

Figura 9 – Armadura secundária na face inferior (esq.) e superior (dir.) – laje de fundação – túnel - ELU

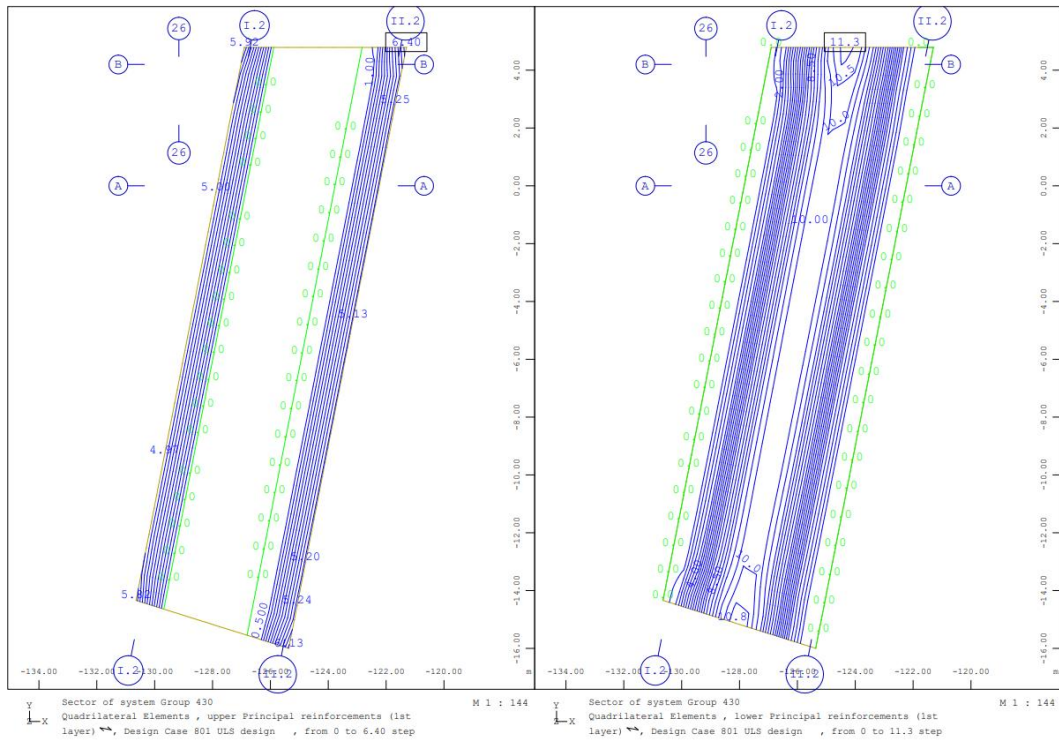


Figura 10 – Armadura principal na face superior (esq.) e inferior (dir.) – laje de cobertura – túnel - ELU

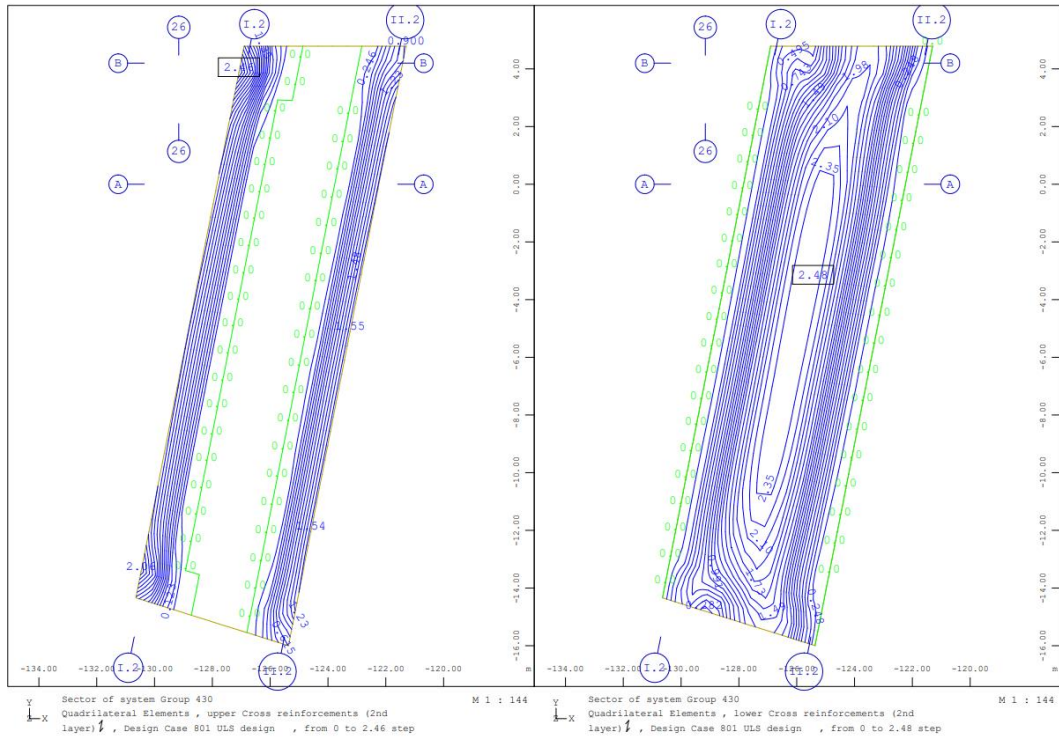


Figura 11 – Armadura secundária na face superior (esq.) e inferior (dir.) – laje de cobertura – túnel - ELU

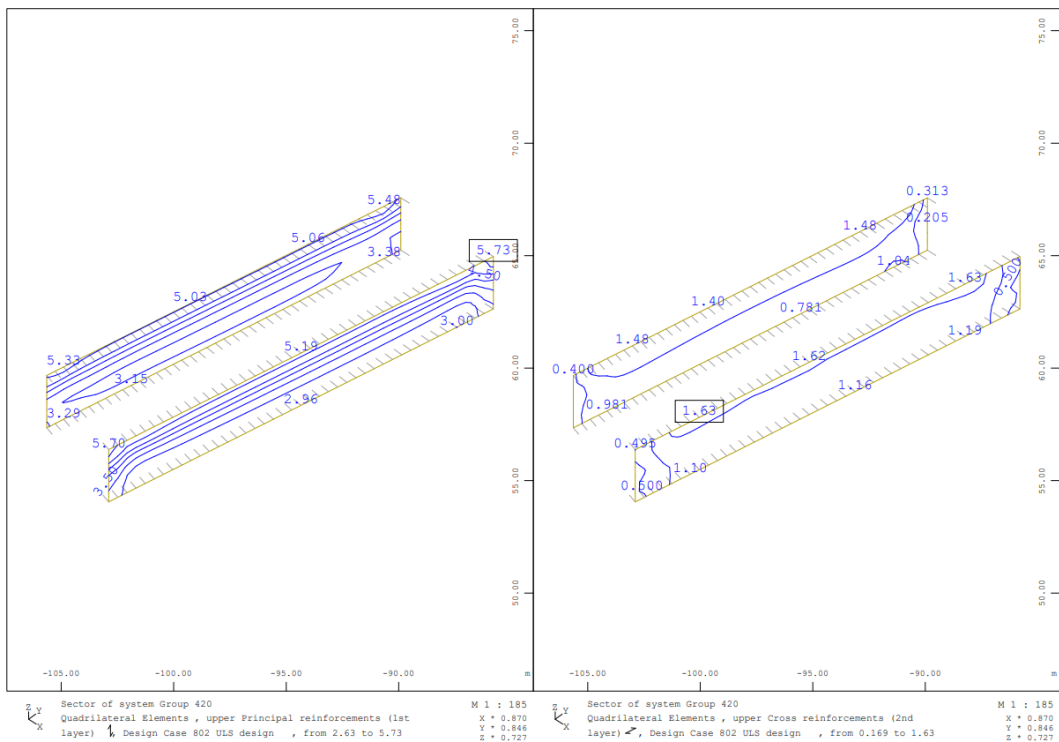


Figura 12 – Armadura na face exterior - vertical (esq.) e horizontal (dir.) – muros – túnel - ELU

