SAP2000 da Diagonal (SHS350x10) mais solicitada (barra VP-De08):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : VP-De-08 X Mid: 20.445 Combo: ELU-Qv2.02-A-WY-Design Type: Brace
Length: 6.419 Y Mid: 10.389 Shape: SHS350x10 Frame Type: Secndry
Loc : 6.419 Z Mid: 2.775 Class: Class 2 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method 2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0. deg

Aeff=0.013 Av,2=0.008 Av,3=0.007 eNy=0. eNz=0.
A=0.013 Iy=2.541E-04 iy=0.138 Wel,y=0.001 Weff,y=0.001
It=3.930E-04 Iz=2.541E-04 iz=0.138 Wel,z=0.001 Weff,z=0.001
Iw=0. Iyz=0. h=0.35 Wpl,y=0.002
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,z=0.002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	Ted
6.419	2574.243	-64.973	321.62	18.463	68.274	15.45

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.9.1(6z))
D/C Ratio: 0.898 = 0.898 < 0.95 OK
= (Mz,Ed/Mn,z,Rd) (EC3 6.2.9.1(6z))

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i
Y-Y	1.	4.814	34.866
Y-Y Braced	1.	4.814	34.866
Z-Z	1.	4.814	34.866
Z-Z Braced	1.	4.814	34.866
LTB	1.	4.814	34.866

AXIAL FORCE DESIGN

	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
Axial	2574.243	4731.103	4731.103

Npl,Rd Nu,Rd Ncr,T Ncr,TF An/Ag

		4731.103	4893.693	832521.27	22722.587	1.	
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb, Rd
Y-Y	a	0.21	22722.587	0.456	0.631	0.937	4434.544
Y-Y Braced	a	0.21	22722.587	0.456	0.631	0.937	4434.544
Z-Z	a	0.21	22722.587	0.456	0.631	0.937	4434.544
Z-Z Braced	a	0.21	22722.587	0.456	0.631	0.937	4434.544
Torsional TF	a	0.21	22722.587	0.456	0.631	0.937	4434.544
MOMENT DESIGN							
		MEd	MEd, span	Mc, Rd	Mv, Rd	Mn, Rd	Mb, Rd
		Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Y-Y		-64.973	-64.973	598.991	598.991	358.071	598.991
Z-Z		321.62	321.62	598.991	598.991	358.071	
Compactness	Section	Flange	Web	Epsilon	Alpha	Psi	
	Class 2	Class 2	Class 2	0.814	1.000E-06	-2.088	
LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
	d	0.76	0.108	0.471	1.	0.	51428.877
Factors	kw	C1	C2	C3			
	1.	2.049	0.459	0.525			
	za	zs	zg	zz	zj		
	0.175	0.	0.175	0.	0.		
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	0.48	0.597	0.48	0.48	0.358	0.288	0.597

3.2.3 Travamento horizontal da corda superior

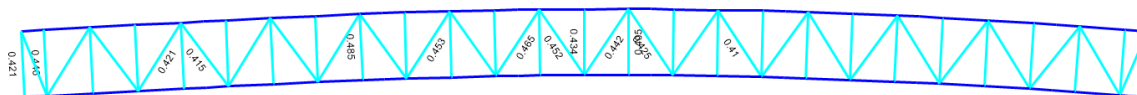


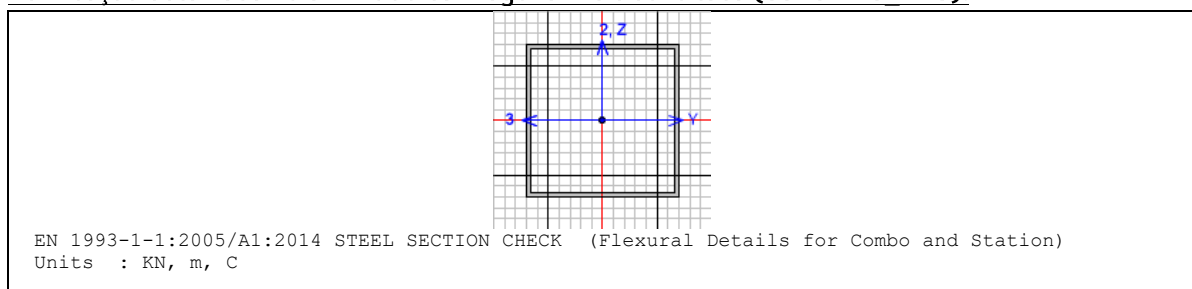
Figura 31 – Rátios de verificação de segurança – Travamento horizontal superior (montantes e diagonais)

Tabela 5 – Resultados da verificação da segurança dos elementos que compõem o travamento horizontal da corda superior

Barra	Secção	Comb	Loc. m	N _{Ed} KN	M _{Ed,y} KN.m	M _{Ed,z} KN.m	L m	K _{ey}	K _{ez}	Rácio
TrvS_D-01	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.85	-46.7	0.0	0.0	9.85	1.00	1.00	0.12
TrvS_D-02	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.31	-105.1	0.0	0.0	11.31	1.00	1.00	0.26
TrvS_D-03	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.33	-101.6	0.0	0.0	11.33	1.00	1.00	0.26
TrvS_D-04	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.29	-169.4	0.0	0.0	11.29	1.00	1.00	0.35
TrvS_D-05	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.29	-90.4	0.0	0.0	11.29	1.00	1.00	0.23
TrvS_D-06	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.27	-142.4	0.0	0.0	11.27	1.00	1.00	0.31
TrvS_D-07	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.25	-167.5	0.0	0.0	11.25	1.00	1.00	0.35
TrvS_D-08	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.25	-129.9	0.0	0.0	11.25	1.00	1.00	0.29
TrvS_D-09	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.23	-164.4	0.0	0.0	11.23	1.00	1.00	0.34
TrvS_D-10	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.22	-212.0	0.0	0.0	11.22	1.00	1.00	0.41
TrvS_D-11	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.22	-167.6	0.0	0.0	11.22	1.00	1.00	0.35
TrvS_D-12	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.23	-219.2	0.0	0.0	11.23	1.00	1.00	0.42
TrvS_D-13	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.25	-229.1	0.0	0.0	11.25	1.00	1.00	0.44
TrvS_D-14	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.25	-235.7	0.0	0.0	11.25	1.00	1.00	0.45
TrvS_D-15	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.22	-245.1	0.0	0.0	11.22	1.00	1.00	0.46
TrvS_D-16	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.25	-162.9	0.0	0.0	11.25	1.00	1.00	0.34

Barra	Secção	Comb	Loc. m	NEd KN	MEd.y KN.m	MEd.z KN.m	L m	Key	Kez	Rácio
TrvS_D-17	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.25	-236.9	0.0	0.0	11.25	1.00	1.00	0.45
TrvS_D-18	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	11.25	-113.8	0.0	0.0	11.25	1.00	1.00	0.27
TrvS_D-19	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	2.81	-102.1	5.7	-3.9	11.25	1.00	1.00	0.24
TrvS_D-20	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	2.81	-175.7	5.8	4.1	11.25	1.00	1.00	0.36
TrvS_D-21	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	2.81	-196.1	5.9	-3.7	11.25	1.00	1.00	0.39
TrvS_D-22	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	0.00	-75.0	0.0	0.0	9.84	1.00	1.00	0.15
TrvS_D-23	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	0.00	-160.4	0.0	0.0	11.32	1.00	1.00	0.34
TrvS_D-24	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	0.00	-191.1	0.0	0.0	11.32	1.00	1.00	0.39
TrvS_D-25	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	0.00	-218.2	0.0	0.0	11.32	1.00	1.00	0.42
TrvS_D-26	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	0.00	-212.3	0.0	0.0	11.28	1.00	1.00	0.41
TrvS_M-01	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	26.1	-37.3	-1.4	9.30	1.00	1.00	0.31
TrvS_M-02	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	-45.0	-35.8	3.0	9.30	1.00	1.00	0.32
TrvS_M-03	SHS250x6.3	ELU-W+Y-z_Q_T	0.00	-115.1	-36.0	-3.0	9.30	1.00	1.00	0.37
TrvS_M-04	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	0.00	-46.7	-32.0	3.6	9.30	1.00	1.00	0.30
TrvS_M-05	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	-69.8	-27.8	3.5	9.30	1.00	1.00	0.28
TrvS_M-06	SHS250x6.3	ELU-Qv2.07-A-WY-T	9.30	-47.0	-19.4	-14.1	9.30	1.00	1.00	0.28
TrvS_M-07	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	29.6	-26.3	7.2	9.30	1.00	1.00	0.27
TrvS_M-08	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	-77.4	-27.8	-2.4	9.30	1.00	1.00	0.28
TrvS_M-09	SHS250x6.3	ELU-Qv2.03-F-WY-T	9.30	-120.6	-30.7	4.0	9.30	1.00	1.00	0.34
TrvS_M-10	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	0.00	-46.7	-34.1	4.2	9.30	1.00	1.00	0.32
TrvS_M-11	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	-65.2	-33.5	3.2	9.30	1.00	1.00	0.32
TrvS_M-12	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	-34.7	-38.8	-7.1	9.30	1.00	1.00	0.37
TrvS_M-13	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	0.00	-24.9	-44.1	-6.8	9.30	1.00	1.00	0.41
TrvS_M-14	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	0.00	-76.3	-47.4	-3.2	9.30	1.00	1.00	0.43
TrvS_M-15	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	0.00	17.3	-40.7	7.7	9.30	1.00	1.00	0.38
TrvS_M-16	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	-32.4	-30.6	10.4	9.30	1.00	1.00	0.33
TrvS_M-17	SHS250x6.3	ELU-Tdc-Tue_Q_W	0.00	-116.4	-25.1	5.0	9.30	1.00	1.00	0.30
TrvS_M-18	SHS250x6.3	ELU-Tdc-Tue_Q_W	0.00	-60.5	-36.6	-8.1	9.30	1.00	1.00	0.38
TrvS_M-19	SHS250x6.3	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.00	-138.7	-44.4	7.9	9.30	1.00	1.00	0.49
TrvS_M-20	SHS250x6.3	ELU-W-Y-z_Q_T	0.00	-110.5	-30.8	-1.7	9.30	1.00	1.00	0.32
TrvS_M-21	SHS250x6.3	ELU-Tdc-Tue_Q_W	0.00	-127.6	-24.4	-2.5	9.30	1.00	1.00	0.28
TrvS_M-22	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	27.4	-50.6	2.1	9.30	1.00	1.00	0.42
TrvS_M-23	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	-60.6	-48.8	-4.5	9.30	1.00	1.00	0.45
TrvS_M-24	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	-72.0	-42.7	3.4	9.30	1.00	1.00	0.40
TrvS_M-25	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	-73.4	-39.0	-3.2	9.30	1.00	1.00	0.37
TrvS_M-26	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	10.3	-29.0	7.0	9.30	1.00	1.00	0.28
TrvS_M-27	SHS250x6.3	EQK-T1_Transv	9.30	-15.2	-20.5	-9.1	9.30	1.00	1.00	0.24

Verificação detalhada no SAP2000 da Diagonal mais solicitada (barra TrvS_D15):



Frame : TrvS_D-15X Mid: 69.81 Combo: EQK-T1 Transv Design Type: Brace
 Length: 11.223 Y Mid: 7.652 Shape: SHS250x6.3 Frame Type: Secndry
 Loc : 11.223 Z Mid: 5.147 Class: Class 3 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
 Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method
 2 (Annex B)
 MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
 Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
 q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
 An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0.
 deg

Aeff=0.006 Av,2=0.004 Av,3=0.003 eNy=0. eNz=0.
 A=0.006 Iy=5.928E-05 iy=0.099 Wel,y=4.742E-04 Weff,y=4.742E-04
 It=9.118E-05 Iz=5.928E-05 iz=0.099 Wel,z=4.742E-04 Weff,z=4.742E-04
 Iw=0. Iyz=0. h=0.25 Wpl,y=5.488E-04
 E=210000000. fy=275000. fu=430000. Wpl,z=5.488E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	Ted
11.223	-245.066	7.772	5.795	2.721	1.556	0.

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)
 D/C Ratio: 0.465 = 0.348 + 0.069 + 0.048 < 0.95 OK
 = NEd / (Chi_y NRk / GammaM1) + kyy (My,Ed + NED eNy) / (Chi_LT My,Rk / GammaM1)
 + kyz (Mz,Ed + NED eNz) / (Mz,Rk / GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.61)

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i
Y-Y	1.	11.223	113.283
Y-Y Braced	1.	11.223	113.283
Z-Z	1.	11.223	113.283
Z-Z Braced	1.	11.223	113.283
LTB	1.	11.223	113.283

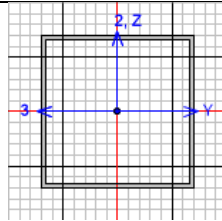
AXIAL FORCE DESIGN

	NEd Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Ncr,T Capacity	Ncr,TF Capacity	An/Ag	
Axial	-245.066	1660.941	1660.941	375191.339	975.464	1.	
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	1660.941	1869.917	375191.339	975.464	1.		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	b	0.34	975.464	1.305	1.539	0.425	705.129
Y-Y Braced	b	0.34	975.464	1.305	1.539	0.425	705.129
Z-Z	b	0.34	975.464	1.305	1.539	0.425	705.129
Z-Z Braced	b	0.34	975.464	1.305	1.539	0.425	705.129
Torsional TF	b	0.34	975.464	1.305	1.539	0.425	705.129

MOMENT DESIGN

	MEd Moment	MEd, span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Y-Y	0.	7.772	130.411	130.411	130.411	130.411	
Z-Z	0.	5.795	130.411	130.411	130.411	130.411	
Compactness	Section Class 3	Flange Class 3	Web Class 1	Epsilon 0.924	Alpha 0.667	Psi -0.705	
LTB	Curve d	AlphaLT 0.76	LambdaBarLT 0.209	PhiLT 0.526	ChiLT 0.993	Iw 0.	Mcr 2971.398
Factors	kw	C1	C2	C3			
	1.	1.132	0.459	0.525			
	za	zs	zg	zz			
	0.125	0.	0.125	0.			
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	0.95	0.9	0.95	1.148	1.088	0.918	1.088

Verificação detalhada no SAP2000 do Montante mais solicitado (barra TrvS M19):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : TrvS_M-19X Mid: 47.646 Combo: ELU-Qv2.04-F-WY-Design Type: Beam
Length: 9.299 Y Mid: 7.054 Shape: SHS250x6.3 Frame Type: Secndry
Loc : 0. Z Mid: 5.471 Class: Class 3 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method
2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0.
deg

Aeff=0.006 Av,2=0.004 Av,3=0.003 eNy=0. eNz=0.
A=0.006 Iy=5.928E-05 iy=0.099 Wel,y=4.742E-04 Weff,y=4.742E-04
It=9.118E-05 Iz=5.928E-05 iz=0.099 Wel,z=4.742E-04 Weff,z=4.742E-04
Iw=0. Iyz=0. h=0.25 Wpl,y=5.488E-04
E=210000000. fy=275000. fu=430000. Wpl,z=5.488E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TED
0.	-138.685	-44.422	7.949	5.656	1.36	0.062

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.1(7), 6.2.9.2(1))
D/C Ratio: 0.485 = 0.083 + 0.341 + 0.061 < 0.95 OK
= (Ned/NRd) + (My,Ed/My,Rd) + (Mz,Ed/Mz,Rd) (EC3 6.2.1(7),
6.2.9.2(1))

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i
Y-Y	1.	9.299	93.869
Y-Y Braced	1.	9.299	93.869
Z-Z	1.	9.299	93.869
Z-Z Braced	1.	9.299	93.869
LTB	1.	9.299	93.869

AXIAL FORCE DESIGN

	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd				
	Force	Capacity	Capacity				
Axial	-138.685	1660.941	1660.941				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	1660.941	1869.917	375191.339	1420.688	1.		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	b	0.34	1420.688	1.081	1.234	0.547	907.711
Y-Y Braced	b	0.34	1420.688	1.081	1.234	0.547	907.711
Z-Z	b	0.34	1420.688	1.081	1.234	0.547	907.711
Z-Z Braced	b	0.34	1420.688	1.081	1.234	0.547	907.711
Torsional TF	b	0.34	1420.688	1.081	1.234	0.547	907.711

MOMENT DESIGN

	MEd	MEd, span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Y-Y	-44.422	-44.422	130.411	130.411	130.411	130.411
Z-Z	7.949	7.949	130.411	130.411	130.411	130.411

Section	Flange	Web	Epsilon	Alpha	Psi
---------	--------	-----	---------	-------	-----

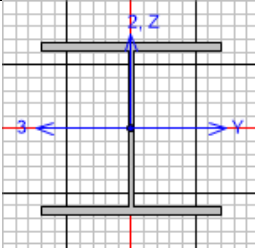
Tabela 6 – Resultados da verificação da segurança das longarinas – Seção metálica