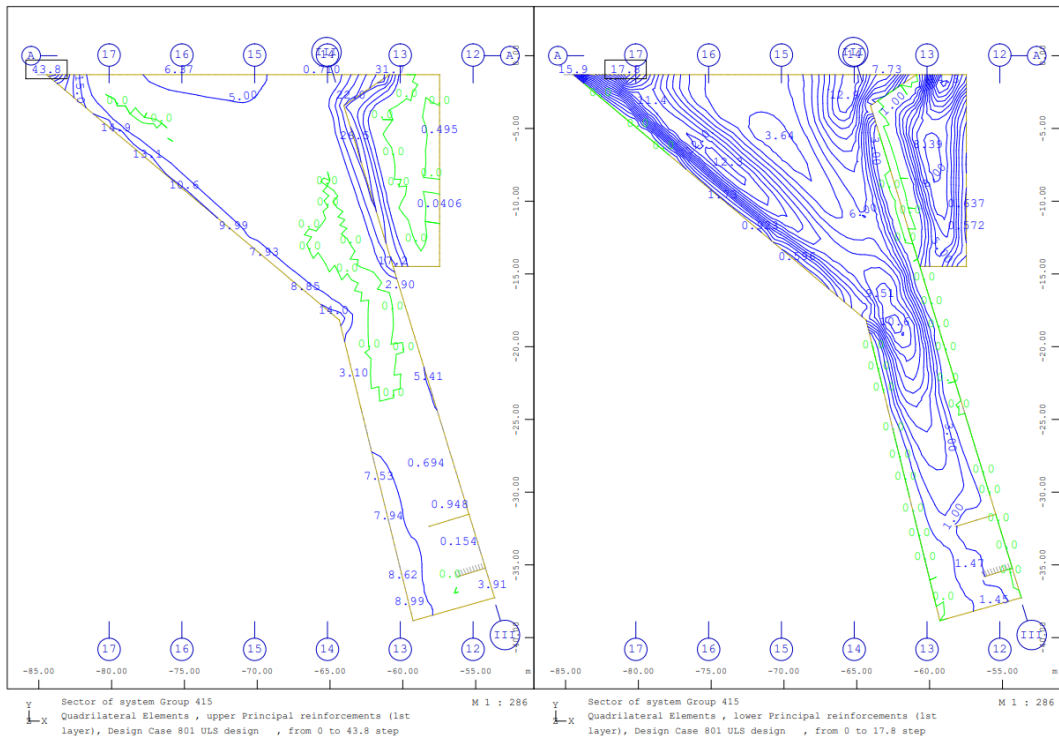


Figura 13 – Armadura principal na face inferior (esq.) e superior (dir.) – laje de fundação – acesso Sul - ELU

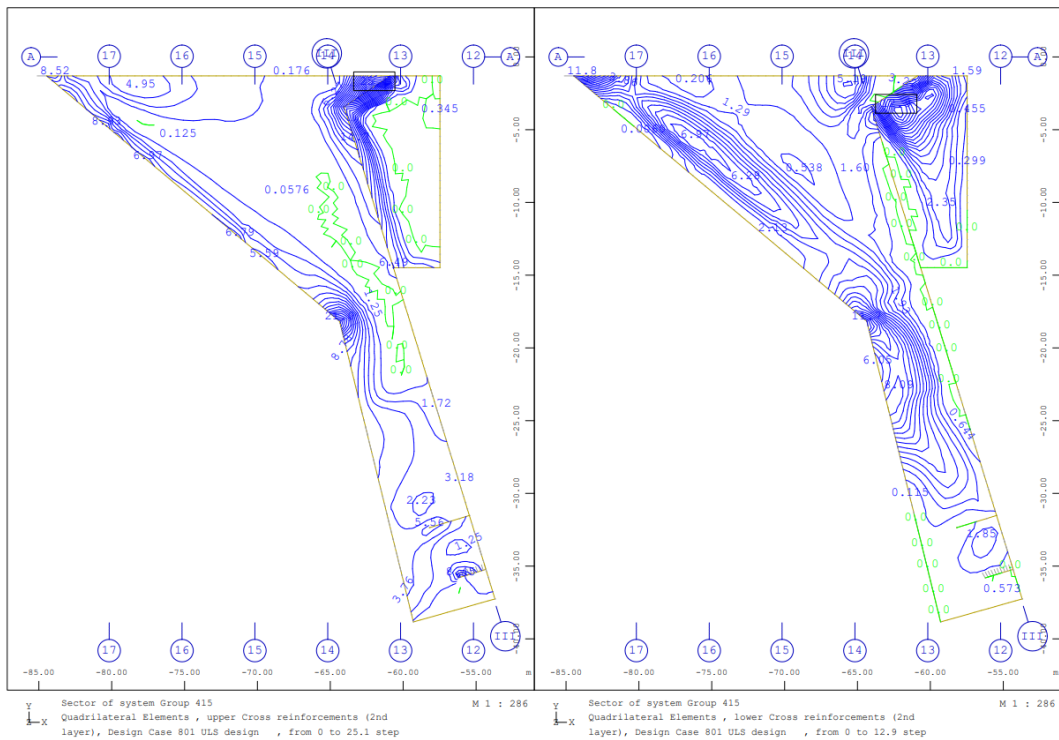


Figura 14 – Armadura secundária na face inferior (esq.) e superior (dir.) – laje de fundação – acesso Sul - ELU

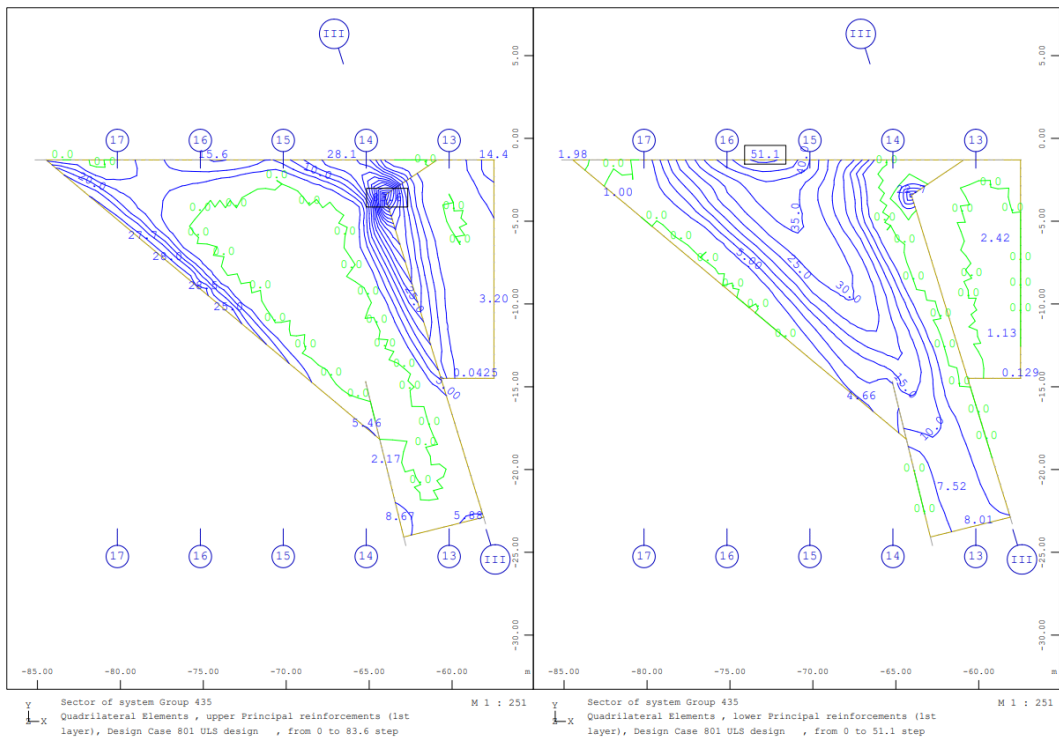


Figura 15 – Armadura principal na face superior (esq.) e inferior (dir.) – laje de cobertura – acesso Sul - ELU

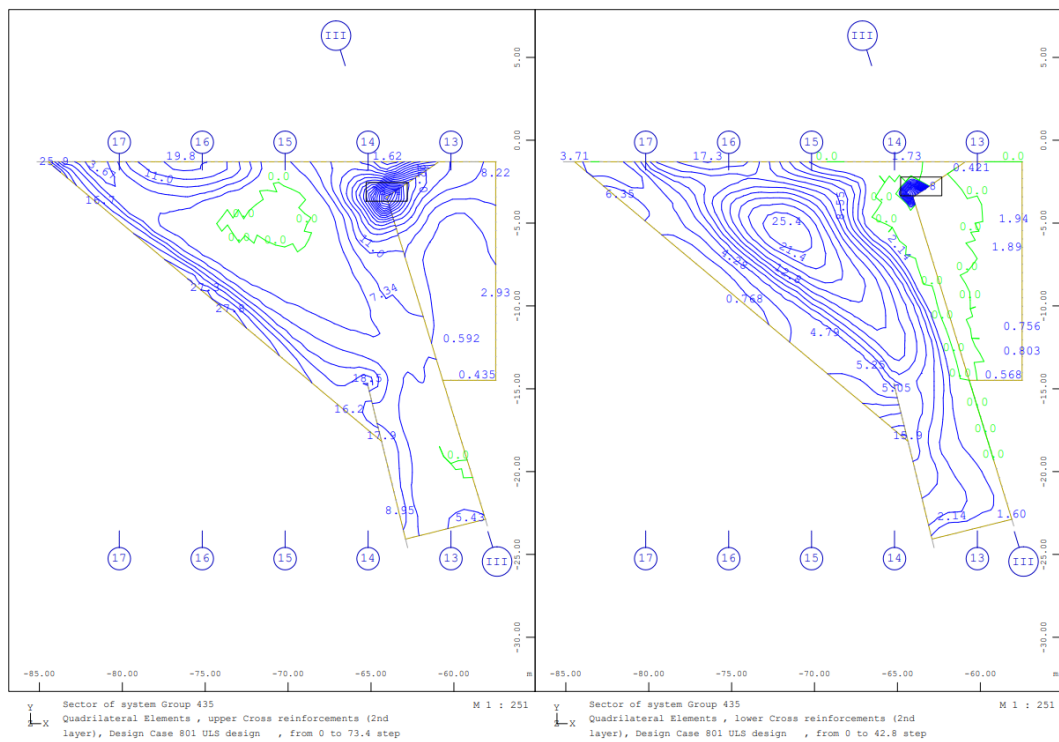


Figura 16 – Armadura secundária na face superior (esq.) e inferior (dir.) – laje de cobertura – acesso Sul - ELU

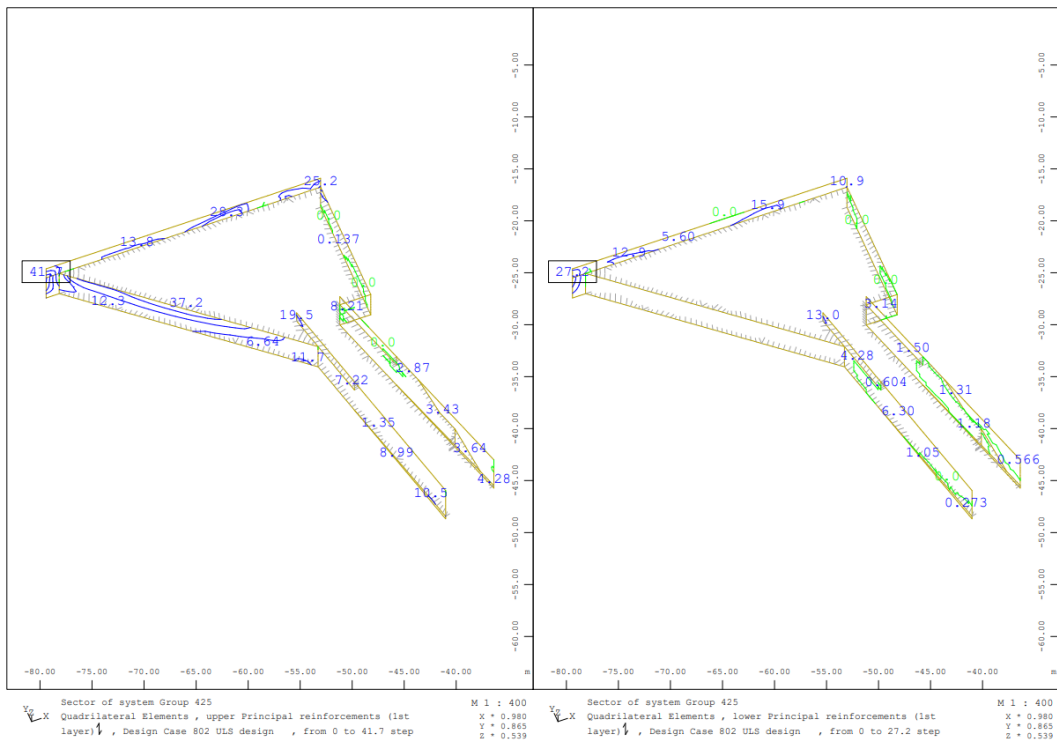


Figura 17 – Armadura vertical na face exterior (esq.) e interior (dir.) – muros – acesso Sul - ELU

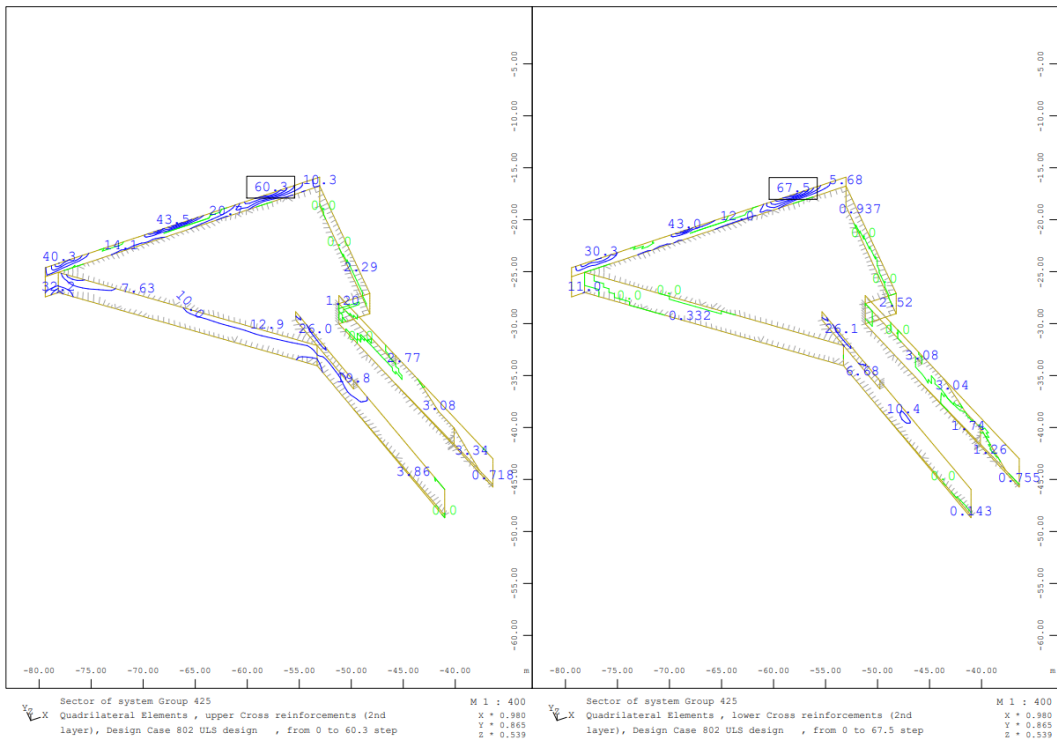


Figura 18 – Armadura horizontal na face exterior (esq.) e interior (dir.) – muros – acesso Sul - ELU

2.3.2.2 Estado limite último – esforço transverso

À semelhança dos diagramas de envolventes de momentos flectores actuantes, também os diagramas das envolventes de esforço transverso nas secções interessadas foram remetidos para anexo.

As tabelas seguintes resumem a verificação da segurança ao esforço transverso assumindo a geometria dos elementos e a armadura corrente considerada em cada secção (apresentada em forma de tabela resumo no ponto 2.4.5); com base nestes parametros foi calculado o esforço transverso resistente em cada secção e posteriormente comparado com o valor do esforço transverso médio, num secção localizada a $z \times \cot \theta$ do apoio. Verifica-se, regra geral, que a segurança está satisfeita sem a consideração de armadura especifica de esforço transverso; adicionalmente refere-se que o valor resistente apresentado não considera, conservativamente, eventuais reforços de armadura de flexão.

Tabela 1 – Verificação da segurança ao corte – laje de fundação (esq.) e cobertura (dir.) – túnel - ELU

propriedades		
e_{laje}	mm	500
rec.	mm	40
$\phi_{principal}$	mm	16
d	mm	452
f_{ck}	MPa	30
f_{ywd}	MPa	435
$V_{Rd,c,min}$		
k_{calc}	-	1,67
k	-	1,67
b_w	mm	1000
$V_{Rd,c,min}$	kN/m	186,2
$V_{Rd,c}$		
$C_{Rd,c}$	-	0,12
A_{sL}	mm ²	1340
$\rho_{L,calc}$	-	0,0030
ρ_L	-	0,0030
$V_{Rd,c}$	kN/m	187,1
$V_{Ed,médio}$		
$V_{Ed,médio}$	kN/m	140
check	OK	

propriedades		
e_{laje}	mm	500
rec.	mm	40
$\phi_{principal}$	mm	16
d	mm	452
f_{ck}	MPa	30
f_{ywd}	MPa	435
$V_{Rd,c,min}$		
k_{calc}	-	1,67
k	-	1,67
b_w	mm	1000
$V_{Rd,c,min}$	kN/m	186,2
$V_{Rd,c}$		
$C_{Rd,c}$	-	0,12
A_{sL}	mm ²	2680
$\rho_{L,calc}$	-	0,0059
ρ_L	-	0,0059
$V_{Rd,c}$	kN/m	235,8
$V_{Ed,médio}$		
$V_{Ed,médio}$	kN/m	190
check	OK	