Barra	Secção	Comb	Loc. m	N _{Ed} KN	M _{Ed,y} KN.m	M _{Ed,z} KN.m	L m	Rácio
Long_01	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.88	309	91.0	-10.1	6.43	0.43
Long_02	HE280A	ELU-Qv2.07-F-WY-T	3.11	296	181.9	-2.8	6.43	0.61
Long_03	HE280A	ELU-Qv2.07-F-WY-T	3.10	295	180.7	2.5	6.43	0.61
Long_04	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.88	281	90.2	10.0	6.43	0.42
Long_05	HE280A	ELU-Qv2.08-A-WY-T	3.69	518	98.7	-7.7	6.43	0.49
Long_06	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	2.77	449	179.4	-2.7	6.45	0.65
Long_07	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	2.77	429	180.9	2.9	6.47	0.65
Long_08	HE280A	ELU-Qv2.08-A-WY-T	3.70	515	99.0	6.6	6.48	0.48
Long_09	HE280A	ELU-Qv2.08-F-WY-T	2.75	453	91.6	-6.5	6.42	0.44
Long_10	HE280A	ELU-Qv2.08-F-WY-T	3.68	380	168.1	-2.4	6.43	0.60
Long_100	HE280A	ELU-Qv2.04-F-WY-T	5.95	-1017	22.3	10.0	6.45	0.44
Long_11	HE280A	ELU-Qv2.08-F-WY-T	3.69	379	170.6	2.0	6.45	0.60
Long_12	HE280A	ELU-Qv2.08-F-WY-T	2.77	465	95.4	6.6	6.47	0.45
Long_13	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	2.75	359	99.4	-6.0	6.41	0.43
Long_14	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.68	375	178.9	-2.5	6.43	0.63
Long_15	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.69	379	181.8	2.3	6.45	0.63
Long_16	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.70	351	102.6	6.4	6.47	0.44
Long_17	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	1.00	-946	55.0	4.3	6.42	0.58
Long_18	HE280A	ELU-Qv2.07-F-WY-T	2.55	-348	141.1	-2.0	6.43	0.51
Long_19	HE280A	ELU-Qv2.07-F-WY-T	2.56	-348	141.8	2.4	6.45	0.52
Long_20	HE280A	ELU-Tdc-Tue_Q_W	1.00	-727	57.8	-9.0	6.47	0.46
Long_21	HE280A	ELU-Qv2.07-F-WY-T	5.28	-992	46.0	4.1	6.28	0.55
Long_22	HE280A	ELU-Qv2.03-A-WY-T	3.03	368	167.2	-1.1	6.29	0.58
Long_23	HE280A	ELU-Qv2.03-A-WY-T	3.04	346	166.4	1.6	6.31	0.58
Long_24	HE280A	ELU-Qv2.03-F-WX-T	5.33	-985	48.6	-1.9	6.33	0.52
Long_25	HE280A	ELU-Qv2.05-A-WY-T	3.59	409	88.6	-7.9	6.28	0.43
Long_26	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	2.70	381	166.8	-2.2	6.29	0.59
Long_27	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	2.70	354	165.9	2.5	6.31	0.58
Long_28	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.62	372	93.1	5.3	6.33	0.41
Long_29	HE280A	ELU-Qv2.03-A-WY-T	3.59	619	92.9	-5.5	6.28	0.48
Long_30	HE280A	ELU-Qv2.09-A-WY-T	3.60	576	174.4	-2.4	6.29	0.67
Long_31	HE280A	ELU-Qv2.09-A-WY-T	3.61	531	174.8	2.2	6.31	0.66
Long_32	HE280A	ELU-Qv2.06-A-WY-T	3.62	549	92.2	6.6	6.33	0.47
Long_33	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.59	461	91.6	-7.2	6.28	0.45
Long_34	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.60	381	167.3	-2.7	6.29	0.60
Long_35	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.61	372	169.3	2.9	6.31	0.60
Long_36	HE280A	ELU-Qv2.06-A-WY-T	2.71	579	92.4	5.2	6.33	0.47
Long_37	HE280A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	2.69	367	94.6	-7.7	6.28	0.43
Long_38	HE280A	ELU-Qv2.05-A-WY-T	3.60	392	171.3	-2.6	6.29	0.61
Long_39	HE280A	ELU-Qv2.05-A-WY-T	3.61	388	172.3	3.1	6.31	0.62

Barra	Secção	Comb	Loc. m	N _{Ed} KN	M _{Ed,y} KN.m	M _{Ed,z} KN.m	L m	Rácio
Long_40	HE280A	ELU-Qv2.05-A-WY-T	3.62	384	97.7	7.0	6.33	0.44
Long_41	HE280A	ELU-Qv2.03-F-WY-T	1.00	-745	62.5	-9.6	6.28	0.47
Long_42	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.27	310	164.6	-1.9	6.29	0.56
Long_43	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.28	325	167.5	0.9	6.31	0.57
Long_44	HE280A	ELU-Qv2.03-F-WY-T	1.00	-765	66.5	8.0	6.33	0.47
Long_45	HE280A	ELU-Qv2.09-F-WY-T	5.28	-890	44.6	0.9	6.28	0.47
Long_46	HE280A	ELU-Tdc-Tue_Q_W	3.02	-395	152.8	-1.4	6.29	0.55
Long_47	HE280A	ELU-Tdc-Tue_Q_W	3.03	-406	151.9	1.8	6.31	0.55
Long_48	HE280A	ELU-Qv2.09-F-WY-T	3.81	-596	76.3	8.8	6.33	0.46
Long_49	HE280A	ELU-Qv2.09-F-WY-T	1.79	-307	82.5	-11.2	6.27	0.41
Long_50	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.60	297	177.2	-2.1	6.29	0.60
Long_51	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.61	302	177.2	2.6	6.31	0.60
Long_52	HE280A	ELU-Qv2.03-F-WY-T	4.52	-387	83.5	8.7	6.33	0.42
Long_53	HE280A	ELU-Qv2.04-F-WY-T	1.00	-1078	50.2	4.3	6.28	0.59
Long_54	HE280A	ELU-Tdc-Tue_Q_W	2.51	-454	140.3	-1.6	6.29	0.53
Long_55	HE280A	ELU-Tdc-Tue_Q_W	2.52	-458	140.2	2.1	6.31	0.54
Long_56	HE280A	ELU-Qv2.03-F-WY-T	1.00	-1037	41.6	-0.2	6.33	0.49
Long_57	HE280A	ELU-Qv2.04-F-WY-T	5.30	-867	48.4	2.6	6.30	0.52
Long_58	HE280A	ELU-Tdc-Tue_Q_W	3.80	-420	139.9	-1.4	6.32	0.52
Long_59	HE280A	ELU-Tdc-Tue_Q_W	3.81	-424	140.6	-1.5	6.34	0.53
Long_60	HE280A	ELU-Qv2.03-F-WY-T	5.36	-812	40.8	-1.6	6.36	0.43
Long_61	HE280A	ELU-Qv2.06-A-WY-T	3.60	547	94.4	-8.3	6.30	0.49
Long_62	HE280A	ELU-Qv2.06-A-WY-T	3.61	429	180.1	-2.8	6.32	0.65
Long_63	HE280A	ELU-Qv2.06-A-WY-T	3.62	410	179.8	2.7	6.34	0.64
Long_64	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.63	600	92.8	6.1	6.36	0.48
Long_65	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	3.60	734	90.1	-7.6	6.30	0.53
Long_66	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	2.71	523	166.2	-2.3	6.32	0.63
Long_67	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	2.72	503	166.5	2.2	6.34	0.63
Long_68	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	3.63	757	90.9	6.8	6.36	0.53
Long_69	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.61	874	96.2	-6.9	6.31	0.58
Long_70	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	2.71	663	175.8	-3.1	6.33	0.71
Long_71	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.63	638	178.9	3.0	6.35	0.71
Long_72	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.64	949	99.1	7.3	6.37	0.61
Long_73	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	2.71	773	93.5	-7.3	6.31	0.54
Long_74	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.62	606	170.8	-2.1	6.33	0.67
Long_75	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.63	604	172.0	2.1	6.35	0.67
Long_76	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	2.73	809	94.9	7.2	6.37	0.56
Long_77	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	2.70	590	96.4	-6.4	6.31	0.49
Long_78	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	3.61	535	175.5	-2.5	6.32	0.66
Long_79	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	3.61	552	175.9	2.7	6.32	0.67
Long_80	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	2.71	661	96.6	6.3	6.33	0.51

Barra	Secção	Comb	Loc. m	N _{Ed} KN	M _{Ed,y} KN.m	M _{Ed,z} KN.m	L m	Rácio
Long_81	HE280A	ELU-Qv2.02-F-WY-T	0.50	-1043	29.4	3.6	6.31	0.46
Long_82	HE280A	ELU-Qv2.06-F-WY-T	3.28	239	158.3	-2.0	6.31	0.53
Long_83	HE280A	ELU-Qv2.06-F-WY-T	3.28	238	158.2	1.8	6.31	0.52
Long_84	HE280A	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.50	-900	32.8	-1.8	6.31	0.41
Long_85	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	2.56	283	99.4	-9.8	6.45	0.44
Long_86	HE280A	ELU-Qv2.01-A-WY-T	3.69	377	97.0	-5.2	6.45	0.42
Long_87	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.69	276	95.7	-7.8	6.45	0.41
Long_88	HE280A	ELU-Qv2.02-F-WY-T	5.95	-1039	13.4	3.1	6.45	0.42
Long_89	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	3.34	420	198.4	-1.7	6.45	0.69
Long_90	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	2.76	296	181.6	-3.1	6.45	0.62
Long_91	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	2.76	323	179.6	-2.0	6.45	0.61
Long_92	HE280A	ELU-Qv2.01-A-WY-T	3.11	321	174.5	-1.4	6.45	0.59
Long_93	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	3.34	427	197.1	2.4	6.45	0.69
Long_94	HE280A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	2.76	267	180.6	3.3	6.45	0.61
Long_95	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	2.76	326	178.7	2.6	6.45	0.61
Long_96	HE280A	ELU-Qv2.01-A-WY-T	3.11	311	173.9	1.8	6.45	0.59
Long_97	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	2.56	222	97.2	9.2	6.45	0.41
Long_98	HE280A	ELU-Qv2.01-A-WY-T	3.69	336	96.2	4.6	6.45	0.40
Long_99	HE280A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	3.69	337	97.6	6.2	6.45	0.42

Verificação detalhada no SAP2000 da Longarina mais solicitada (barra Long_71):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : Long_71 X Mid: 47.589 Combo: ELU-Qv2.04-A-WY-Design Type: Beam
Length: 6.351 Y Mid: 8.303 Shape: HE280A Frame Type: Secndry
Loc : 3.629 Z Mid: -0.079 Class: Class 3 Rolled : Yes

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method 2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0. deg

Aeff=0.01 Av,2=0.003 Av,3=0.008 eNy=0. eNz=0.
A=0.01 Iy=1.367E-04 iy=0.119 Wel,y=0.001 Weff,y=0.001
It=6.350E-07 Iz=4.763E-05 iz=0.07 Wel,z=3.402E-04 Weff,z=3.402E-04
Iw=7.854E-07 Iyz=0. h=0.27 Wpl,y=0.001

E=210000000.	fy=355000.	fu=510000.	Wpl, z=5.180E-04					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TEd		
3.629	637.666	178.938	2.979	49.019	4.246	0.012		
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.1(7), 6.2.9.2(1))								
D/C Ratio:	0.707 = 0.185 + 0.498 + 0.025 <			0.95	OK			
	= (Ned/NRd) + (My,Ed/My,Rd) + (Mz,Ed/Mz,Rd)				(EC3 6.2.1(7),			
6.2.9.2(1))								
BASIC FACTORS								
Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i					
Y-Y	1.	0.064	0.536					
Y-Y Braced	1.	0.064	0.536					
Z-Z	1.	0.064	0.908					
Z-Z Braced	1.	0.064	0.908					
LTB	1.	0.064	0.908					
AXIAL FORCE DESIGN								
	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd					
	Force	Capacity	Capacity					
Axial	637.666	3454.15	3454.15					
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag			
	3454.15	3572.856	21308098.31	21308098.31	1.			
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd	
Y-Y	b	0.34	70253647.9	0.007	0.467	1.	3454.15	
Y-Y Braced	b	0.34	70253647.9	0.007	0.467	1.	3454.15	
Z-Z	c	0.49	24478282.75	0.012	0.454	1.	3454.15	
Z-Z Braced	c	0.49	24478282.75	0.012	0.454	1.	3454.15	
Torsional TF	c	0.49	21308098.31	0.013	0.454	1.	3454.15	
MOMENT DESIGN								
	MEd	MEd, span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd		
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity		
Y-Y	178.938	178.938	359.471	359.471	335.327	359.471		
Z-Z	2.979	2.979	120.776	120.776	120.776			
	Section	Flange	Web	Epsilon	Alpha	Psi		
Compactness	Class 3	Class 3	Class 1	0.814	1.000E-06	-1.369		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr	
LTB	a	0.21	0.011	0.48	1.	7.854E-07	3207503.285	
	Factors	kw	C1	C2	C3			
		1.	1.02	0.	0.996			
		za	zs	zg	zz	zj		
		0.135	0.	0.135	0.	0.		
	Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
		0.985	0.454	0.985	0.985	0.454	1.	0.454

As seções das carlingas nos apoios têm 3 almas, e foram modeladas também recorrendo ao módulo livre de definição de secções do SAP2000 com a secção apresentada na figura seguinte.

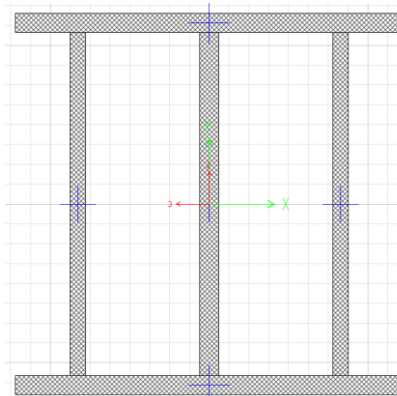


Figura 35 – Seção das carlingas nos apoios – SAP2000.

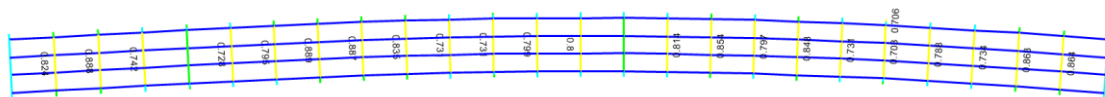


Figura 36 – Rácios de verificação de segurança – Carlingas – $\phi_3 = 1.255$.

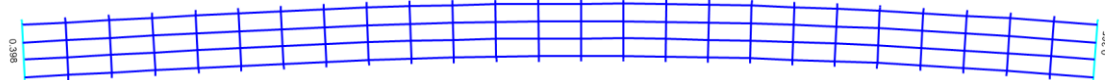


Figura 37 – Rácios de verificação de segurança – Carlingas de Extremidade – $\phi_3 = 2.003$.

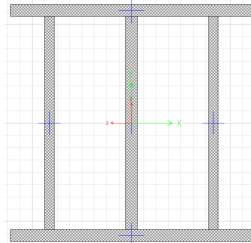
Tabela 7 – Resultados da verificação da segurança das Carlingas – Seção metálica

Barra	Secção	Comb	Loc. m	N _{Ed} KN	M _{Ed.y} KN.m	M _{Ed.z} KN.m	L m	Key	Kez	Rácio
CarA-C-02	CalAP-Vao_590	EQK-T1_Transv	0.79	-3260	63	8	7.70	1.00	0.21	0.61
CarA-C-04	CalAP-Vao_590	EQK-T1_Transv	0.40	-2923	5	13	7.70	1.00	0.21	0.63
CarA-C-03	CalAP-Vao_590	EQK-T1_Transv	0.79	-3815	134	-25	7.70	1.00	0.21	0.73
CarA-C-05	CalAP-Vao_590	ELU-Qv2.07-A-WY-T	0.79	-2879	209	-11	7.70	1.00	0.21	0.70
CarA-E-02-1	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.02-F-WY-T	0.35	-147	-1814	57	0.35	1.00	1.00	0.49
CarA-I-02-1	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.02-A-WY-T	0.00	-160	-1835	-64	0.35	1.00	1.00	0.49
CarA-E-04-1	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.06-A-WY-T	0.35	-37	-1305	-2	0.35	1.00	1.00	0.31
CarA-I-04-1	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.03-A-WY-T	0.00	-85	-1437	-25	0.35	1.00	1.00	0.35
CarA-E-03-1	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.09-A-WY-T	0.35	-72	-1626	47	0.35	1.00	1.00	0.42
CarA-I-03-1	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.04-A-WY-T	0.00	-154	-1721	11	0.35	1.00	1.00	0.42
CarA-E-05-1	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.07-A-WY-T	0.35	-108	-1851	134	0.35	1.00	1.00	0.53
CarA-I-05-1	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.00	-207	-1875	-119	0.35	1.00	1.00	0.53
CarA-E-02-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.02-A-WY-T	0.00	-1754	-1399	-74	0.45	1.00	1.00	0.39
CarA-I-02-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.04-A-WY-T	0.45	-879	-1443	52	0.45	1.00	1.00	0.36
CarA-E-04-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.05-A-WY-T	0.00	-1444	-1006	-51	0.45	1.00	1.00	0.29
CarA-I-04-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.03-A-WY-T	0.45	-737	-1135	48	0.45	1.00	1.00	0.29
CarA-E-03-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.00	-1850	-1219	50	0.45	1.00	1.00	0.35
CarA-I-03-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.04-A-WY-T	0.45	-953	-1360	42	0.45	1.00	1.00	0.34
CarA-E-05-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.00	-2152	-1431	-124	0.45	1.00	1.00	0.43

Barra	Secção	Comb	Loc. m	N _{Ed} KN	M _{Ed.y} KN.m	M _{Ed.z} KN.m	L m	K _{ey}	K _{ez}	Rácio
CarA-I-05-2	CarlAP AP 590	ELU-Qv2.07-A-WX-T	0.45	-1057	-1357	245	0.45	1.00	1.00	0.42
Car-C-07	HE600A	ELU-Qv2.02-A-WY-T	4.36	2880	1299	-1	7.70	1.00	0.20	0.89
Car-C-14	HE600A	ELU-Qv2.06-F-WY-T	3.34	2540	1244	2	7.70	1.00	0.20	0.80
Car-C-19	HE600A	ELU-Qv2.08-F-WY-T	4.36	2814	1280	-5	7.70	1.00	0.20	0.86
Car-C-01	HE600A	ELU-Qv2.01-A-WY-T	3.85	2688	1252	0	7.70	1.00	0.20	0.82
Car-C-02	HE600A	ELU-Qv2.04-F-WY-T	3.85	2885	1298	-1	7.70	1.00	0.20	0.89
Car-C-03	HE600A	ELU-Qv2.02-F-WY-T	3.34	2420	1183	1	7.70	1.00	0.20	0.74
Car-C-04	HE600A	ELU-Qv2.09-A-WY-T	3.85	2462	1153	-1	7.70	1.00	0.20	0.73
Car-C-05	HE600A	ELU-Qv2.06-F-WY-T	3.85	2616	1223	-2	7.70	1.00	0.20	0.79
Car-C-06	HE600A	ELU-Qv2.04-A-WY-T	3.85	2908	1294	1	7.70	1.00	0.20	0.89
Car-C-08	HE600A	ELU-Qv2.06-F-WY-T	3.85	2757	1252	-2	7.70	1.00	0.20	0.84
Car-C-09	HE600A	ELU-Qv2.09-A-WY-T	3.34	2465	1156	-2	7.70	1.00	0.20	0.73
Car-C-10	HE600A	ELU-Qv2.03-A-WY-T	3.34	2642	1224	-2	7.70	1.00	0.20	0.80
Car-C-11	HE600A	ELU-Qv2.02-F-WY-T	3.34	2657	1222	-1	7.70	1.00	0.20	0.80
Car-C-12	HE600A	ELU-Qv2.05-F-WY-T	4.36	2735	1225	2	7.70	1.00	0.20	0.81
Car-C-13	HE600A	ELU-Qv2.07-F-WY-T	3.85	2807	1268	0	7.70	1.00	0.20	0.85
Car-C-15	HE600A	ELU-Qv2.05-F-WY-T	3.85	2788	1263	-2	7.70	1.00	0.20	0.85
Car-C-16	HE600A	ELU-Qv2.07-F-WY-T	3.34	2437	1162	-1	7.70	1.00	0.20	0.73
Car-C-17	HE600A	ELU-Qv2.07-F-WY-T	3.34	2624	1211	-1	7.70	1.00	0.20	0.79
Car-C-18	HE600A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	3.34	2340	1187	2	7.70	1.00	0.20	0.73
Car-C-20	HE600A	ELU-Qv2.07-A-WY-T	4.61	2742	1299	-1	7.70	1.00	0.20	0.86
Car-E-07	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.02-A-WY-T	0.00	120	-770	98	0.80	1.00	0.44	0.30
Car-I-07	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.02-A-WY-T	0.80	159	-620	105	0.80	1.00	0.44	0.27
Car-I-14	CarlCorr_AP	ELU-Tdc-Tue_Q_W	0.35	-247	-77	44	0.80	1.00	0.44	0.21
Car-E-14	CarlCorr_AP	ELU-Tdc-Tue_Q_W	0.45	-261	-127	-26	0.80	1.00	0.56	0.22
Car-E-19	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.08-A-WY-T	0.00	121	-706	56	0.80	1.00	0.44	0.25
Car-I-19	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.08-A-WY-T	0.80	139	-627	41	0.80	1.00	0.44	0.22
Car-I-01	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.01-F-WY-T	0.00	143	-690	93	0.80	1.00	0.44	0.28
Car-E-01	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.01-F-WY-T	0.80	152	-703	137	0.80	1.00	0.44	0.32
Car-I-02	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.04-A-WY-T	0.00	120	-679	-49	0.80	1.00	0.44	0.24
Car-E-02	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.02-A-WY-T	0.80	120	-667	-73	0.80	1.00	0.44	0.25
Car-E-03	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.02-A-WY-T	0.00	133	-625	120	0.80	1.00	0.44	0.28
Car-I-03	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.01-A-WY-T	0.80	126	-606	96	0.80	1.00	0.44	0.25
Car-E-04	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.09-F-WY-T	0.00	164	-766	-241	0.80	1.00	0.44	0.42
Car-I-04	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.80	147	-704	-239	0.80	1.00	0.44	0.40
Car-E-05	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.02-F-WY-T	0.00	127	-695	-196	0.80	1.00	0.44	0.36
Car-I-05	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.02-F-WY-T	0.80	120	-656	-150	0.80	1.00	0.44	0.31
Car-I-06	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.00	137	-653	47	0.80	1.00	0.44	0.23
Car-E-06	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.80	138	-729	80	0.80	1.00	0.44	0.28
Car-E-08	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.06-A-WY-T	0.00	130	-738	271	0.80	1.00	0.44	0.44
Car-I-08	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.06-A-WY-T	0.80	132	-691	166	0.80	1.00	0.44	0.34

Barra	Secção	Comb	Loc. m	N _{Ed} KN	M _{Ed.y} KN.m	M _{Ed.z} KN.m	L m	K _{ey}	K _{ez}	Rácio
Car-E-09	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.09-A-WY-T	0.00	167	-765	332	0.80	1.00	0.44	0.50
Car-I-09	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.03-A-WY-T	0.80	153	-747	257	0.80	1.00	0.44	0.43
Car-E-10	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.04-F-WY-T	0.00	122	-631	-28	0.80	1.00	0.44	0.21
Car-I-10	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.03-A-WY-T	0.45	-75	-161	-11	0.80	1.00	0.56	0.22
Car-E-11	CarlCorr_AP	ELU-Tdc-Tue_Q_W	0.35	-239	-91	23	0.80	1.00	0.44	0.21
Car-I-11	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.02-F-WY-T	0.45	-60	-151	17	0.80	1.00	0.56	0.22
Car-I-12	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.05-F-WY-T	0.00	147	-721	158	0.80	1.00	0.44	0.34
Car-E-12	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.05-F-WY-T	0.80	149	-706	209	0.80	1.00	0.44	0.38
Car-E-13	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.09-F-WY-T	0.00	115	-651	-116	0.80	1.00	0.44	0.28
Car-I-13	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.80	124	-651	-61	0.80	1.00	0.44	0.24
Car-E-15	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.07-A-WY-T	0.00	109	-617	146	0.80	1.00	0.44	0.30
Car-I-15	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.05-A-WY-T	0.80	118	-634	101	0.80	1.00	0.44	0.27
Car-E-16	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.07-A-WY-T	0.00	145	-652	214	0.80	1.00	0.44	0.37
Car-I-16	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.06-A-WY-T	0.80	140	-664	159	0.80	1.00	0.44	0.32
Car-E-17	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.00	144	-691	-172	0.80	1.00	0.44	0.34
Car-I-17	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.80	142	-696	-144	0.80	1.00	0.44	0.32
Car-E-18	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.00	107	-620	-119	0.80	1.00	0.44	0.28
Car-I-18	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.07-F-WY-T	0.80	113	-614	-80	0.80	1.00	0.44	0.24
Car-E-20	CarlCorr_AP	ELU-Qv2.07-A-WY-T	0.00	193	-729	207	0.80	1.00	0.44	0.38
Car-I-20	CarlCorr AP	ELU-Qv2.07-A-WY-T	0.80	115	-660	148	0.80	1.00	0.44	0.31
CarA-E-01-1	CarlAP_590	ELU-Qv2.01-F-WY-T	0.35	-62	-800	102	0.35	1.00	1.00	0.21
CarA-I-01-1	CarlAP_590	ELU-Qv2.01-F-WY-T	0.00	-36	-773	221	0.35	1.00	1.00	0.25
CarA-E-06-1	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.08-A-WY-T	0.00	-84	-40	246	0.35	1.00	1.00	0.25
CarA-I-06-1	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.07-A-WY-T	0.00	-59	-865	-216	0.35	1.00	1.00	0.27
CarA-E-01-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.01-F-WY-T	0.00	-959	-423	187	0.45	1.00	1.00	0.20
CarA-I-01-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.01-F-WY-T	0.45	-353	-584	119	0.45	1.00	1.00	0.18
CarA-E-06-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.07-A-WY-T	0.00	-850	-510	-178	0.45	1.00	1.00	0.21
CarA-I-06-2	CarlAP_AP_590	ELU-Qv2.07-A-WY-T	0.45	-443	-648	-113	0.45	1.00	1.00	0.20
CarA-C-01	CalAP-Vao_590	ELU-Qv2.02-F-WY-T	0.40	-754	99	8	7.70	1.00	0.21	0.40
CarA-C-02	CalAP-Vao_590	ELU-Qv2.08-A-WY-T	0.40	-1223	21	-50	5.10	1.00	0.31	0.36
CarA-C-03	CalAP-Vao_590	ELU-Qv2.07-A-WY-T	2.20	-871	2	-31	2.60	1.00	0.61	0.32

Verificação detalhada no SAP2000 da Carlinga dos apoios mais solicitada, na zona do apoio (barra CarA-E-05-1):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : CarA-E-05X Mid: 126.683 Combo: ELU-Qv2.07-A-WY-Design Type: Beam
Length: 0.35 Y Mid: 11.205 Shape: CarlAP_590 Frame Type: Secndry
Loc : 0.35 Z Mid: -2.005 Class: Class 3 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method
2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0.
deg

Aeff=0.079 Av,2=0.046 Av,3=0.032 eNy=0. eNz=0.
A=0.079 Iy=0.004 iy=0.221 Wel,y=0.013 Weff,y=0.013
It=0.003 Iz=0.002 iz=0.17 Wel,z=0.007 Weff,z=0.007
Iw=0. Iyz=0. h=0.59 Wpl,y=0.016
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,z=0.011

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	TED
0.35	-107.768	-1851.209	134.154	6588.507	276.968	78.179

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.1(7), 6.2.9.2(1))
D/C Ratio: 0.534 = 0.004 + 0.48 + 0.051 < 0.95 OK
= (Ned/NRd) + (My,Ed/My,Rd) + (Mz,Ed/Mz,Rd) (EC3 6.2.1(7),
6.2.9.2(1))

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i
Y-Y	1.	0.35	1.583
Y-Y Braced	1.	0.35	1.583
Z-Z	1.	0.35	2.064
Z-Z Braced	1.	0.35	2.064
LTB	1.	0.35	2.064

AXIAL FORCE DESIGN

	NEd Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
Axial	-107.768	28045.	28045.

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	28045.	29008.8	3212936.74	3212936.74	1.

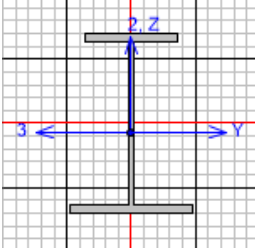
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	c	0.49	65364034.7	0.021	0.456	1. 28045.
Y-Y Braced	c	0.49	65364034.7	0.021	0.456	1. 28045.
Z-Z	c	0.49	38443077.	0.027	0.458	1. 28045.
Z-Z Braced	c	0.49	38443077.	0.027	0.458	1. 28045.
Torsional TF	c	0.49	3212936.74	0.093	0.478	1. 28045.

MOMENT DESIGN

	MEd Moment	MEd, span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Y-Y	-1851.209	-1851.209	4650.739	3858.482	4650.739	4650.739

Z-Z	134.154	134.154	2645.595	2645.595	2645.595		
Compactness	Section Class 3	Flange Class 3	Web Class 3	Epsilon 0.814	Alpha 1.	Psi -0.992	
LTB	Curve d	AlphaLT 0.76	LambdaBarLT 0.026	PhiLT 0.434	ChiLT 1.	Iw 0.6924837	Mcr 191
Factors	kw 1.	C1 2.235	C2 0.	C3 0.852			
	za 0.295	zs 0.	zg 0.295	zz 0.	zj 0.		
Factors	Cmy 0.507	Cmz 0.716	CmLT 0.507	kyy 0.507	kyz 0.716	kzy 1.	kzz 0.716

Verificação detalhada no SAP2000 da Carlinga dos apoios mais solicitada, na zona do vão (barra CarA-C-03):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : CarA-C-03X Mid: 69.784 Combo: EQK-T1 Transv Design Type: Beam
Length: 7.7 Y Mid: 7.685 Shape: PRS590x300/400x3 Frame Type: Secndry
Loc : 0.79 Z Mid: -0.386 Class: Class 3 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method 2 (Annex B)
MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0. deg

Aeff=0.029 Av,2=0.01 Av,3=0.021 eNy=0. eNz=0.
A=0.029 Iy=0.002 iy=0.249 Wel,y=0.006 Weff,y=0.006
It=6.670E-06 Iz=2.277E-04 iz=0.088 Wel,z=0.001 Weff,z=0.001
Iw=1.489E-05 Iyz=0. h=0.59 Wpl,y=0.007
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,z=0.002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	Ted
0.79	-3814.669	573.336	-28.005	432.432	3.867	0.

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)
D/C Ratio: 0.731 = 0.394 + 0.271 + 0.066 < 0.95 OK
= NEd / (Chi_y NRk / GammaM1) + kyy (My,Ed + NEd eNy) / (Chi_LT My, Rk / GammaM1)
+ kyz (Mz,Ed + NEd eNz) / (Mz, Rk / GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.61)

BASIC FACTORS

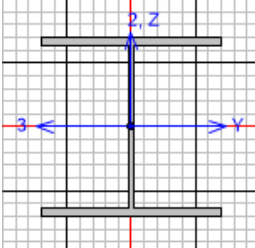
Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i
Y-Y	1.	7.7	30.968
Y-Y Braced	1.	7.7	30.968
Z-Z	1.	1.58	17.979
Z-Z Braced	1.	1.58	17.979
LTB	1.	1.58	17.979

AXIAL FORCE DESIGN

	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd

Axial	Force	Capacity	Capacity				
	-3814.669	10465.4	10465.4				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	10465.4	10825.056	167882.649	135432.527	1.		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Y-Y	b	0.34	63711.132	0.405	0.617	0.924	9669.688
Y-Y Braced	b	0.34	63711.132	0.405	0.617	0.924	9669.688
Z-Z	c	0.49	189027.208	0.235	0.536	0.982	10277.428
Z-Z Braced	c	0.49	189027.208	0.235	0.536	0.982	10277.428
Torsional TF	c	0.49	135432.527	0.278	0.558	0.96	10050.572
MOMENT DESIGN							
	MEd	MEd, span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd	
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity	
Y-Y	134.109	573.336	2000.046	2000.046	1578.339	2000.046	
Z-Z	-24.721	-28.005	404.134	404.134	404.134		
Compactness	Section	Flange	Web	Epsilon	Alpha	Psi	
	Class 3	Class 1	Class 3	0.814	1.	-0.271	
LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
	c	0.49	0.139	0.495	1.	1.489E-05	103696.338
Factors	kw	C1	C2	C3			
	1.	2.711	0.	0.644			
	za	zs	zg	zz	zj		
	0.323	-0.085	0.409	0.019	-0.105		
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	0.862	0.906	0.4	0.945	0.954	0.971	0.954

Verificação detalhada no SAP2000 da Carlinga corrente mais solicitada, na zona do apoio (barra Car-E-09):



EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : Car-E-09 X Mid: 63.365 Combo: ELU-Qv2.09-A-WY-Design Type: Beam
Length: 0.8 Y Mid: 11.774 Shape: PRS590x585x30x20Frame Type: Secndry
Loc : 0. Z Mid: -0.287 Class: Class 3 Rolled : No

Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method
2 (Annex B)

MultiResponse = Envelopes P-Delta Done? No Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1. GammaM1=1. GammaM2=1.25
q=4. Omega=1. GammaOV=1.1
An/Ag=1. RLLF=1. PLLF=0.75 D/C Lim=0.95 Prin. Axis Angle = 0.
deg