Tabela 2 - Verificação da segurança ao corte – muros exteriores – túnel - ELU

propriedades		
e_{muro}	mm	500
rec.	mm	50
$\phi_{\text{principal}}$	mm	16
d	mm	442
f_{ck}	MPa	30
f_{ywd}	MPa	435
$V_{Rd,c,min}$		
k_{calc}	-	1,67
k	-	1,67
b_w	mm	1000
$V_{Rd,c,min}$	kN/m	183,3
$V_{Rd,c}$		
$C_{Rd,c}$	-	0,12
A_{sL}	mm ²	1340
$\rho_{L,calc}$	-	0,0030
ρ_L	-	0,0030
$V_{Rd,c}$	kN/m	185,2
$V_{Ed,médio}$	kN/m	70
check	OK	

Tabela 3 - Verificação da segurança ao corte – laje de fundação (esq.) e cobertura (dir.) – acesso Sul - ELU

propriedades		
e_{laje}	mm	500
rec.	mm	40
$\phi_{principal}$	mm	20
d	mm	450
f_{ck}	MPa	30
f_{ywd}	MPa	435
$V_{Rd,c,min}$		
k_{calc}	-	1,67
k	-	1,67
b_w	mm	1000
$V_{Rd,c,min}$	kN/m	185,6
$V_{Rd,c}$		
$C_{Rd,c}$	-	0,12
A_{sL}	mm ²	3140
$\rho_{L,calc}$	-	0,0070
ρ_L	-	0,0070
$V_{Rd,c}$	kN/m	248,0
$V_{Ed,médio}$		
$V_{Ed,médio}$	kN/m	220
check	OK	

propriedades		
e_{laje}	mm	600
rec.	mm	40
$\phi_{principal}$	mm	25
d	mm	547,5
f_{ck}	MPa	30
f_{ywd}	MPa	435
$V_{Rd,c,min}$		
k_{calc}	-	1,60
k	-	1,60
b_w	mm	1000
$V_{Rd,c,min}$	kN/m	213,3
$V_{Rd,c}$		
$C_{Rd,c}$	-	0,12
A_{sL}	mm ²	4910
$\rho_{L,calc}$	-	0,0090
ρ_L	-	0,0090
$V_{Rd,c}$	kN/m	315,9
$V_{Ed,médio}$		
$V_{Ed,médio}$	kN/m	315
check	OK	

Tabela 4 - Verificação da segurança ao corte – muros exteriores – acesso Sul - ELU

propriedades		
e_{muro}	mm	500
rec.	mm	50
$\phi_{\text{principal}}$	mm	25
d	mm	437,5
f_{ck}	MPa	30
f_{ywd}	MPa	435
$V_{Rd,c,min}$		
k_{calc}	-	1,68
k	-	1,68
b_w	mm	1000
$V_{Rd,c,min}$	kN/m	182,0
$V_{Rd,c}$		
$C_{Rd,c}$	-	0,12
A_{sL}	mm ²	4910
$\rho_{L,calc}$	-	0,0112
ρ_L	-	0,0112
$V_{Rd,c}$	kN/m	284,1
$V_{Ed,médio}$		
$V_{Ed,médio}$	kN/m	200
check	OK	

2.3.3 Áreas técnicas e Acessos Norte

2.3.3.1 Estado limite último – flexão composta

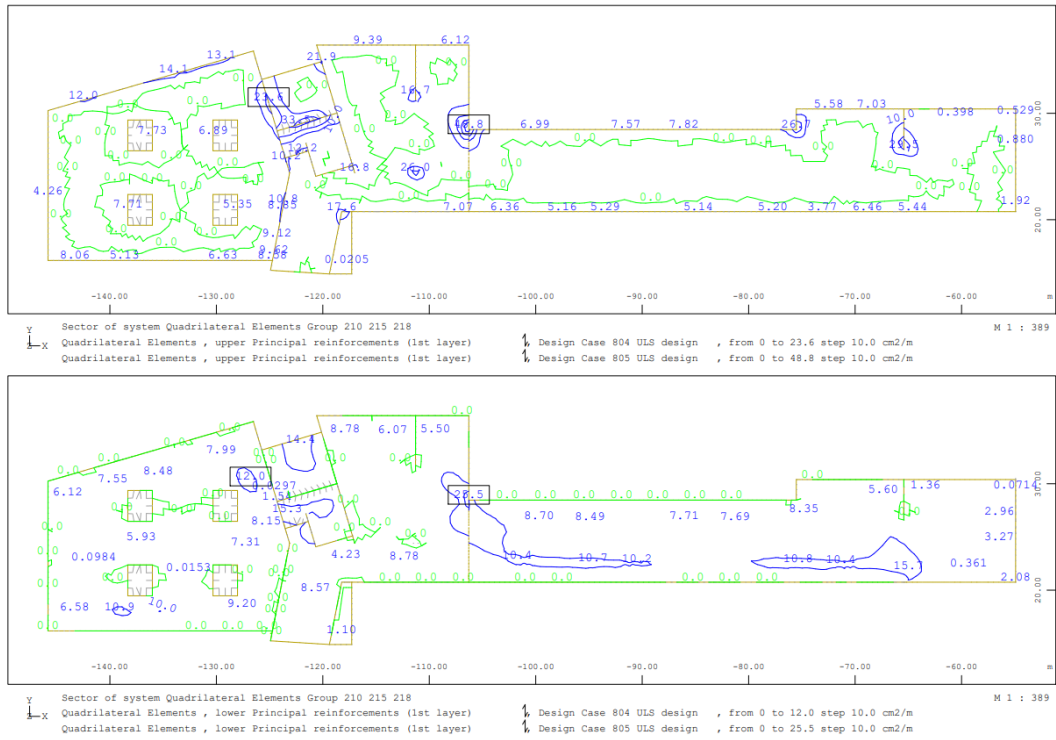


Figura 19 – Armadura principal na face inferior (sup.) e superior (inf.) – laje de fundação – acesso Norte - ELU

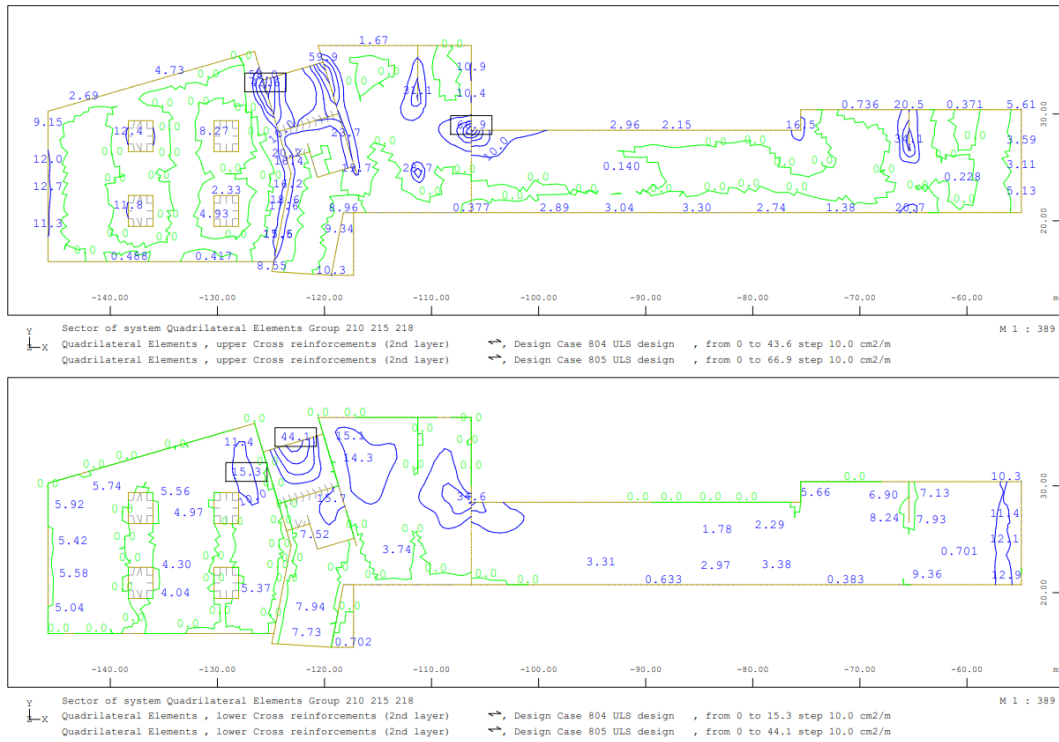


Figura 20 – Armadura secundária na face inferior (sup.) e superior (inf.) – laje de fundação – acesso Norte - ELU