Aeff=0.046 Av,2=0.013 Av,3=0.035 eNy=0. eNz=0.
A=0.046 Iy=0.003 iy=0.256 Wel,y=0.01 Weff,y=0.01
It=1.157E-05 Iz=0.001 iz=0.148 Wel,z=0.003 Weff,z=0.003
Iw=7.848E-05 Iyz=0. h=0.59 Wpl,y=0.011
E=210000000. fy=355000. fu=510000. Wpl,z=0.005

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	My,Ed	Mz,Ed	V2,Ed	V3,Ed	Ted
----------	-----	-------	-------	-------	-------	-----

0.	167.461	-765.309	331.696	910.576	560.511	10.273
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.1(7), 6.2.9.2(1))						
D/C Ratio:	0.495 = 0.01 + 0.212 + 0.273 < 0.95			OK		
	= (Ned/NRd) + (My,Ed/My,Rd) + (Mz,Ed/Mz,Rd)			(EC3 6.2.1(7), 6.2.9.2(1))		
BASIC FACTORS						
Buckling Mode	K Factor	L	Lcr/i			
Y-Y	1.	0.8	3.121			
Y-Y Braced	1.	0.8	3.121			
Z-Z	1.	0.35	2.365			
Z-Z Braced	1.	0.35	2.365			
LTB	1.	0.35	2.365			
AXIAL FORCE DESIGN						
	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	167.461	16223.5	16223.5			
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
	16223.5	16781.04	15163866.91	15163866.91	1.	
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi
Y-Y	b	0.34	9724776.202	0.041	0.474	1.
Y-Y Braced	b	0.34	9724776.202	0.041	0.474	1.
Z-Z	c	0.49	16940076.84	0.031	0.459	1.
Z-Z Braced	c	0.49	16940076.84	0.031	0.459	1.
Torsional TF	c	0.49	15163866.91	0.033	0.46	1.
MOMENT DESIGN						
	MEd	MEd, span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Y-Y	-765.309	-765.309	3613.299	3613.299	3613.299	3613.299
Z-Z	331.696	331.696	1215.328	1215.328	1215.328	
Compactness	Section	Flange	Web	Epsilon	Alpha	Psi
	Class 3	Class 3	Class 1	0.814	0.478	-1.021
LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw
	c	0.49	0.024	0.457	1.	7.848E-05
Factors	kw	C1	C2	C3		Mcr
	1.	1.31	0.	0.994		6215134.197
	za	zs	zg	zz	zj	
	0.295	0.	0.295	0.	0.	
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy
	0.4	0.686	0.805	0.4	0.686	1.
						kzz
						0.686

Verificação detalhada no SAP2000 da Carlinga corrente mais solicitada, na zona do vão (barra Car-C-06):

EN 1993-1-1:2005/A1:2014 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)	
Units : KN, m, C	
Frame :	Car-C-06 X Mid: 44.471
Length:	7.7 Y Mid: 6.903
Loc :	3.85 Z Mid: -0.068
Combo:	ELU-Qv2.04-A-WY-Design Type: Beam
Shape:	HE600A Frame Type: Secndry
Class:	Class 1 Rolled : Yes
Country = Portugal - NP EN 1993-1-1/NA:2009-03	
Combination = Eq. 6.10 Reliability = Class 2 Interaction = Method	
2 (Annex B)	

MultiResponse = Envelopes	P-Delta Done? No	Consider Torsion? No
Ignore Seismic Code? No	Ignore Special EQ Load? No	D/P Plug Welded? Yes
GammaM0=1.	GammaM1=1.	GammaM2=1.25
q=4.	Omega=1.	GammaOV=1.1
An/Ag=1.	RLLF=1.	PLLF=0.75
D/C Lim=0.95	Prin. Axis Angle = 0. deg	
Aeff=0.023	Av,2=0.009	Av,3=0.016
A=0.023	Iy=0.001	iy=0.25
It=4.070E-06	Iz=1.127E-04	iz=0.071
Iw=8.978E-06	Iyz=0.	h=0.59
E=2100000000.	fy=355000.	fu=510000.
eNy=0.	eNz=0.	
Wel,y=0.005	Weff,y=0.005	
Wel,z=7.513E-04	Weff,z=7.513E-04	
Wpl,y=0.005		
Wpl,z=0.001		
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS		
Location	Ned	My,Ed
3.85	2908.453	1293.825
		Mz,Ed
		0.939
		V2,Ed
		10.685
		V3,Ed
		0.106
		TED
		0.309
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.9.1(6y))		
D/C Ratio:	0.889	< 0.95
		OK
	= (My,Ed/Mn,y,Rd) (EC3 6.2.9.1(6y))	
BASIC FACTORS		
Buckling Mode	K Factor	L
Y-Y	1.	7.7
Y-Y Braced	1.	7.7
Z-Z	1.	1.52
Z-Z Braced	1.	1.52
LTB	1.	1.52
		Lcr/i
		30.804
		30.804
		21.523
		21.523
		21.523
AXIAL FORCE DESIGN		
	NEd	Nc,Rd
	Force	Capacity
Axial	2908.453	8023.
		Nt,Rd
		Capacity
		8023.
	Npl,Rd	Nu,Rd
	8023.	8298.72
		Ncr,T
		124270.293
		Ncr,TF
		124270.248
	An/Ag	
	1.	
	Curve	Alpha
	a	0.21
		Ncr
		49363.967
		LambdaBar
		0.403
		Phi
		0.603
		Chi
		0.952
		Nb,Rd
		7637.538
Y-Y Braced	a	0.21
		49363.967
		0.403
		0.603
		0.952
		7637.538
Z-Z	b	0.34
		101112.786
		0.282
		0.554
		0.971
		7788.631
Z-Z Braced	b	0.34
		101112.786
		0.282
		0.554
		0.971
		7788.631
Torsional TF	b	0.34
		124270.248
		0.254
		0.541
		0.981
		7868.516
MOMENT DESIGN		
	MEd	MEd, span
	Moment	Moment
Y-Y	1293.825	1297.985
		Mc,Rd
		Capacity
		1899.25
Z-Z	0.939	1.899
		Mv,Rd
		Capacity
		1899.25
		Mn,Rd
		Capacity
		1455.469
		Mb,Rd
		Capacity
		1876.322
	Section	Flange
	Class 1	Class 1
Compactness		Web
		Class 1
		Epsilon
		0.814
		Alpha
		1.000E-06
		Psi
		-1.725
	Curve	AlphaLT
	a	0.21
		LambdaBarLT
		0.254
		PhiLT
		0.538
		ChiLT
		0.988
		Iw
		8.978E-06
		Mcr
		29330.833
	kw	C1
	1.	1.007
		C2
		0.
		C3
		0.995
	za	zs
	0.295	5.6E-17
		zg
		0.295
		zz
		0.
		zj
		5.551E-17
	Factors	Cmy
		0.906
		Cmz
		0.934
		CmLT
		0.995
		kyy
		0.906
		kyz
		0.561
		kzy
		0.882
		kzz
		0.934

3.3 Elementos de betão armado

Apresentam-se, nas figuras seguintes, a envolvente de esforços atuantes no pilar P5 e respetiva travessa.

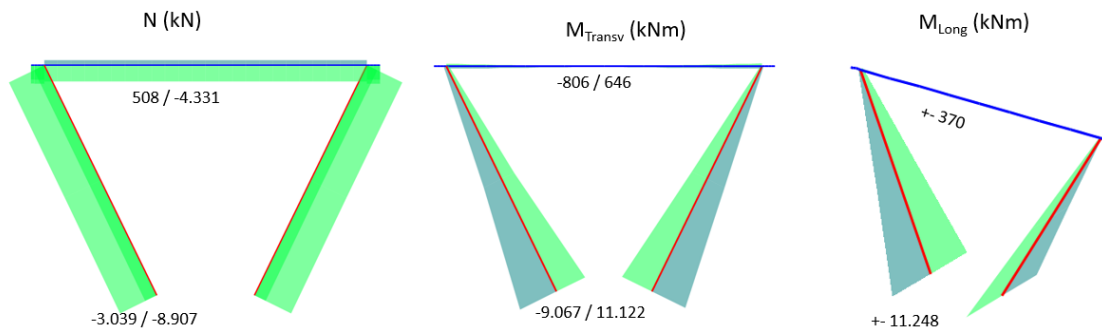


Figura 38 – Envolvente de esforços atuantes no Pilar P5 e Travessa – Esforço axial e Momentos fletores

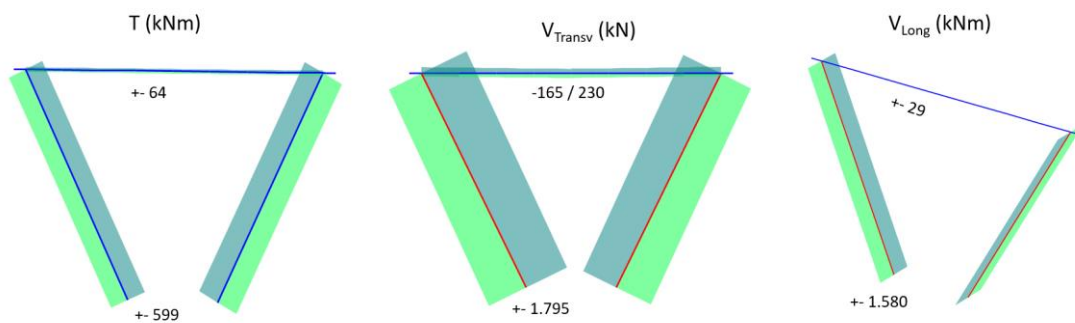


Figura 39 – Envolvente de esforços atuantes no Pilar P5 e Travessa – Esforço transversos e de torção

A armadura adotada na seção do Pilar e da travessa foi colocada no Section Designer para determinar os esforços resistentes para a flexão composta desviada. No módulo do section designer do SAP2000 é possível obter gráficos Momento-Curvatura, diagrama de extensões na secção, e momentos resistentes para a flexão composta desviada, como se pode verificar na figura seguinte.

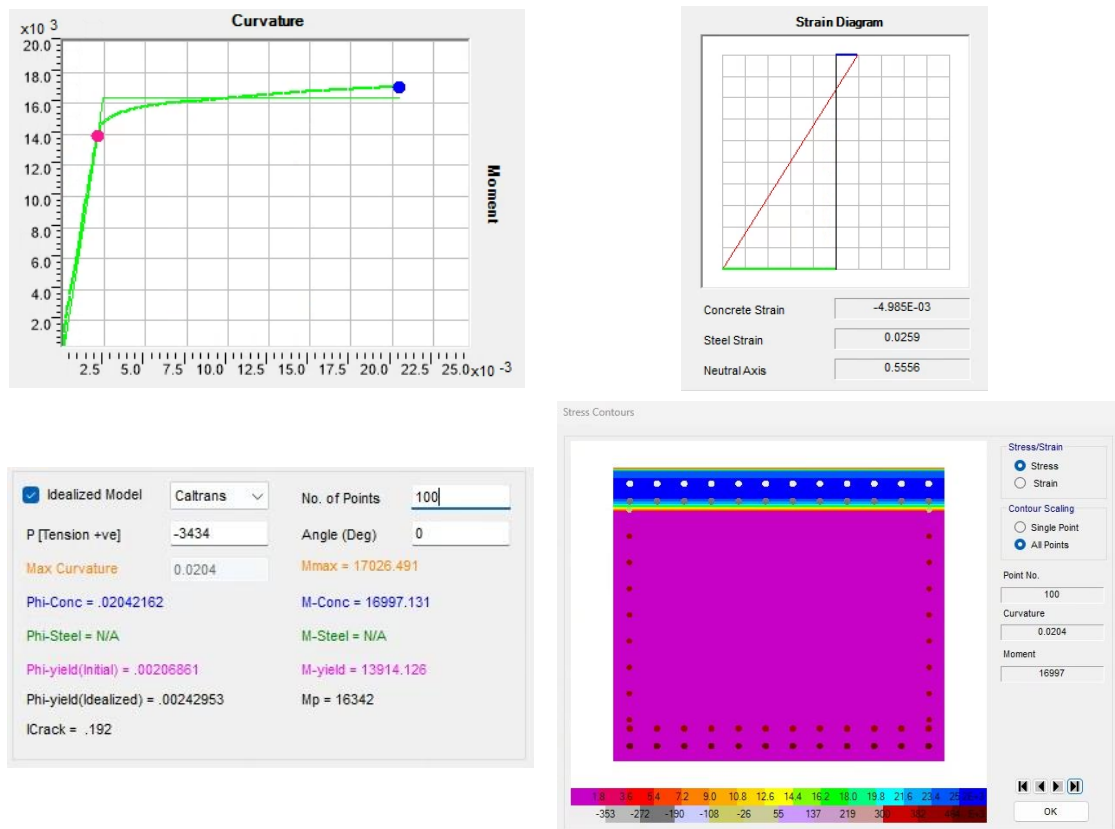


Figura 40 – Cálculo da secção de Betão armado do Pilar P5 no Section Designer. Gráfico momento-curvatura, diagrama de extensões na secção e momento resistente da secção.

Apresentam-se, de seguida, os resultados da verificação de segurança aos Estados Limites Últimos do Pilar P5 e da travessa. Graficamente, tal como para os elementos metálicos, os valores mostrados correspondem à relação entre os esforços atuantes e os esforços resistentes. A segurança está verificada quando esse quociente é inferior a 1,00. O código de cores utilizado é o mesmo que para os elementos metálicos.

Adicionalmente apresenta-se a verificação de segurança detalhada para o elemento mais solicitado na combinação condicionante.



Figura 41 – Rácios de verificação de segurança – P5 e Travessa

Verificação detalhada para o Pilar P5:

Eurocode 2-2004 COLUMN SECTION DESIGN Type: DC LOW MRF Units: KN, m, C (Flexural Details)						
L=6.816						
Element	: 1198	B=1.5	D=1.4	dc=0.03		
Section ID	: P5	Ec=35000000.	fck,cyl=40000.	fcd=26666.667	fctd=1637.45	
Combo ID	: EQK-T1_Long_NL	fyk=500000.	fywk=500000.	Lt.Wt. Fac.=1.		
Station Loc	: 3.408	RLLF=1.	SOM: Nominal Curvature			
Combo Eq.	: Eq. 6.10	Section is nonprismatic.				
Gamma (Concrete)	: 1.5	AlphaCC = 1.	AlphaCT = 1.			
Gamma (Steel)	: 1.15	AlphaLCC = 0.8	AlphaLCT = 0.8			
Gamma (cE)	: 1.2	Alpha_e = 0.	phi_ef = 1.21			
STABILITY CONDITION						
Major Bending (M3)	Unbraced					
Minor Bending (M2)	Unbraced					
SLENDERNESS CHECK (governing permutation)						
	Slenderness Ratio	Slenderness Limit Ratio	Column Condition	Governing Permutation	Slen. Ratio Section I	Slen. Ratio Section J
Major Bending (M3)	19.675	51.363	Short	Neg. M2	14.756	19.675
Minor Bending (M2)	19.675	51.363	Short	Neg. M2	13.117	19.675
IMPERFECTION MOMENTS						
	theta_0	alpha_h	alpha_m	theta_i	L0	Eccen.
Major Bending (M3)	0.005	0.766	1.	0.004	6.816	0.013
Minor Bending (M2)	0.005	0.766	1.	0.004	6.816	0.013
	Mimp					
Major Bending (M3)	41.474					
Minor Bending (M2)	41.474					
FIRST-ORDER MOMENTS (governing permutation)						
	End I Moment	End J Moment	Section Moment	Mimp Moment	M02 Moment	M01 Moment
Major Bending (M3)	2360.451	131.61	1370.505	41.474	2360.451	131.61
Minor Bending (M2)	-10980.586	-707.405	-5842.468	41.474	-11022.06	-748.88
EQUIVALENT AND SECOND-ORDER MOMENTS (governing permutation)						
	M0Ed Moment	Madd Moment	Kr Factor	KPhi Factor	Beta Factor	L Length
Major Bending (M3)	1468.915	0.	0.	0.	1.	6.816
Minor Bending (M2)	-6912.788	0.	0.	0.	1.	6.816
DESIGN DETAILS FOR ALL PERMUTATIONS CONSIDERED						
	Imperfection Direction	None	Pos. M3	Neg. M3	Pos. M2	Neg. M2
SECTION I						
MAJOR BENDING (M3)						
(Analysis)	Mana	1370.505	1370.505	1370.505	1370.505	1370.505
(Imperfection)	Mimp	0	41.474	-41.474	0	0
	Mai = Mana + Mimp	N/A	1411.98	1329.031	1370.505	1370.505
(Smaller End Moment)	M01	N/A	173.084	90.136	131.61	131.61
(Larger End Moment)	M02	N/A	2401.926	2318.977	2360.451	2360.451
(Equivalent)	M0Ed	N/A	1510.389	1427.44	1468.915	1468.915
(Slenderness Limit)	A	N/A	0.805	0.805	0.805	0.805
(Slenderness Limit)	B	N/A	1.24	1.24	1.24	1.24
(Slenderness Limit)	C	N/A	0.7	0.7	0.7	0.7
(Slenderness Limit)	rm	N/A	1.	1.	1.	1.
(Slenderness Limit)	omega	N/A	0.269	0.269	0.269	0.269
(Slenderness Limit)	n	N/A	0.041	0.041	0.041	0.041
(Slenderness Limit)	Ratio	N/A	68.707	68.707	68.707	68.707
	Slenderness Ratio	N/A	14.756	14.756	14.756	14.756
	Slenderness Check	N/A	Short	Short	Short	Short
	Mx = Mai or M0Ed	N/A	1411.98	1329.031	1370.505	1370.505
	Kr	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	KPhi	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
(2nd-Order Moment)	Madd	N/A	0.	0.	0.	0.
	M0Ed + Madd	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
(Minimum)	Mmin	N/A	169.455	169.455	169.455	169.455
	M3des1 = Mai or Mmin	N/A	1411.98	1329.031	1370.505	1370.505
(Neg. Moment Capacity)	MRd-	-15373.328	-15373.328	-15373.328	-15373.328	-15373.328
(Pos. Moment Capacity)	MRd+	15373.328	15373.328	15373.328	15373.328	15373.328
MINOR BENDING (M2)						