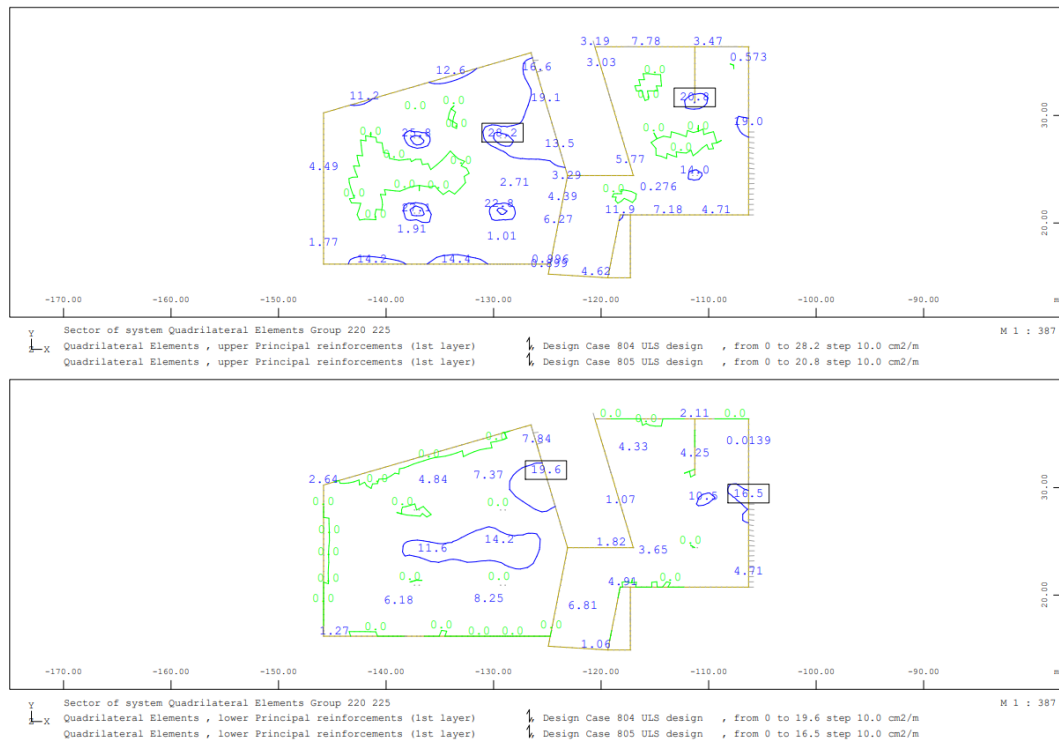


Figura 21 – Armadura principal na face superior (sup.) e inferior (inf.) – laje intermédia – acesso Norte - ELU

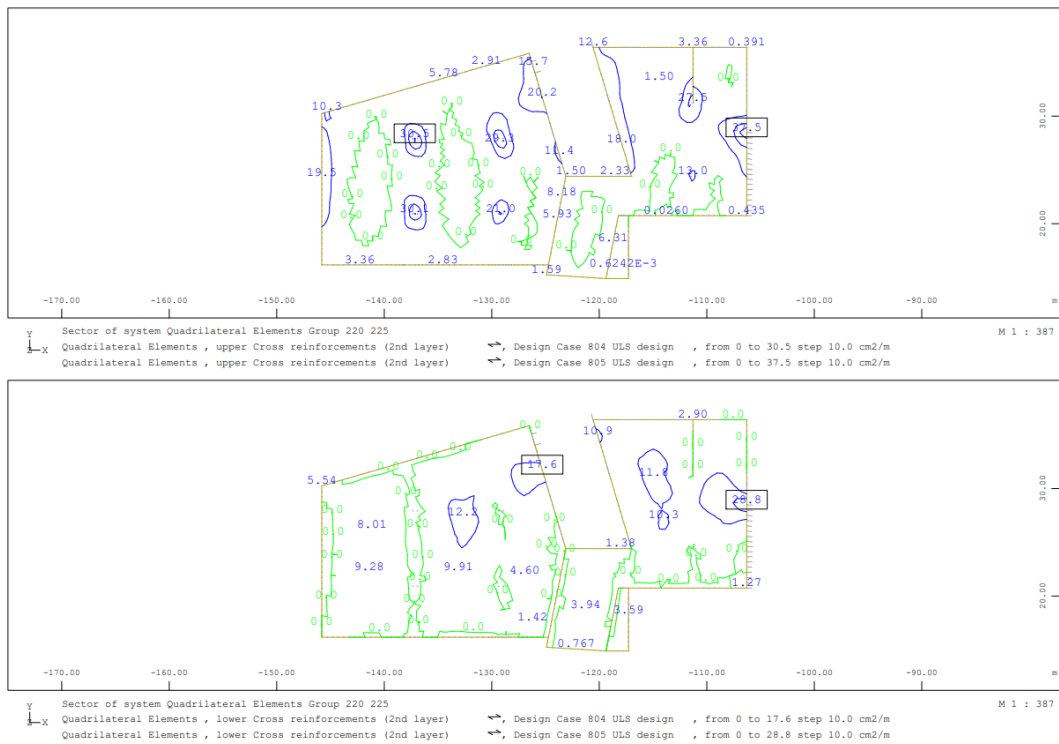


Figura 22 – Armadura secundária na face superior (sup.) e inferior (inf.) – laje intermédia – acesso Norte - ELU

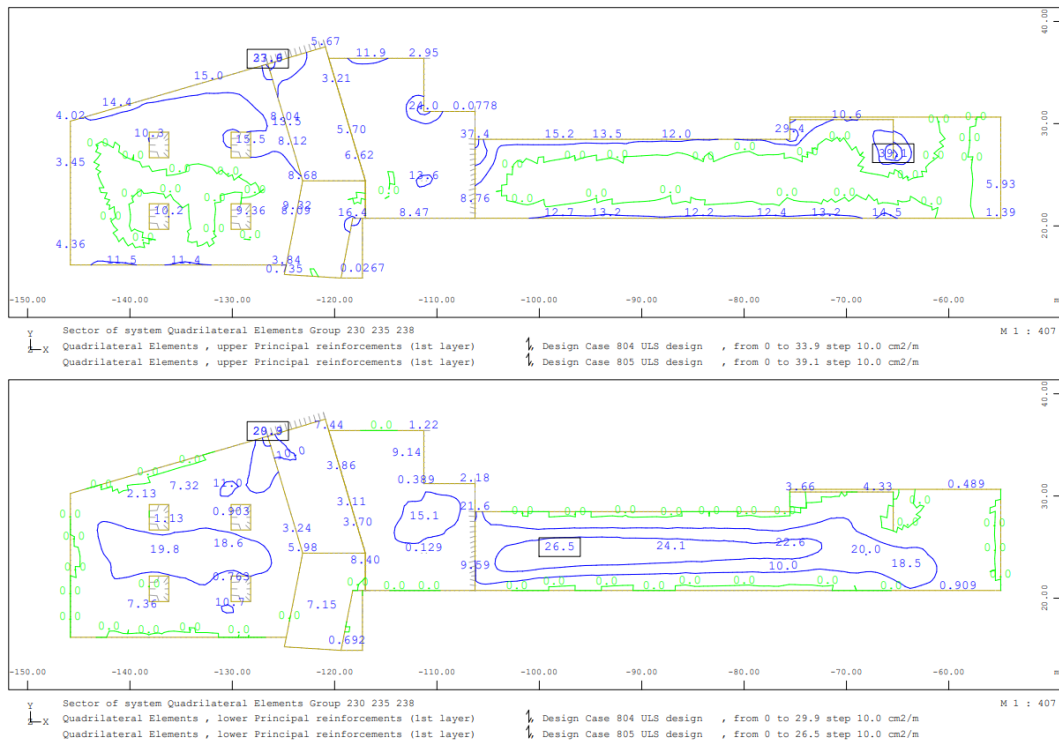


Figura 23 – Armadura principal na face superior (sup.) e inferior (inf.) – laje de cobertura – acesso Norte - ELU