Mana	-5842.468	-5842.468	-5842.468	-5842.468	-5842.468
Mimp	0	0	0	41.474	-41.474
Mai = Mana + Mimp	N/A	-5842.468	-5842.468	-5800.994	-5883.943
M01	N/A	-707.405	-707.405	-665.931	-748.88
M02	N/A	-10980.586	-10980.586	-10939.111	-11022.06
M0Ed	N/A	-6871.314	-6871.314	-6829.839	-6912.788
A	N/A	0.805	0.805	0.805	0.805
B	N/A	1.24	1.24	1.24	1.24
C	N/A	0.7	0.7	0.7	0.7
rm	N/A	1.	1.	1.	1.
omega	N/A	0.269	0.269	0.269	0.269
n	N/A	0.041	0.041	0.041	0.041
Slenderness Limit Ratio	N/A	68.707	68.707	68.707	68.707
Slenderness Ratio	N/A	13.117	13.117	13.117	13.117
Slenderness Check	N/A	Short	Short	Short	Short
Mx = Mai or M0Ed	N/A	-5842.468	-5842.468	-5800.994	-5883.943
Kr	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
KPhi	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Madd	N/A	0.	0.	0.	0.
M0Ed + Madd	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mmin	N/A	190.636	190.636	190.636	190.636
M2des1 = Mai or Mmin	N/A	-5842.468	-5842.468	-5800.994	-5883.943
MRd-	-16670.08	-16670.08	-16670.08	-16670.08	-16670.08
MRd+	16670.08	16670.08	16670.08	16670.08	16670.08
DEMAND/CAPACITY PMM RATIO					
(M3des1, M2des1) PMM Ratio	0.302	0.303	0.301	0.299	0.305
(M3des1, M2des1) PMM Governs	No	No	No	No	No
SECTION J					
MAJOR BENDING (M3)					
Mana	1370.505	1370.505	1370.505	1370.505	1370.505
Mimp	0	41.474	-41.474	0	0
Mai = Mana + Mimp	N/A	1411.98	1329.031	1370.505	1370.505
M01	N/A	173.084	90.136	131.61	131.61
M02	N/A	2401.926	2318.977	2360.451	2360.451
M0Ed	N/A	1510.389	1427.44	1468.915	1468.915
A	N/A	0.805	0.805	0.805	0.805
B	N/A	1.311	1.311	1.311	1.311
C	N/A	0.7	0.7	0.7	0.7
rm	N/A	1.	1.	1.	1.
omega	N/A	0.359	0.359	0.359	0.359
n	N/A	0.083	0.083	0.083	0.083
Slenderness Limit Ratio	N/A	51.363	51.363	51.363	51.363
Slenderness Ratio	N/A	19.675	19.675	19.675	19.675
Slenderness Check	N/A	Short	Short	Short	Short
Mx = Mai or M0Ed	N/A	1411.98	1329.031	1370.505	1370.505
Kr	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
KPhi	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Madd	N/A	0.	0.	0.	0.
M0Ed + Madd	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mmin	N/A	127.091	127.091	127.091	127.091
M3des1 = Mai or Mmin	N/A	1411.98	1329.031	1370.505	1370.505
MRd-	-8346.969	-8346.969	-8346.969	-8346.969	-8346.969
MRd+	8346.969	8346.969	8346.969	8346.969	8346.969
MINOR BENDING (M2)					
Mana	-5842.468	-5842.468	-5842.468	-5842.468	-5842.468
Mimp	0	0	0	41.474	-41.474
Mai = Mana + Mimp	N/A	-5842.468	-5842.468	-5800.994	-5883.943
M01	N/A	-707.405	-707.405	-665.931	-748.88
M02	N/A	-10980.586	-10980.586	-10939.111	-11022.06
M0Ed	N/A	-6871.314	-6871.314	-6829.839	-6912.788
A	N/A	0.805	0.805	0.805	0.805
B	N/A	1.311	1.311	1.311	1.311
C	N/A	0.7	0.7	0.7	0.7
rm	N/A	1.	1.	1.	1.
omega	N/A	0.359	0.359	0.359	0.359
n	N/A	0.083	0.083	0.083	0.083
Slenderness Limit Ratio	N/A	51.363	51.363	51.363	51.363
Slenderness Ratio	N/A	19.675	19.675	19.675	19.675
Slenderness Check	N/A	Short	Short	Short	Short
Mx = Mai or M0Ed	N/A	-5842.468	-5842.468	-5800.994	-5883.943
Kr	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
KPhi	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Madd	N/A	0.	0.	0.	0.
M0Ed + Madd	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Mmin	N/A	127.091	127.091	127.091	127.091
M2des1 = Mai or Mmin	N/A	-5842.468	-5842.468	-5800.994	-5883.943
MRd-	-7810.639	-7810.639	-7810.639	-7810.639	-7810.639
MRd+	7810.639	7810.639	7810.639	7810.639	7810.639
DEMAND/CAPACITY PMM RATIO					
(M3des1, M2des1) PMM Ratio	0.758	0.759	0.758	0.752	0.765
(M3des1, M2des1) PMM Governs	No	No	No	No	Yes
AXIAL COMPRESSION RATIO					
Conc.Capa	CompRatio	CompRatio	Seismic	CompCheck	Ratio
A*fcd	Ned/(A*fcd)	Limit	Load?	Needed?	OK?
38400.	0.128	0.55	Yes	No	Yes

Verificação detalhada para a travessa do Pilar P5:

Eurocode 2-2004 COLUMN SECTION DESIGN Type: DC LOW MRF Units: KN, m, C (Flexural Details)							
L=4.3							
Element	: 1194	B=1.2	D=0.5	dc=0.			
Section ID	: P5v_1.20x0.50_SD-1	Ec=35000000.	fck,cyl=40000.	fcd=26666.667	fctd=1637.45		
Combo ID	: EQK-T1_Transv	fyk=500000.	fywk=500000.	Lt.Wt. Fac.=1.			
Station Loc	: 4.3	RLLF=1.	SOM: Nominal Curvature				
Combo Eq.	: Eq. 6.10						
Gamma (Concrete)	: 1.5	AlphaCC = 1.	AlphaCT = 1.				
Gamma (Steel)	: 1.15	AlphaLCC = 0.8	AlphaLCT = 0.8				
Gamma (cE)	: 1.2	Alpha_e = 0.	phi_ef = 1.21				
STABILITY CONDITION							
Major Bending (M3)	Unbraced						
Minor Bending (M2)	Unbraced						
SLENDERNESS CHECK (governing permutation)							
	Slenderness	Slenderness	Column	Governing			
	Ratio	Limit	Condition	Permutation			
Major Bending (M3)	59.583	73.544	N/A	N/A			
Minor Bending (M2)	24.826	73.544	N/A	N/A			
IMPERFECTION MOMENTS							
	theta_0	alpha_h	alpha_m	theta_i	L0	Eccen.	
Major Bending (M3)	0.005	0.682	1.	0.003	8.6	0.015	
Minor Bending (M2)	0.005	0.682	1.	0.003	8.6	0.015	
	Mimp						
Major Bending (M3)	8.453						
Minor Bending (M2)	8.453						
FIRST-ORDER MOMENTS (governing permutation)							
	End I	End J	Section	Mimp	M02	M01	
	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	
Major Bending (M3)	41.016	-806.42	-806.42	8.453	-814.872	32.563	
Minor Bending (M2)	36.389	26.175	26.175	8.453	36.389	26.175	
DESIGN DETAILS FOR ALL PERMUTATIONS CONSIDERED							
	Imperfection	Direction	None	Pos. M3	Neg. M3	Pos. M2	Neg. M2
MAJOR BENDING (M3)							
(Analysis)	Mana	-806.42	-806.42	-806.42	-806.42	-806.42	
(Imperfection)	Mimp	0	8.453	-8.453	0	0	
Mai = Mana + Mimp		N/A	-797.967	-814.872	-806.42	-806.42	
(Minimum)	Mmin	N/A	11.529	11.529	11.529	11.529	
M3des1 = Mai or Mmin		N/A	-797.967	-814.872	-806.42	-806.42	
(Neg. Moment Capacity)	MRd-	-918.327	-918.327	-918.327	-918.327	-918.327	
(Pos. Moment Capacity)	MRd+	918.327	918.327	918.327	918.327	918.327	
MINOR BENDING (M2)							
	Mana	26.175	26.175	26.175	26.175	26.175	
	Mimp	0	0	0	8.453	-8.453	
Mai = Mana + Mimp		N/A	26.175	26.175	34.628	17.722	
	Mmin	N/A	23.059	23.059	23.059	23.059	
M2des1 = Mai or Mmin		N/A	26.175	26.175	34.628	23.059	
	MRG-	-2340.775	-2340.775	-2340.775	-2340.775	-2340.775	
	MRd+	2340.775	2340.775	2340.775	2340.775	2340.775	
DEMAND/CAPACITY PMM RATIO							
(M3des1, M2des1) PMM Ratio	0.872	0.862	0.882	0.873	0.871		
(M3des1, M2des1) PMM Governs	No	No	Yes	No	No		

AXIAL COMPRESSION RATIO

Conc.Capa	CompRatio	CompRatio	Seismic	CompCheck	Ratio
A*fcd	Ned/ (A*fcd)	Limit	Load?	Needed?	OK?
16000.	0.268	0.55	Yes	No	Yes

A travessa do pilar P5 será pré-esforçada e procurou-se garantir que a travessa não descomprime para a combinação rara de ações. A tabela seguinte apresenta o cálculo das tensões para a combinação rara e a força mínima de pré-esforço útil que cumpre o critério. Assim, adotam-se 6 varões tipo Macalloy de diâmetro $\phi 40\text{mm}$, pré-esforçados a 812 kN cada, considerando cerca de 20% de perdas instantâneas e diferidas.

Tabela 8 – Resultados do cálculo do pré-esforço mínimo na travessa

b	1.20	m	N_{rara}	2239	kN
h	0.50	m	M_{rara}	122	kNm
A	0.600	m ²	σ_N	3.73	MPa
W	0.050	m ³	σ_M	2.44	MPa
$F_{p,\text{min}}$	3,704	kN	$\sigma_{\text{Máx}}$	6.17	MPa

As tabelas seguintes apresentam um resumo da verificação da segurança do pilar e da travessa ao corte, considerando as armaduras necessárias para resistir aos esforços de torção.

Tabela 9 – Resultados da verificação da segurança do pilar P5 e travessa ao corte (1/2)

Obs	h	d	b	Vsd	Tsd	tef	Ak	uk	ΣA_{sl}	$A_{sl,Torçao}$	Ved,z-t
-	m	m	m	kN	kNm	(m)	m ²	m		(cm ²)	kN
P5-Transv	1.20	1.16	1.20	1795	599	0.30	0.81	3.60	30.62	7.65	333
P5-Long	1.20	1.16	1.20	1580	599	0.30	0.81	3.60	30.62	7.65	333
Trav-z	0.50	0.46	1.20	230	64	0.18	0.33	2.69	5.99	2.11	31
Trav-y	1.20	1.16	0.50	29	64	0.18	0.33	2.69	5.99	0.88	99

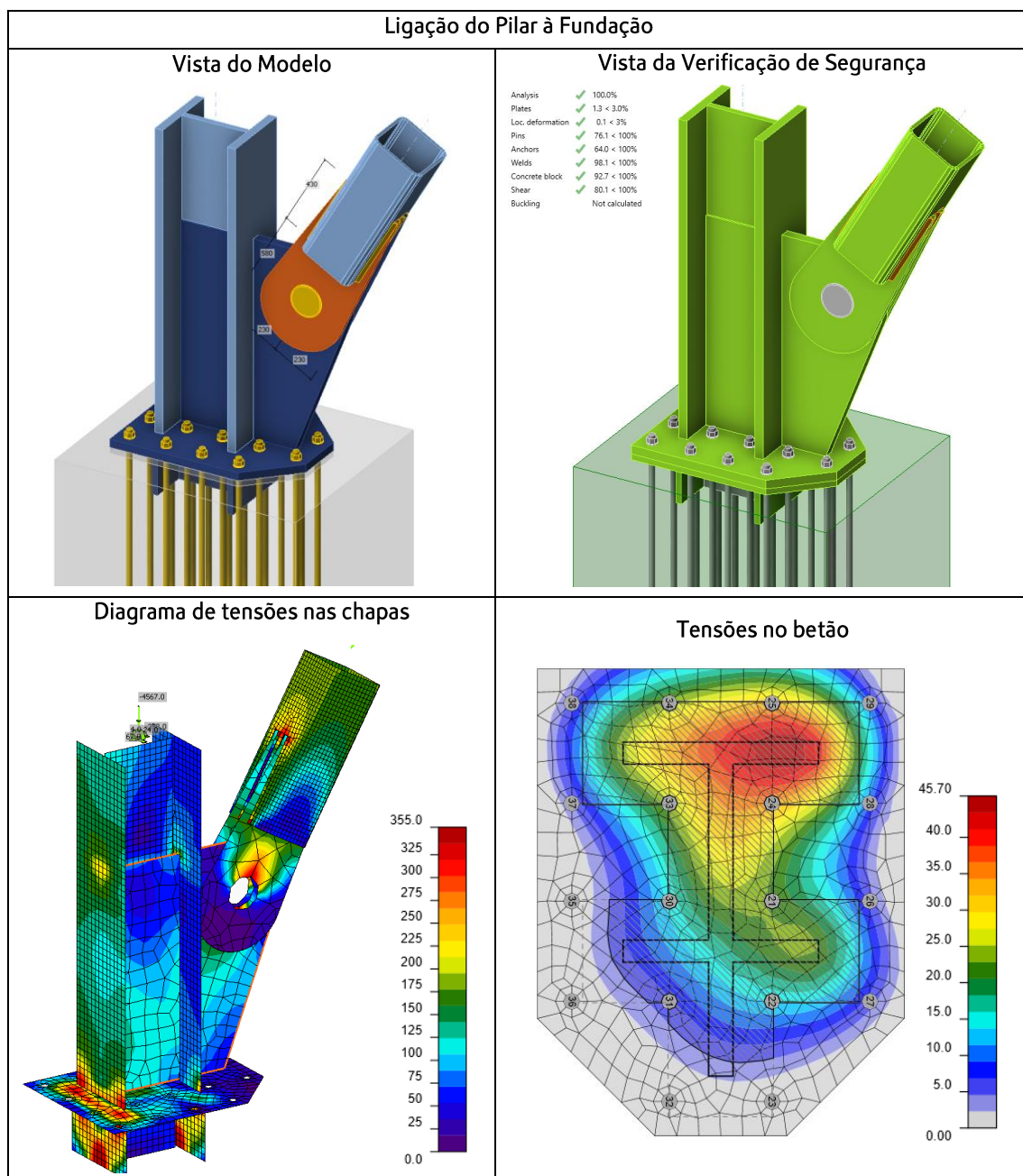
Tabela 10 – Resultados da verificação da segurança do pilar P5 e travessa ao corte (2/2)

Obs	Ved,z	Asw/smin	Asw/s	Armadura						As	Rácio
-	kN	(cm ² /m)	(cm ² /m)							(cm ² /m)	
P5-Transv	2461	12.1	54.2	2R	$\phi 16$	af. 0.15	4R	$\phi 12$	af. 0.15	57.0	0.95
P5-Long	2246	12.1	49.5	2R	$\phi 16$	af. 0.15	4R	$\phi 12$	af. 0.15	57.0	0.87
Trav-z	293	12.1	16.3	4R	$\phi 10$	af. 0.15				20.9	0.78
Trav-y	227	5.1	5.1	2R	$\phi 10$	af. 0.15				10.5	0.48

3.4 Ligações

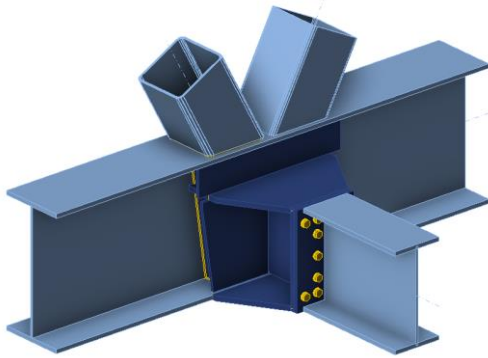
Tal como foi referido na memória descritiva a verificação da segurança das ligações foi feita com recurso a folhas de cálculo desenvolvidas internamente ou com o programa computacional IDEA StatiCa versão 24.