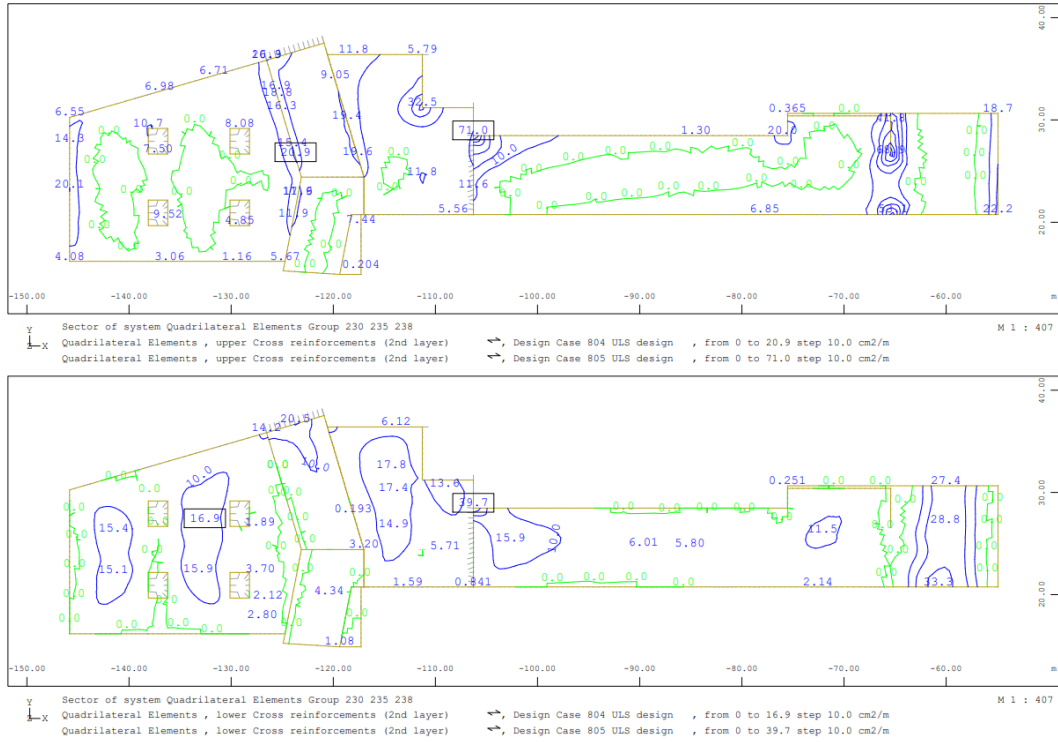


Figura 24 – Armadura secundária na face superior (sup.) e inferior (inf.) – laje de cobertura – acesso Norte - ELU

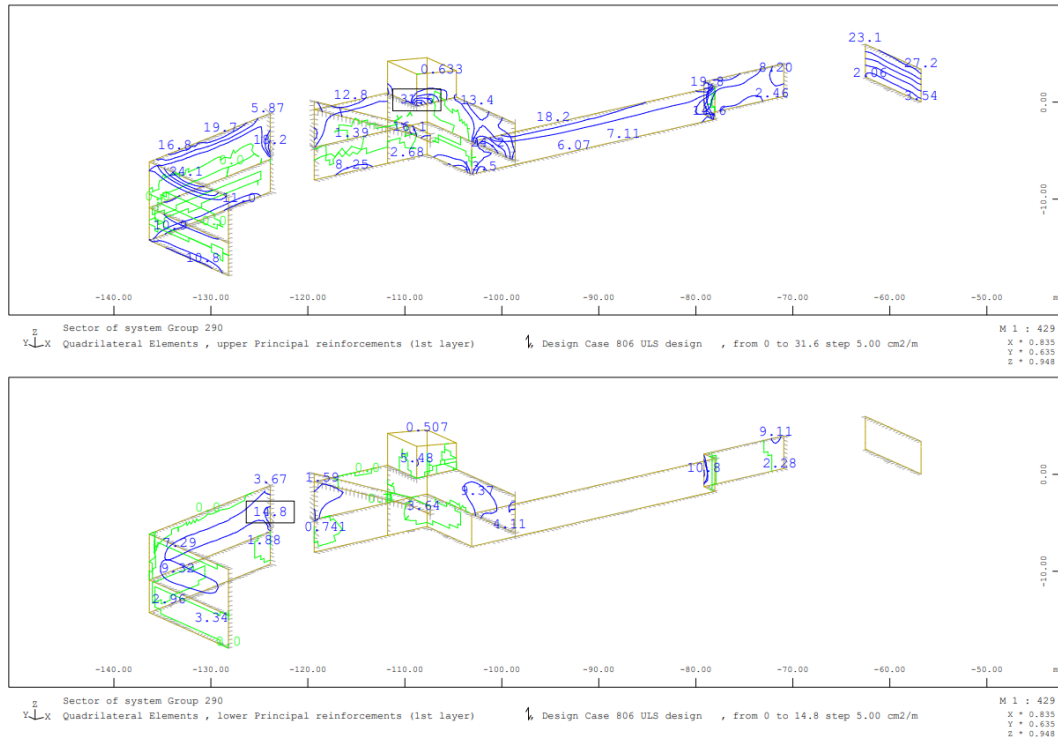


Figura 25 – Armadura vertical na face exterior (sup.) e interior (inf.) – muros – acesso Norte - ELU

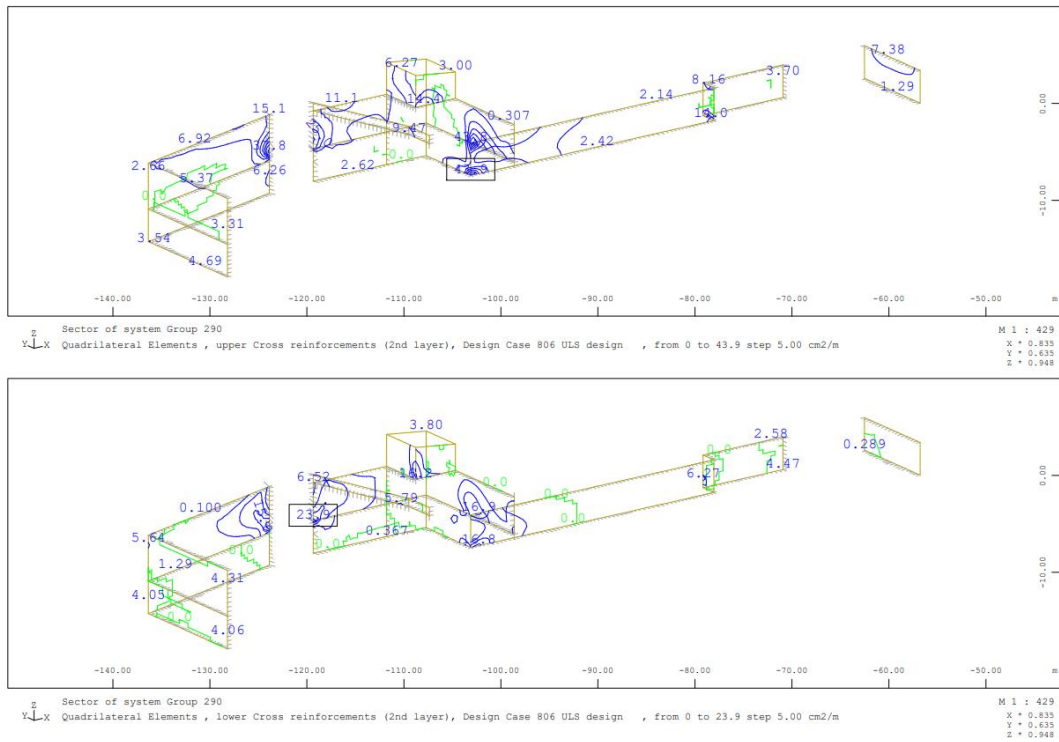


Figura 26 – Armadura horizontal na face exterior (sup.) e interior (inf.) – muros – acesso Norte - ELU

2.3.3.2 Estado limite último – esforço transversal

À semelhança do disposto no ponto 2.3.2.2, as tabelas seguintes resumem a verificação da segurança ao esforço transversal assumindo a geometria dos elementos e a armadura corrente considerada em cada secção (apresentada em forma de tabela resumo no ponto 2.4.5).

Tabela 5 - Verificação da segurança ao corte – laje de fundação (esq.) e cobertura (dir.) – núcleo Norte - ELU

propriedades		
e_{laje}	mm	500
rec.	mm	40
$\phi_{principal}$	mm	25
d	mm	447,5
f_{ck}	MPa	30
f_{ywd}	MPa	435
$V_{Rd,c,min}$		
k_{calc}	-	1,67
k	-	1,67
b_w	mm	1000
$V_{Rd,c,min}$	kN/m	184,9
$V_{Rd,c}$		
$C_{Rd,c}$	-	0,12
A_{sL}	mm ²	4910
$\rho_{L,calc}$	-	0,0110
ρ_L	-	0,0110
$V_{Rd,c}$	kN/m	287,2
$V_{Ed,médio}$		
$V_{Ed,médio}$	kN/m	280
check	OK	

propriedades		
e_{laje}	mm	600
rec.	mm	40
$\phi_{principal}$	mm	25
d	mm	547,5
f_{ck}	MPa	30
f_{ywd}	MPa	435
$V_{Rd,c,min}$		
k_{calc}	-	1,60
k	-	1,60
b_w	mm	1000
$V_{Rd,c,min}$	kN/m	213,3
$V_{Rd,c}$		
$C_{Rd,c}$	-	0,12
A_{sL}	mm ²	4910
$\rho_{L,calc}$	-	0,0090
ρ_L	-	0,0090
$V_{Rd,c}$	kN/m	315,9
$V_{Ed,médio}$		
$V_{Ed,médio}$	kN/m	250
check	OK	

Tabela 6 - Verificação da segurança ao corte – muros exteriores – núcleo Norte - ELU

propriedades		
e_{muro}	mm	500
rec.	mm	50
$\phi_{\text{principal}}$	mm	25
d	mm	437,5
f_{ck}	MPa	30
f_{ywd}	MPa	435
$V_{Rd,c,min}$		
k_{calc}	-	1,68
k	-	1,68
b_w	mm	1000
$V_{Rd,c,min}$	kN/m	182,0
$V_{Rd,c}$		
$C_{Rd,c}$	-	0,12
A_{sL}	mm ²	4910
$\rho_{L,calc}$	-	0,0112
ρ_L	-	0,0112
$V_{Rd,c}$	kN/m	284,1
$V_{Ed,médio}$		
$V_{Ed,médio}$	kN/m	280
check	OK	

2.3.3.3 Estado limite último – punçoamento

Face à amplitude do carregamento vertical nas áreas técnicas do núcleo Norte e à existência de pilares (não vigados), o estado limite de punçoamento foi sumariamente analisado para a laje do piso intermédio (prevista com uma espessura de 300 mm e sem capiteis devido às exigências do ML quanto ao pé direito livre).