De seguida apresenta-se algumas figuras com as ligações modeladas no programa, as representações gráficas dos resultados e os diagramas de tensões nas chapas. O cálculo detalhado encontra-se em anexo.



Nós das treliças – Nó Corrente

Vista do Modelo



Vista da Verificação de Segurança

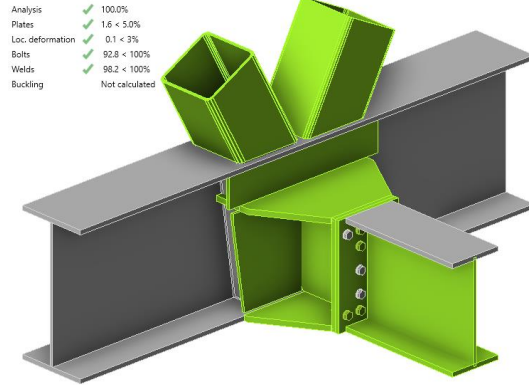
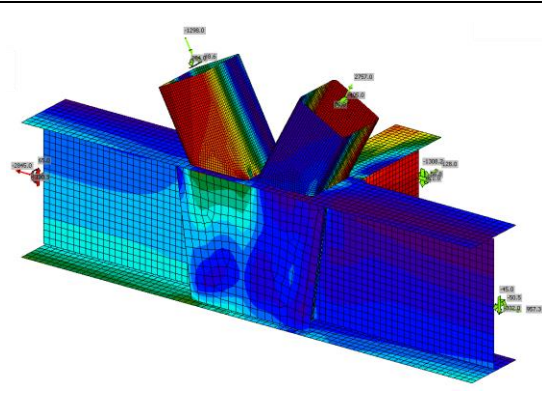
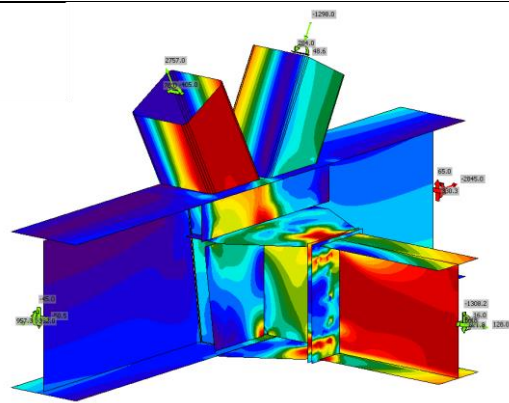
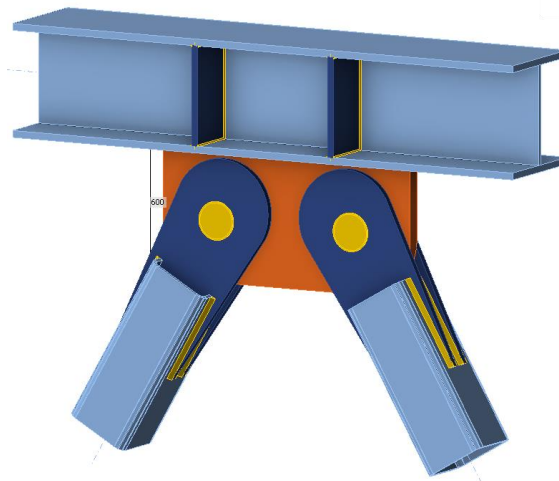


Diagrama de tensões nas chapas



Diagonais à Travessa dos Pilares metálicos

Vista do Modelo



Vista da Verificação de Segurança

Analysis	✓	100.0%
Plates	✓	0.3 < 3.0%
Loc. deformation	✓	0.1 < 3%
Pins	✓	83.3 < 100%
Welds	✓	98.3 < 100%
Buckling		Not calculated

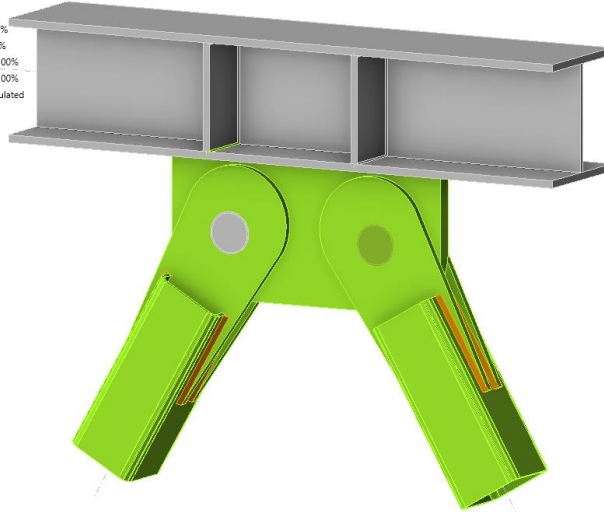
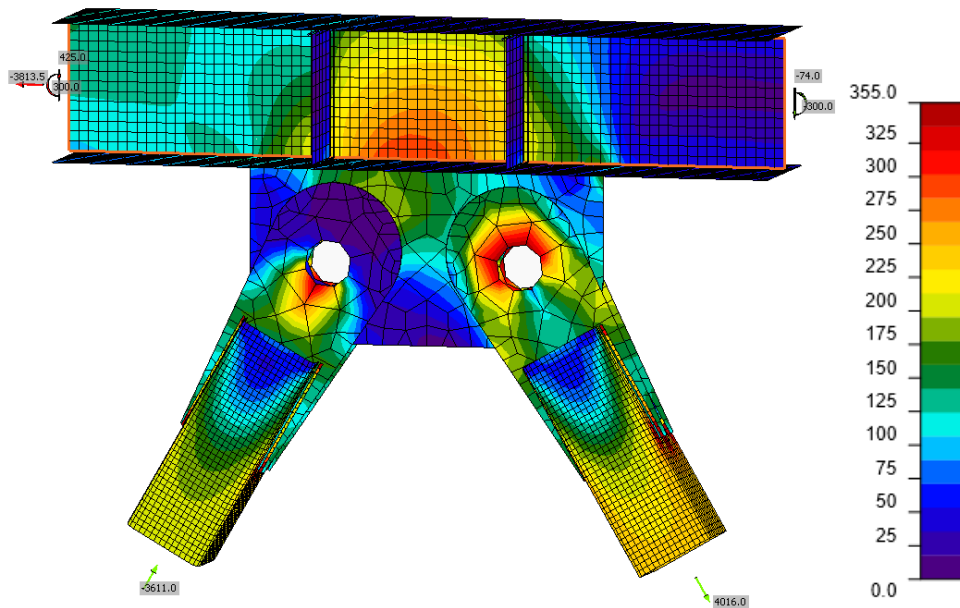
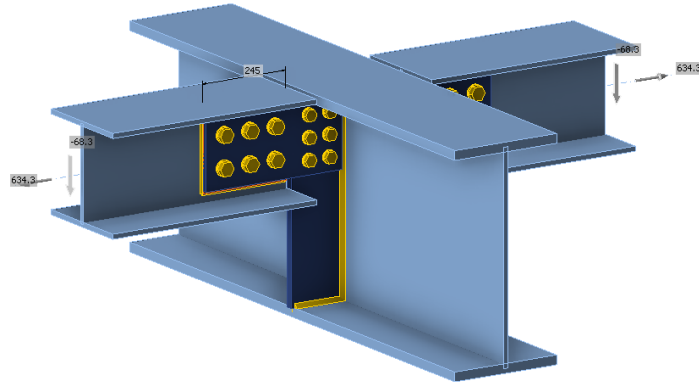


Diagrama de tensões nas chapas



Ligação das Longarinas às Carlingas Correntes

Vista do Modelo



Vista da Verificação de Segurança

Analysis	✓	100.0%
Plates	✓	0.2 < 5.0%
Bolts	✓	85.6 < 100%
Welds	✓	72.3 < 100%
Buckling		Not calculated

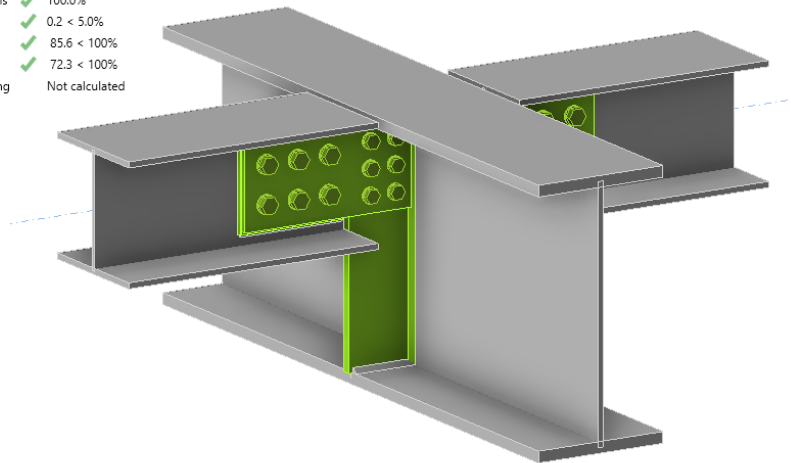
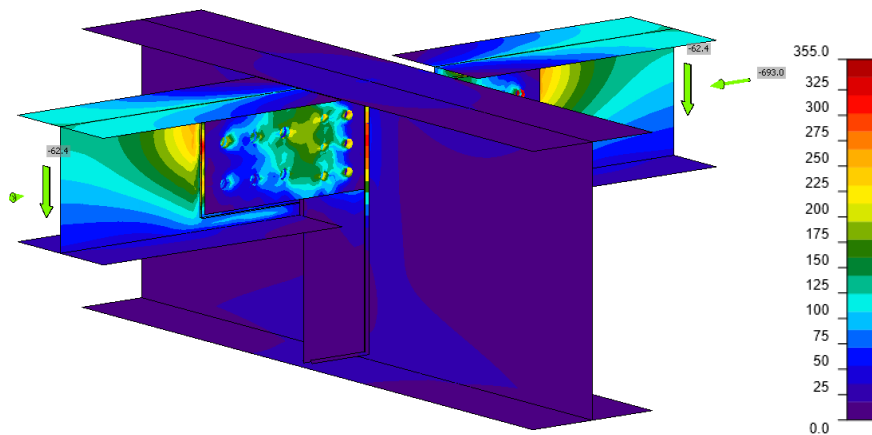
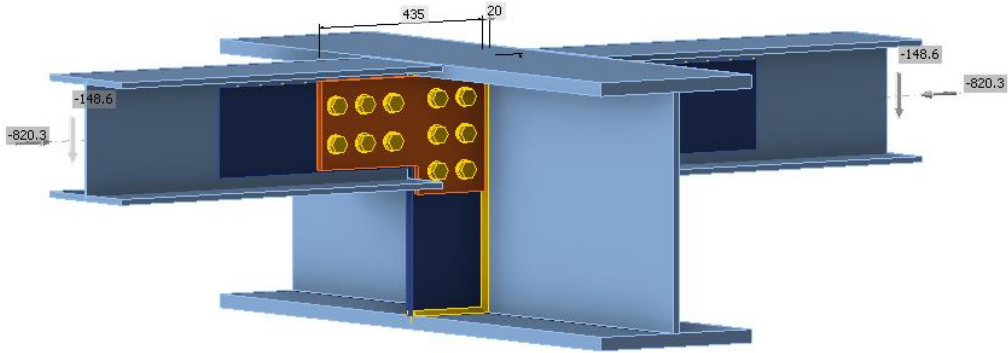


Diagrama de tensões nas chapas



Ligação das Longarinas às Carlingas dos Apoios

Vista do Modelo



Vista da Verificação de Segurança

Analysis	✓	100.0%
Plates	✓	1.4 < 5.0%
Bolts	✓	99.7 < 100%
Welds	✓	96.5 < 100%
Buckling		Not calculated

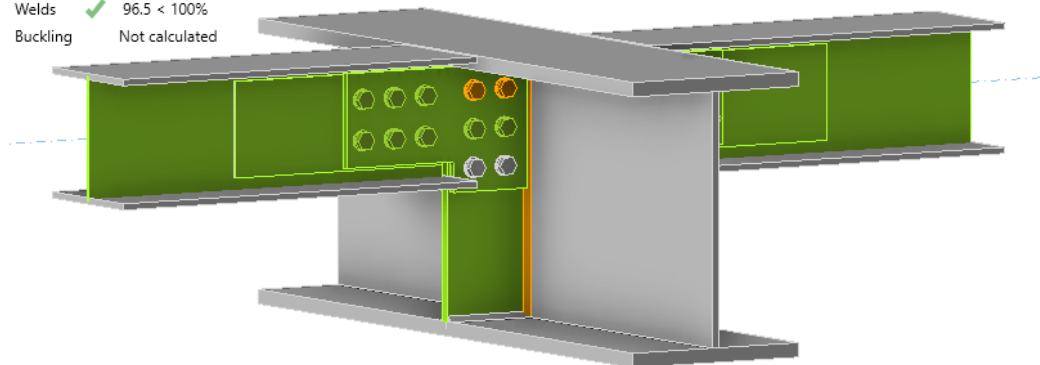
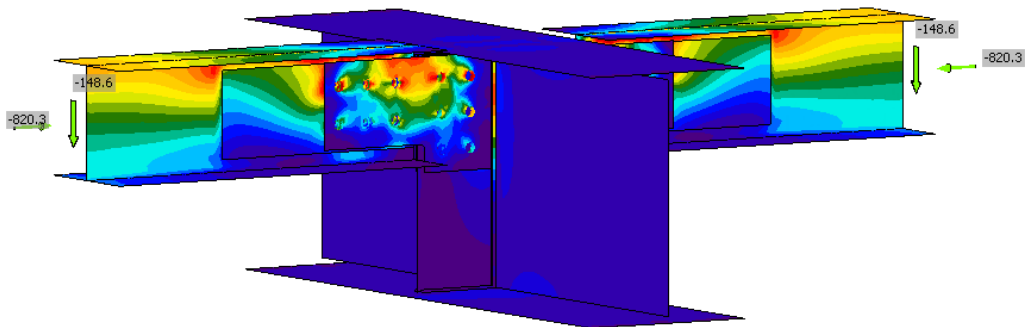


Diagrama de tensões nas chapas



3.5 Fadiga

Como se referiu anteriormente, a verificação da segurança à fadiga foi realizada para as variações de tensões provocadas pela passagem de um veículo composto por duas unidades triplas (MRM-MRM). Estas tensões devem ser afetadas pelo fator de calibração de acordo com EN1993-2:

$$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \leq \lambda_{m\acute{a}x}$$

Com

λ_1 - Coeficiente que tem em conta o efeito de dano devido ao tráfego que depende do comprimento da linha/área de influência;

λ_2 - Coeficiente que tem em conta o volume de tráfego;

λ_3 - Coeficiente que tem em conta o tempo de vida útil da estrutura;

λ_4 - Coeficiente que tem em conta o tráfego em mais que uma linha;

Tendo em conta o comprimento dos vãos do viaduto o coeficiente λ_1 nos vãos e nos apoios toma os seguintes valores:

Tabela 11 – Valores de λ_1 considerados nos vãos.

Vão	L_i	k	$L_{vão}$	λ_1
-	m	-	m	-
1	25.80	0.85	21.93	0.666
2	44.30	0.70	31.01	0.648
3	18.90	0.70	13.23	0.802
4	37.80	0.70	26.46	0.657
5	32.20	0.85	27.37	0.655

Tabela 12 – Valores de λ_1 considerados nos apoios.

Apoio	L_{Ap}	λ_1
-	m	-
P2	10.52	0.844
P3	9.48	0.866
P4	8.51	0.900
P5	10.50	0.844

De acordo com as informações sobre tráfego mencionadas na memória disponibilizada no processo do concurso, o número total de circulações em 100 anos é de $7,0 \times 10^6$. Portanto, o número total de circulações por ano é $7,0 \times 10^4$. Tendo em consideração que a carga por circulação é de 3076 kN, a carga total circulante para este viaduto pode atingir as 21,5 milhões de toneladas por ano. Dessa forma, o fator de correlação λ_2 assume o valor de 0,96.

Dado que o período de vida útil do viaduto é de 100 anos, o respetivo fator de correlação λ_3 é unitário.

Tendo em conta a relação de tensões para a passagem do comboio apenas em uma via e nas duas o fator de correlação λ_4 considerado foi 0.77.

Considerando os fatores anteriores para todas as secções, resulta:

Tabela 13 – Valores de λ considerados nos vãos e apoios.

	λ_1	λ
Tramo 1	0.666	0.492
Apoio P2	0.844	0.624
Tramo 2	0.648	0.479
Apoio P3	0.866	0.640
Tramo 3	0.802	0.593
Apoio P4	0.900	0.665
Tramo 4	0.657	0.486
Apoio P5	0.844	0.624
Tramo 5	0.655	0.484

A figura seguinte apresenta um resumo das categorias do pormenor para cada tipo de pormenor presente nas várias tabelas do da norma.

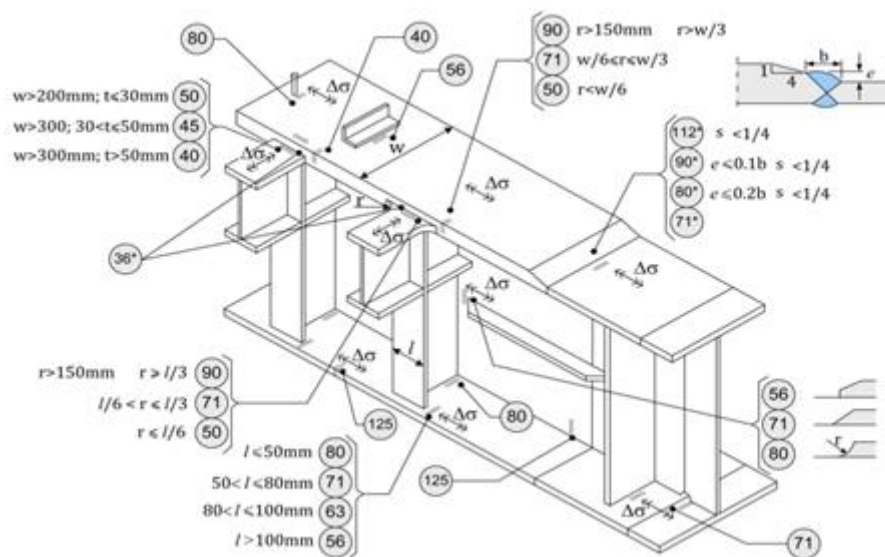


Figura 42 – Resumo das categorias do pormenor para verificação de fadiga.

Para a verificação das secções fora das zonas de ligações, o pormenor com a categoria mais elevada corresponde a 160 MPa para perfis laminados e 140 MPa ou 125 MPa, dependendo do tipo de corte, para perfis PRS ou chapas. Para elementos compostos por chapas com soldaduras longitudinais contínuas, a categoria também é de 125 MPa. Se o elemento, seja laminado ou composto, possuir conectores, a categoria é reduzida para 80 MPa. Nos perfis formados por chapas, se existirem pormenores de interseção de soldaduras, a categoria é reduzida para 71 MPa.

Nas zonas de ligação entre elementos perpendiculares com os banzos no mesmo plano, com soldaduras de topo, a categoria passa para 50 MPa para o elemento paralelo à soldadura ou 40 MPa para o elemento perpendicular à soldadura (com os raios definidos na norma).

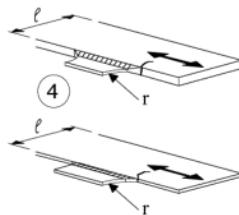

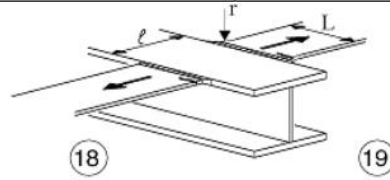
90	$\frac{r}{l} \geq \frac{1}{3}$ ou $r > 150 \text{ mm}$	
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{l} \leq \frac{1}{3}$	
50	$\frac{r}{l} < \frac{1}{6}$	
40		
40	Como o pormenor 4) do Quadro 8.4	

Figura 43 – Extrato das tabelas de categorias de pormenores da norma – Ligação entre perfis perpendiculares.

No que diz respeito às soldaduras das diagonais às cordas, a categoria é de 71 MPa, com exceção da ligação das diagonais com espessura de 16 mm à corda com banzos de espessura de 30 mm, que é reduzida para 66 MPa.

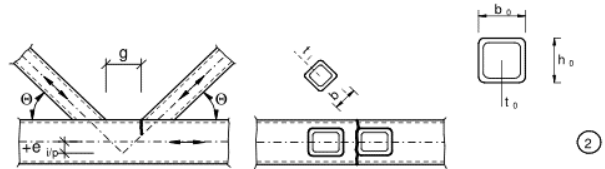
71 m=5	$\frac{t_0}{t_i} \geq 2,0$	<p>Ligações com afastamento: Pormenor 2): Ligações em K e em N, secções tubulares rectangulares:</p> 
36 m=5	$\frac{t_0}{t_i} = 1,0$	

Figura 44 – Extrato das tabelas de categorias de pormenores da norma – Nós de vigas reticuladas.

Avaliou-se a amplitude de variação de tensões para os diversos carregamentos do comboio em todas as secções dos elementos do tabuleiro. Selecionando a amplitude máxima por elemento, procedeu-se ao cálculo do dano acumulado. A seguir, apresenta-se um resumo dos resultados por tipo de elemento.

Para as longarinas, realizou-se a verificação do banzo superior, considerando a categoria de 80 MPa devido à presença de conectores. Quanto ao banzo inferior, verificou-se para a categoria de 160 MPa, uma vez que apenas é necessário analisar a secção pois não possui quaisquer singularidades. No caso das carlingas, nas zonas correntes, foram verificadas para a categoria de 80 MPa no banzo superior, também devido à presença de conectores. No banzo inferior, realizou-se a verificação utilizando a mesma categoria de 80 MPa, desta vez em virtude das chapas soldadas ao perfil para a ligação das longarinas. Na ligação à corda, efetuou-se a verificação

considerando a categoria de 40 MPa, pois há uma soldadura de topo na corda inferior. Já na corda superior, adotou-se a categoria de 50 MPa, uma vez que a secção é composta e possui banzos com espessura variável, resultando em possíveis interseções de soldaduras. Por fim, para a verificação das diagonais, a categoria mais exigente é a dos nós de vigas reticuladas com categoria de 66 MPa.

A tabela seguinte apresenta o resumo do cálculo do dano acumulado, incluindo a localização do elemento, o fator de calibração adotado (λ), a variação máxima de tensões de cálculo ($\Delta\sigma$) para as três situações de carregamento, já considerando o fator de calibração. Também são apresentadas a categoria do pormenor ($\Delta\sigma_{C-porm}$), a tensão relativa à categoria do pormenor dividida pelo fator de segurança de 1.35, os valores de duração à fadiga, em ciclos, obtidos a partir da curva ponderada (N_R) e, por fim, o resultado do dano acumulado. Como é possível verificar, esse resultado é inferior a 1 para todas as situações.

Tabela 14 – Verificação do Estado Limite Último de Fadiga.

	Loc.	λ	$\Delta\sigma_1$ MPa	$\Delta\sigma_2$ MPa	$\Delta\sigma_3$ MPa	$\Delta\sigma_{C-porm}$ MPa	$\Delta\sigma_{C-porm}$ /1.35	N_{R1}	N_{R2}	N_{R3}	D
<i>Longarinas</i>											
B Sup	AP-P4	0.665	21.7	5.0	26.1	80	59.3	1.0E+08	1.0E+08	6.5E+07	0.13
B inf	AP-P4	0.665	21.1	5.4	32.3	160	118.5	1.0E+08	1.0E+08	1.0E+08	0.13
<i>Carlingas - Correntes</i>											
B Sup	Tramo5	0.484	5.5	2.6	10.9	80	59.3	1.0E+08	1.0E+08	1.0E+08	0.13
B inf	Tramo2	0.479	19.9	11.9	31.9	80	59.3	1.0E+08	1.0E+08	2.4E+07	0.17
<i>Carlingas - Ligação à Corda</i>											
B Sup	Tramo4	0.486	12.6	12.6	20.1	40	29.6	7.7E+07	7.7E+07	7.5E+06	0.33
B inf	Tramo2	0.479	4.6	4.6	5.4	40	29.6	1.0E+08	1.0E+08	1.0E+08	0.13
<i>Corda inferior</i>											
B Sup	AP-P2	0.624	11.3	4.8	16.3	50	37.0	1.0E+08	1.0E+08	6.6E+07	0.13
B inf	AP-P2	0.624	12.3	6.6	21.6	50	37.0	1.0E+08	1.0E+08	1.6E+07	0.20
<i>Corda Superior</i>											
B Sup	AP-P3	0.640	13.8	10.7	23.0	71	52.6	1.0E+08	1.0E+08	6.7E+07	0.13
B inf	AP-P3	0.640	8.2	6.8	18.5	71	52.6	1.0E+08	1.0E+08	1.0E+08	0.13
<i>Diagonais</i>											
D	AP-P4	0.665	25.4	15.6	40.7	66	48.9	2.9E+07	1.0E+08	2.7E+06	0.77

$\Delta\sigma_1$ – amplitude máxima de tensões para a passagem o comboio numa 1 (via 1)

$\Delta\sigma_2$ – amplitude máxima de tensões para a passagem o comboio numa 1 (via 2)

$\Delta\sigma_3$ – amplitude máxima de tensões para a passagem de um comboio em cada via (via 1 e via 2)

4 VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA – ESTADOS LIMITE DE SERVIÇO

4.1 Estado limite de deformação

Nas figuras seguintes representam-se as deformadas das vigas metálicas para as envolturas das sobrecargas ferroviárias:

Flecha máxima vertical (envoltura máxima):

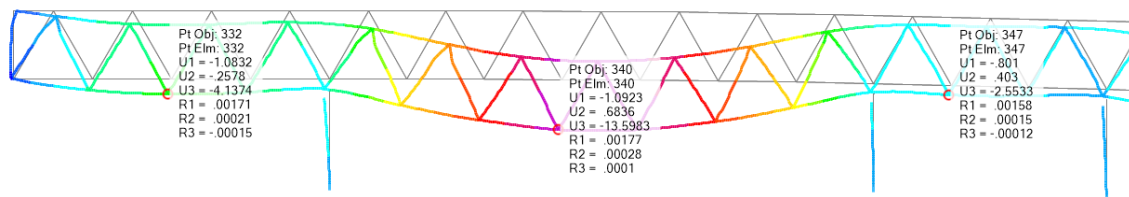


Figura 45 – Deformação máxima para a envoltura da sobrecarga ferroviária – Vãos 1, 2 e 3

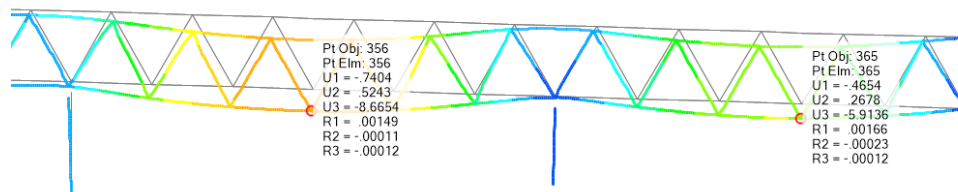


Figura 46 – Deformação máxima para a envoltura da sobrecarga ferroviária – Vãos 4 e 5

Tabela 15 – Verificação da deformação vertical dos vários tramos do viaduto

Vão	L	δ_v	Limite	$\delta_v \cdot \phi$	Limite
-	m	mm	L/600	mm	L/725
1	25.8	4.14	L/6236	4.35	L/5928
2	44.3	13.60	L/3258	14.31	L/3097
3	18.9	2.55	L/7402	2.69	L/7036
4	37.8	8.67	L/4362	9.12	L/4147
5	32.2	5.91	L/5445	6.22	L/5176

Ambas as flechas são consideravelmente inferiores ao Limite de L/600 e L/725 preconizado no Anexo A2 da EN1990.

4.2 Estado limite de vibração

Confirma-se a possibilidade de dispensar a análise dinâmica, dado que a frequência natural do tabuleiro para o primeiro modo com participação vertical é de 2,83 Hz. A frequência encontra-se entre os limites calculados para o vão $L_{\Phi}=47,7\text{m}$, que são $n_{0,min} = 2.39\text{hz}$ e $n_{0,max} = 5.26\text{hz}$.

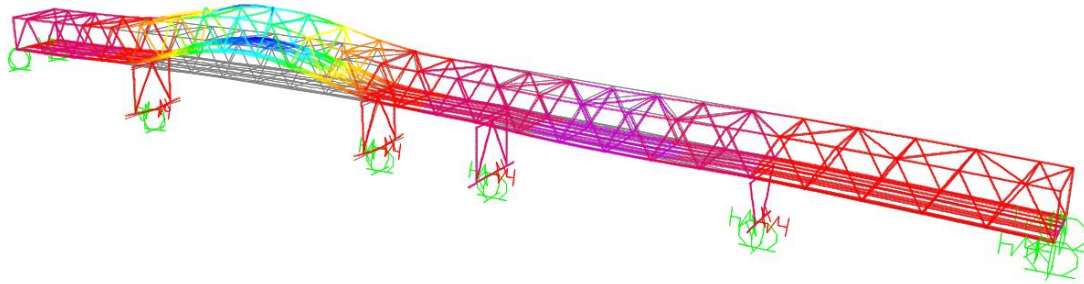
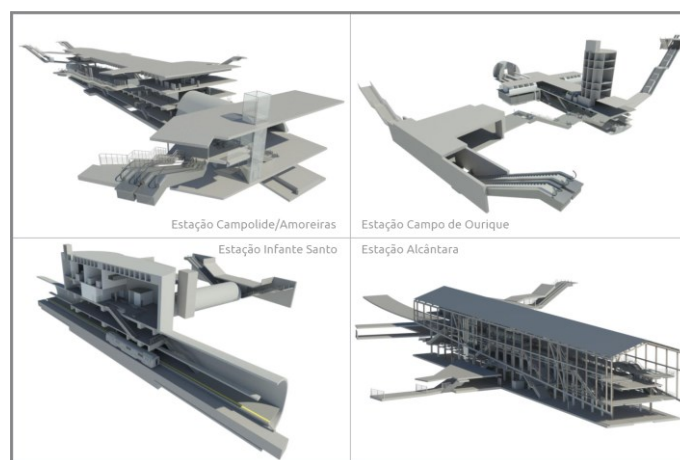


Figura 47 – Primeiro modo de vibração do viaduto na direção vertical (Modo 4 - $f = 2.643\text{ hz}$)

METRO DE LISBOA
LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA
EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO
PROLONGAMENTO DA LINHA
PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO IV: VIADUTO
VOLUME 1 - VIADUTO DE ALCÂNTARA
NOTA DE CÁLCULO – ESTRUTURAS PROVISÓRIAS E DEFINITIVAS

Documento SAP:	LVSSA MSA PE STR VDT VDA NC 089006 0		
	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	Pedro Marques/ Carlos Martins		2024-10-04
Revisto	Rui Tomásio		2024-10-04
Verificado	Sandra Ferreira/ Gonçalo Mateus		2024-10-04
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-04
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-04

Índice

1	OBJETIVO E ÂMBITO.....	5
2	SISTEMAS DE UNIDADES	6
3	REGULAMENTAÇÃO/NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA TÉCNICA.....	7
4	MODELOS DE CÁLCULO.....	9
4.1	Fundações Indiretas	9
4.2	Contenções Provisórias	12
5	CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	13
5.1	Estado limite último	13
5.2	Estado limite de serviço	13
6	RESUMO DAS VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA	15
6.1	Solução de Fundação Indireta do Pilar P5.....	15
6.2	Solução de Fundação Indireta dos Pilares P2, P3 e P4.....	18

Índice de Figuras

Figura 1 – Modelo de calculo da fundação do pilar P5 (Geo5).....	9
Figura 2 – Construção da curva carga-assentamento da estaca de fundação de acordo com o método de Poulos.....	11
Figura 3 – Definição do módulo de reação do subsolo	11
Figura 4 - Modelo bidirecional elaborado em Plaxis 2D.....	12
Figura 5 – Diagramas de Momentos Fletores – Direção Transversal.....	15
Figura 6 – Diagramas de Momentos Fletores – Direção Longitudinal	16
Figura 7 – Diagramas das envolventes de esforços	16
Figura 8 – Pormenorização de armaduras adotada.....	17
Figura 9 – Diagramas de Momentos Fletores – Direção Transversal.....	19
Figura 10 – Diagramas de Momentos Fletores – Direção Longitudinal	20
Figura 11 – Diagramas das envolventes de esforços	21
Figura 12 – Pormenorização de armaduras adotada.....	21

Índice de Tabelas

Não foi encontrada nenhuma entrada do índice de ilustrações.

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Nota de Cálculo das soluções de estruturas provisórias e definitivas**, nomeadamente muros de contenção e fundações, **do Viaduto de Alcântara**, no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do **Tomo IV – Viaduto do Volume 1 – Viaduto de Alcântara**.

2 SISTEMAS DE UNIDADES

O sistema de unidades utilizado na elaboração do Projeto é o Sistema Internacional de Unidades (SI). As principais unidades utilizadas são as seguintes:

- Comprimento: metro (m).
- Força: quilonewton (kN).
- Momento: quilonewton metro (kN.m).
- Tensão no terreno: quilonewton por metro quadrado (kN/m^2) ou kilopascals (kPa).
- Tensão nos elementos estruturais: newton por milímetro quadrado (N/mm^2) ou megapascals (MPa).
- Peso específico: quilonewton por metro cúbico (kN/m^3).