O punçoamento foi verificado tomando a geometria dos elementos (espessura da laje, secção do pil, etc.) e a armadura corrente das lajes considerada (apresentada na forma de uma tabela resumo no ponto 2.4.5).

A tabela seguinte resume esta verificação, realizada de acordo com o procedimento preconizado no EC2-1-1, pontos 6.4.3 e 6.4.4.

Tabela 7 - Verificação da segurança ao punçoamento – laje do piso intermédio – núcleo Norte - ELU

$V_{Rd,c}$		
d	mm	250
$b_{w,L}$	mm	1000
$b_{w,T}$	mm	1000
$C_{Rd,c}$	-	0,12
k	-	1,894
A_{sL}	mm ²	3140
A_{sT}	mm ²	3140
ρ_L	-	0,0126
ρ_T	-	0,0126
$\rho_{L,calc}$	-	0,0126
ρ_L	-	0,0126
f_{ck}	N/mm ²	30
k_1	-	0,10
N_{Ed}	N	0
A_c	mm ²	0
σ_{cp}	N/mm ²	0,00
$V_{Rd,c}$	MPa	0,762

$V_{Rd,c,min}$	MPa	0,500
----------------	-----	-------

V_{sd}	kN	1520
d	mm	250
u_1	mm	5542
β	-	1,25
v_{sd}	MPa	1,371

status	-	KO
--------	---	----

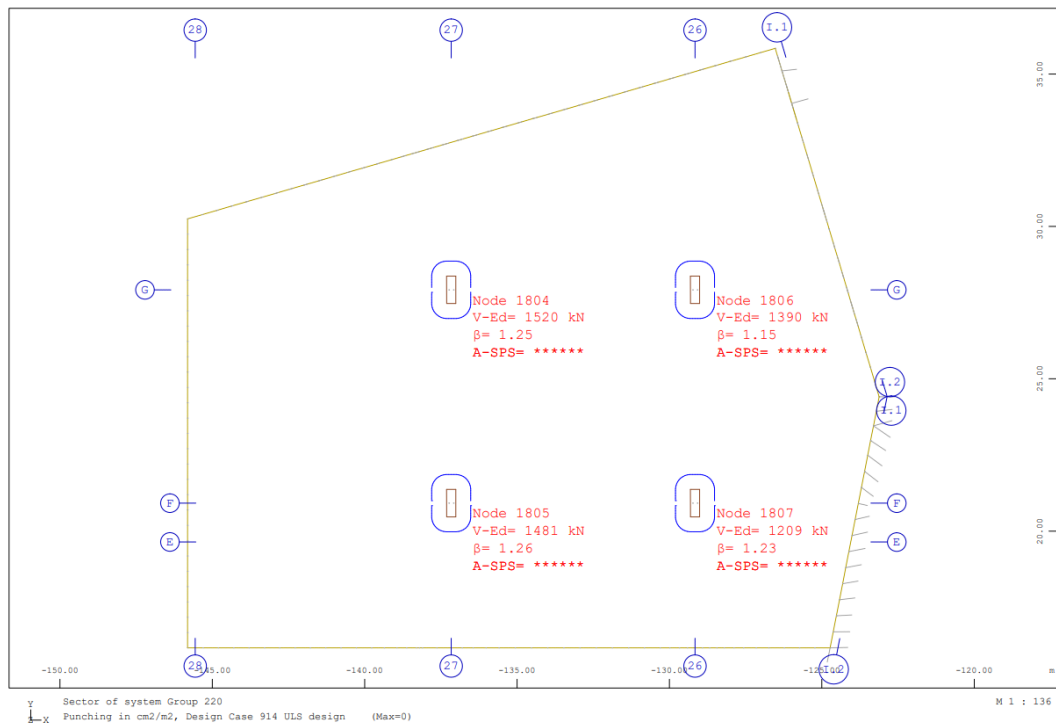


Figura 27 – Verificação automática do punçoamento – laje do piso intermédio - ELU

Verifica-se que esta laje não verifica o ELU de punçoamento sem a consideração de armadura específica; a definição da quantidade e pormenorização deste reforço será objecto de análise numa fase posterior deste estudo.

2.3.4 Fachadas do corpo da Estação

2.3.4.1 Estado limite último – flexão composta

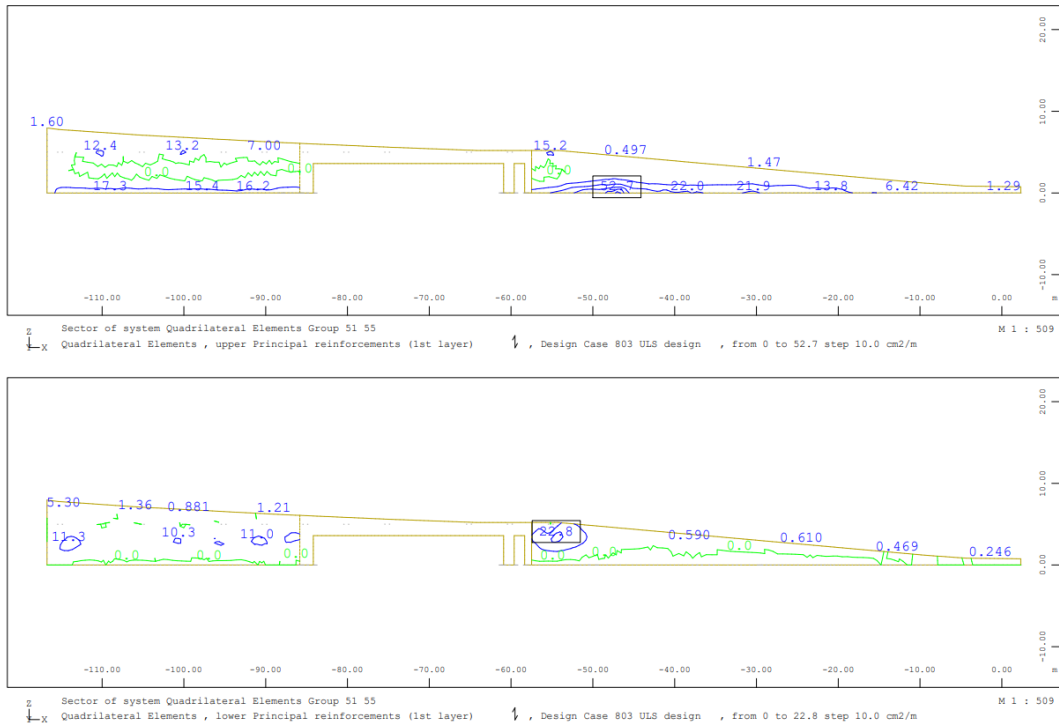


Figura 28 – Armadura vertical na face exterior (sup.) e interior (inf.) – fachada Sul da Estação - ELU