3 REGULAMENTAÇÃO/NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA TÉCNICA

A regulamentação e a bibliografia técnica adotadas são as apresentadas abaixo:

- NP EN 1990 – Bases para projetos de estruturas (EC0);
- NP EN 1991 – Bases de projeto e ações em estruturas (EC1);
- NP EN 1992 – Projeto de Estruturas de Betão (EC2);
- NP EN 1993 – Projeto de Estruturas de Aço (EC3);
- NP EN 1994 – Projeto de Estruturas mistas Aço-Betão (EC4);
- NP EN 1997 – Projeto Geotécnico (EC7);
- NP EN 1998 – Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos (EC8);
- fib Model Code 2010 for Concrete Structures;
- Normas de Projeto de estruturas do Metropolitano de Lisboa.

Serão ainda consideradas as seguintes normas de execução:

- NP EN 206:2013+A1:2017 – Betão: Especificação, desempenho, produção e conformidade;
- NP EN 13670-1 - Execução de estruturas de betão. Parte 1: Regras Gerais;
- NP EN 1536 - Execução de obras geotécnicas especiais – Estacas Moldadas
- NP EN 14199 - Execução de obras geotécnicas especiais- Microestacas
- NP EN 1537 - Execução de obras geotécnicas especiais: Ancoragens;
- EN ISO 22447-5 – Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures - Part 5: Testing of grouted anchors;
- NP EN 197-1 - Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes;
- NP EN 197-2 - Cimento. Parte 2: Avaliação de conformidade;
- NP EN 13251 - Geotêxteis e produtos relacionados. Características requeridas para a utilização em obras de terraplenagem, fundações e estruturas de suporte;
- NP EN 13256 - Geotêxteis e produtos relacionados. Características requeridas para a construção de túneis e obras subterrâneas;
- NP EN 14487-1 - Betão projetado. Parte 1: Definições, especificações e conformidade;
- NP EN 14487-2 - Betão projetado. Parte 2: Execução;

-
- NP EN 14889-1 - Fibras para betão - Parte 1: Fibras de aço - Definições, especificações e conformidade;
 - NP EN 14488-5 -Ensaio do betão projetado - Parte 5: Determinação da capacidade de absorção de energia de provetes de lajes reforçadas com fibras;
 - NP EN 445 - Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Métodos de ensaio;
 - NP EN 446 - Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Procedimentos para injeção;
 - NP EN 447 - Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Especificações para caldas correntes.

4 MODELOS DE CÁLCULO

4.1 Fundações Indiretas

No dimensionamento estrutural e geotécnico dos diversos elementos de fundação a análise estrutural foi realizada com base em modelos tridimensionais elasto-plásticos com recurso ao programa Geo5.

Com base nos modelos realizados obtiveram-se os esforços para se realizar as verificações de segurança dos elementos estruturais em relação aos estados limites últimos de rotura e aos estados limites de utilização. Os esforços resistentes foram, em geral, determinados a partir de folhas de cálculo ou, em alternativa, a partir de programas de cálculo automático.

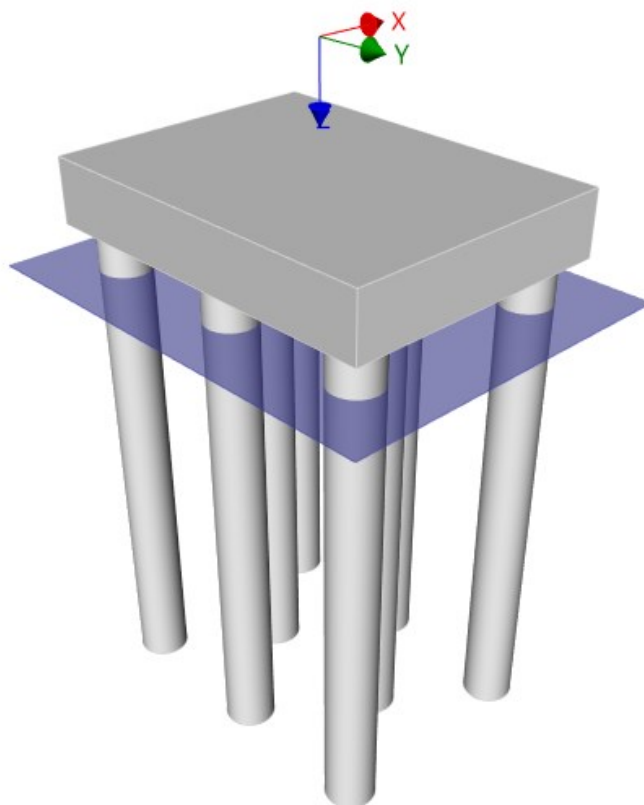


Figura 1 – Modelo de calculo da fundação do pilar P5 (Geo5)

A resistência vertical das estacas foi estimada com base no Método das Tensões Efetivas:

O método da tensão efetiva permite calcular a capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada, tanto em solos coesivos como em solos não coesivos. Este método é apropriado para condições drenadas - isto é, condições que prevaleçam após tempo suficiente desde a construção.

A resistência do fuste da estaca é dada por:

$$R_s = \sum_{j=1}^n q_{s,j} A_{s,j} = \sum_{j=1}^n \beta_{p,j} \sigma_{0,j} A_{s,j}$$

- onde:
- $q_{s,j}$ - resistência do poço na j ésima camada
 - $\beta_{p,j}$ - coeficientes de Bjerrum e Burland na j ésima camada
 - $\sigma_{0,j}$ - tensão efetiva média devido à formação geológica atuante ao longo da estaca na j ésima camada
 - A_{sj} - área do poço da estaca na j ésima camada

A resistência da base da estaca é dada por:

$$R_b = q_p A_b = N_p \sigma_p A_b$$

- onde:
- q_p - resistência unitária na base da estaca
 - A_b - área da base da estaca
 - N_p - coeficiente de resistência da base da estaca (de Fellenius)
 - σ_p - tensão efetiva devido à formação geológica atuante na base da estaca

O assentamento e rotações do grupo de estacas foi estimado de acordo com o indicado abaixo:

A análise de um grupo de estacas num solo não coesivo é desenvolvida com base na teoria linear de assentamento (Poulos). A curva carga-assentamento para um grupo de estacas e o valor do assentamento total s_g são aumentados pelo fator de assentamento do grupo g_f .

O assentamento imediato do grupo de estacas, aumentado pelo fator de assentamento do grupo, é dado por:

$$s_g = g_f s_0$$
$$g_f = \sqrt{\frac{b_x}{d}}$$

- onde:
- s_g - assentamento do grupo de estacas
 - g_f - fator de assentamento do grupo em solo não coesivo (segundo Pile Buck Inc. 1992)
 - s_0 - assentamento de uma estaca isolada (determinado, por ex., a partir da curva carga-assentamento)
 - d - diâmetro da estaca
 - b_x - largura mínima do grupo de estacas

A análise da curva carga-assentamento de uma estaca isolada ou de um grupo de estacas baseia-se na solução descrita no livro *Pile Foundations Analysis and Design* (H. G. Poulos et. E. H. Davis, 1980), de acordo com a teoria da elasticidade e modificações atribuídas a medições in situ. O solo de fundação é caracterizado pelo módulo de elasticidade E e pelo coeficiente de Poisson ν . Este método permite obter a curva carga-assentamento para fundações por estacas (estaca isolada, grupo de estacas).

Os parâmetros base a introduzir para a análise são a capacidade de suporte da base da estaca R_{bu} e a capacidade de suporte da superfície da estaca R_{su} . A capacidade de suporte última da fundação da estaca, e respetiva carga última, é dada pela equação $P_u = R_{su} + R_{bu}$. Estes valores são obtidos pelo programa a partir da análise da capacidade de suporte vertical de estacas

isoladas ou grupos de estacas e dependem do método de análise selecionado. Todos os fatores parciais da análise são assumidos como 1.0, de forma a que a resistência resultante seja maior que a obtida a partir da análise da capacidade de suporte.

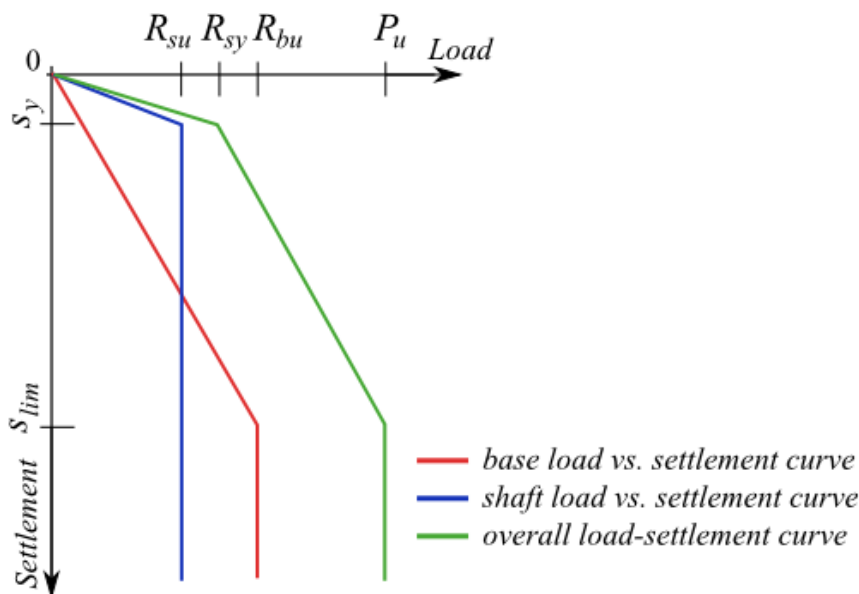


Figura 2 – Construção da curva carga-assentamento da estaca de fundação de acordo com o método de Poulos

Para determinar a capacidade de Suporte Horizontal foram consideradas as curvas elásticas $p-y$, sendo a Capacidade de suporte horizontal de uma estaca estimada do seguinte modo:

A estaca carregada horizontalmente é analisada através do método dos elementos finitos, como uma viga assente em fundação elástica de Winkler. Os parâmetros do solo ao longo da estaca são representados pelo módulo de reação do subsolo. Por defeito, a estaca é subdividida em 30 segmentos. Para cada segmento, o programa determina os valores do módulo de reação do subsolo, forças internas e deformação (deslocamentos).

No geral, o módulo de reação do subsolo corresponde à rigidez da mola do modelo de Winkler. Este modelo descreve o assentamento de uma laje rígida em função da carga aplicada. A relação correspondente é traduzida pela seguinte fórmula:

$$p = ky$$

- onde:
- p - carga atuante ao longo da interface laje-solo
 - k - rigidez da mola de Winkler
 - y - translação (deslocamento) da laje no subsolo

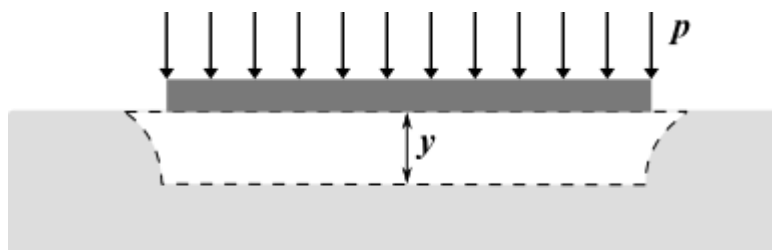


Figura 3 – Definição do módulo de reação do subsolo

No presente caso, o módulo de reação do subsolo foi estimado de acordo com a proposta de Viesic:

$$k_h = \frac{0.65}{d} \sqrt[12]{\frac{E_s d^4}{E_p I_p} \frac{E_s}{1 - \nu^2}}$$

onde:

- E_p - módulo de elasticidade da estaca [MPa]
- I_p - momento de inércia da estaca [m^4]
- E_s - módulo de elasticidade do solo [MPa]
- d - diâmetro do solo [m]
- ν - coeficiente de Poisson [-]

4.2 Contenções Provisórias

Para o dimensionamento estrutural e geotécnico dos diversos elementos das contenções provisórias, foram realizados modelos bidimensionais com recurso ao programa *Plaxis 2D*.

Com base nos modelos realizados obtiveram-se os esforços para se realizar as verificações de segurança dos elementos estruturais em relação aos estados limites últimos de rotura e aos estados limites de utilização. Os esforços resistentes foram, em geral, determinados a partir de folhas de cálculo ou, em alternativa, a partir de programas de cálculo automático.

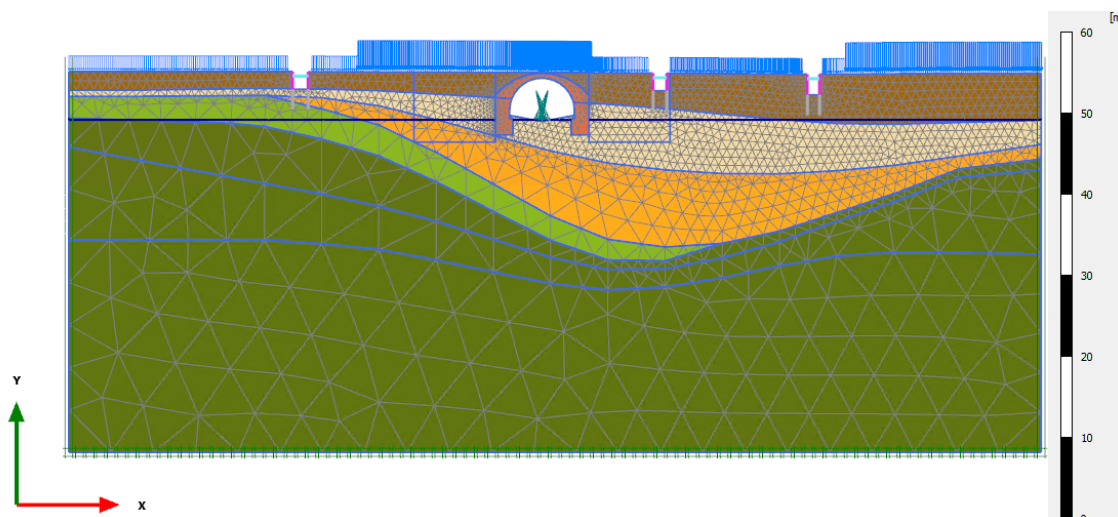


Figura 4 - Modelo bidirecional elaborado em Plaxis 2D

Este modelo permitiu ainda avaliar os deslocamentos expectáveis no caneiro de Alcântara, face à execução das escavações provisórias para execução dos maciços de fundação.

5 CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

5.1 Estado limite último

A verificação da segurança aos estados limites últimos dos elementos de betão armado foi efetuada de acordo com as disposições da NP EN 1992-1.

Para a verificação da segurança aos estados limites últimos de resistência dos elementos de betão armado foram considerados valores dos coeficientes parciais de segurança, relativos as ações e aos materiais. Foram realizadas as seguintes verificações de segurança, consideradas como condicionantes:

- Estado limite último de resistência à flexão;
- Estado limite último de resistência a flexão composta (quando relevante);
- Estado limite último de resistência ao esforço transversal.

Foi igualmente verificado o estado limite último de resistência do solo de fundação.

A verificação da segurança em relação aos Estados Limite Últimos (ELU) foi realizada em termos de resistências, respeitando a condição,

$$S_d \leq S_r$$

em que S_d é o valor de cálculo do esforço atuante e S_r é o valor de cálculo do esforço resistente.

A verificação da segurança estrutural para a ação do fogo são considerados os seguintes critérios:

1. Manter a função de suporte de carga em pelo menos durante 120 minutos;
2. Limitação da propagação de fogo (chamas, gases quentes, excesso de calor).

Estes critérios são cumpridos adotando-se as disposições prescritas no EN 1992 1-2, no qual são apresentados valores tabelados (capítulo 5) que indicam as dimensões mínimas para elementos estruturais bem como os recobrimentos mínimos das armaduras.

No que se refere aos recobrimentos, os valores mínimos apresentados no quadro do capítulo 5 da EN 1992 1-2 são em geral inferiores aos mínimos necessários para garantir os requisitos de durabilidade. Na Figura acima, estão representados os valores dos recobrimentos adotados para cada elemento estrutural com vista a garantir o requisito de durabilidade e de resistência ao fogo.

5.2 Estado limite de serviço

A verificação da segurança aos estados limites de utilização das estruturas de betão armado foi efetuada de acordo com as disposições da NP EN 1992-1.

- Limitação das tensões de compressão no betão armado:
- Controle da fendilhação para os elementos de betão armado:
 - Abertura de fendas: limitou-se a abertura de fendas a $w_k = 0,3$ mm para a combinação quase-permanente.

-
- Garantiu-se a adoção de armaduras mínimas para os efeitos provocados por deformações impedidas de retração;
 - Garantiu-se a adoção de armadura de alma nas faces laterais em vigas com altura superior a 1m.
 - Controle da Deformação para os elementos de betão armado:
 - Limitação das flechas de lajes e vigas a $l/250$ para a combinação de ações quase permanente.
 - Limitação das flechas de elementos estruturais suscetíveis de danificar elementos adjacentes à estrutura, ou equipamentos a $l/500$ para a combinação de ações quase permanente.