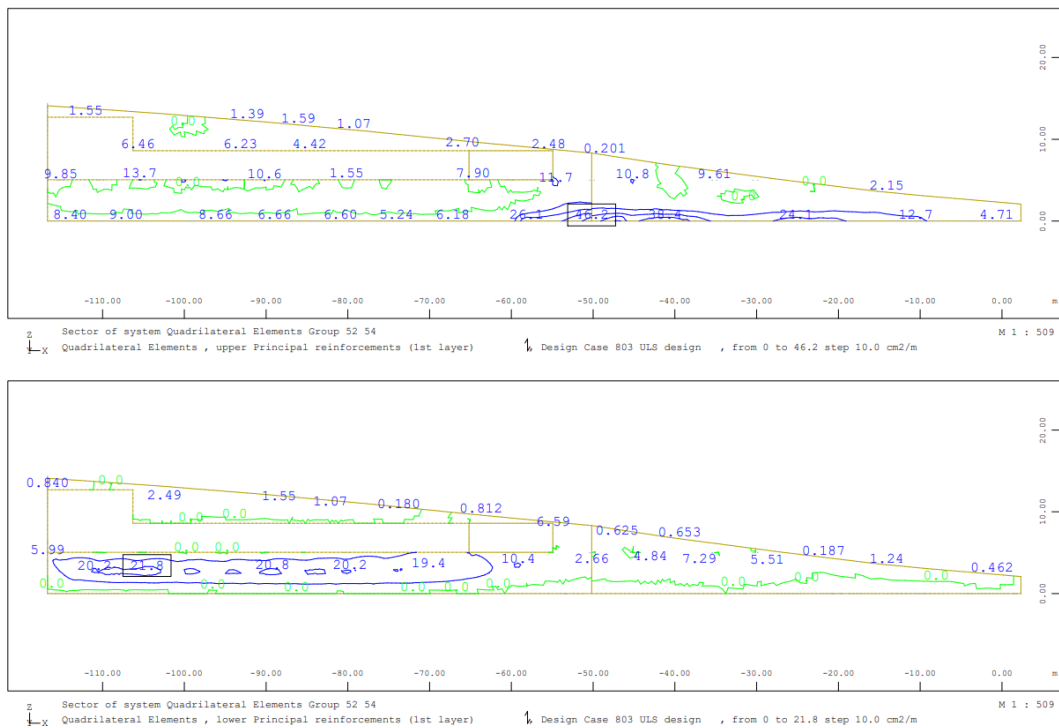


Figura 29 – Armadura vertical na face exterior (sup.) e interior (inf.) – fachada Norte da Estação - ELU

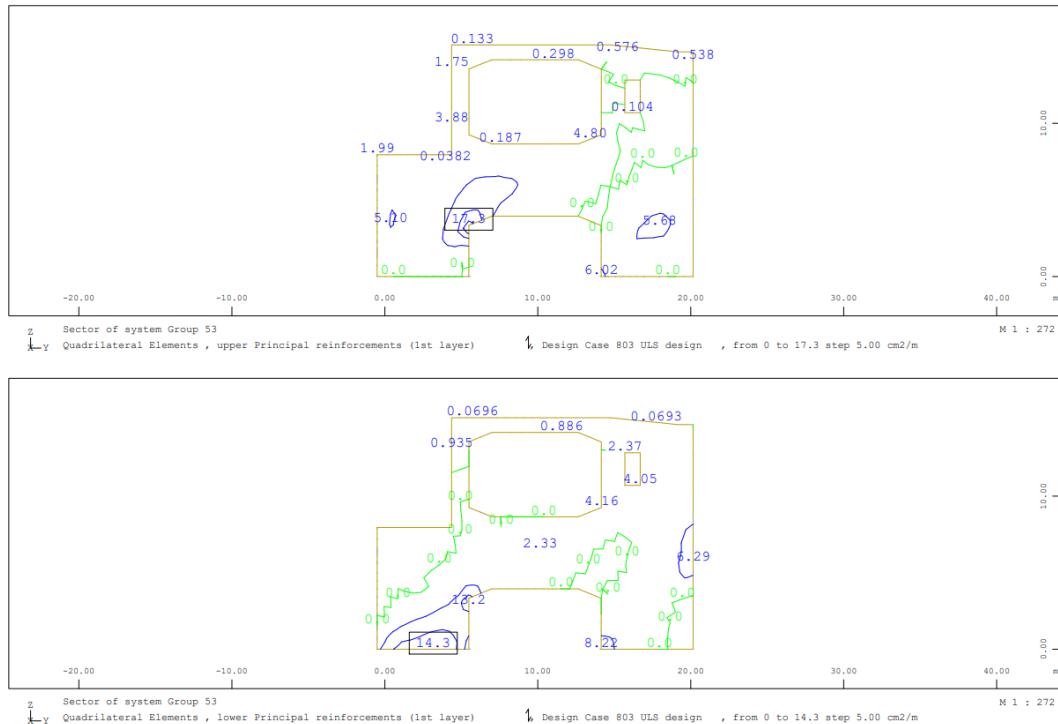


Figura 30 – Armadura vertical na face exterior (sup.) e interior (inf.) – fachada Oeste da Estação - ELU

2.4 Verificação de Segurança aos Estados Limites de Serviço (ELS)

2.4.1 Introdução

Na verificação sumária da segurança aos ELS foram consideradas as acções apresentadas no capítulo **Error! Reference source not found.** e as combinações e factores apresentados no capítulo **Error! Reference source not found.** (com especial incidência na combinação ELS quase-permanente).

No sentido de facilitar a leitura deste documento, a reprodução exhaustiva dos diagramas de esforços principais (envolventes de momentos flectores nas duas direcções para ELS) foi remetida para anexo.

As armaduras apresentadas nos capítulos seguintes foram obtidas automaticamente pelo software de cálculo e validadas (para secções representativas) através de meios secundários; este cálculo automático tem em consideração as características geométricas dos elementos (dimensões, recobrimentos, orientação dos elementos, diâmetro dos varões, etc.), os esforços aplicados em cada secção (flexão composta) e as limitações impostas pelo utilizador para a abertura de fendas. No âmbito deste documento admitiu-se uma abertura de fenda máxima em todos os elementos de 0.30 mm. As direcções consideradas para a armadura são as mesmas explicadas anteriormente.

Verifica-se, ne generalidade, que as armaduras obtidas para ELS são superiores às armaduras obtidas para ELU pelo que é a abertura de fendas e não a segurança à rotura o estado limite condicionante.

Adicionalmente ao estado limite de abertura de fendas, também o estado limite de deformação em lajes foi avaliado. Para este efeito foram obtidas as deformações elásticas máximas para a combinação quase-permanente, posteriormente comparadas com as deformações máximas admissíveis ($L/250$ para a comb. quase-permanente).

2.4.2 Acessos Sul – túnel e acesso ao LIOS

2.4.2.1 Estado limite de serviço de Abertura de Fendas

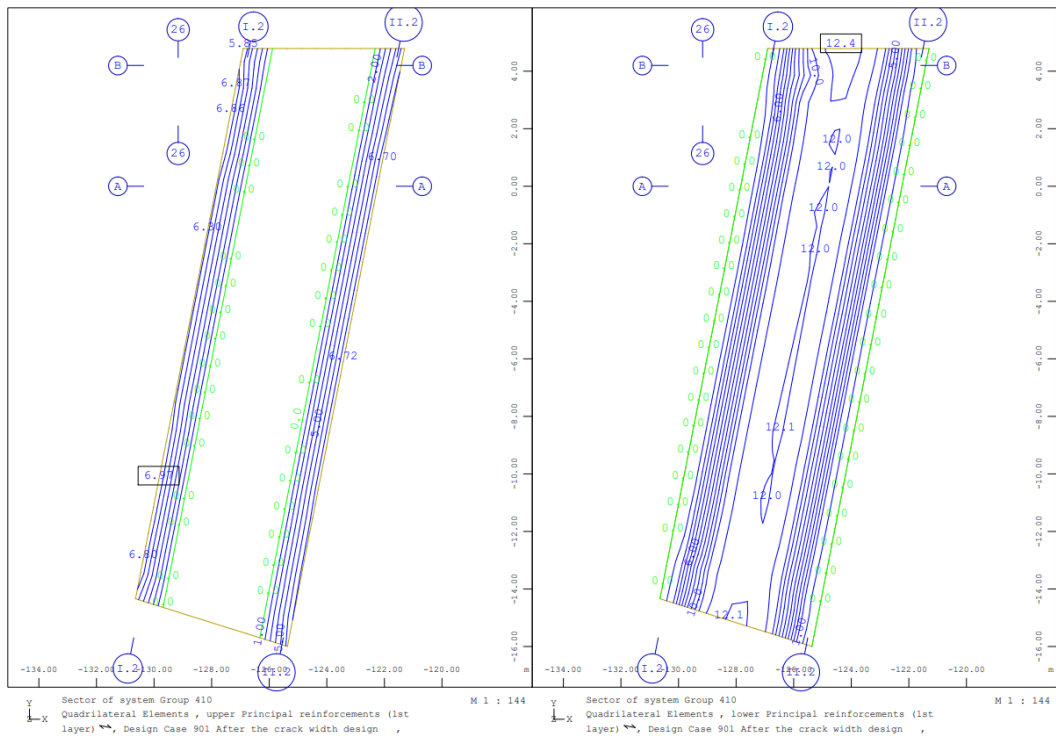


Figura 31 – Armadura principal na face inferior (esq.) e superior (dir.) – laje de fundação – túnel - ELS

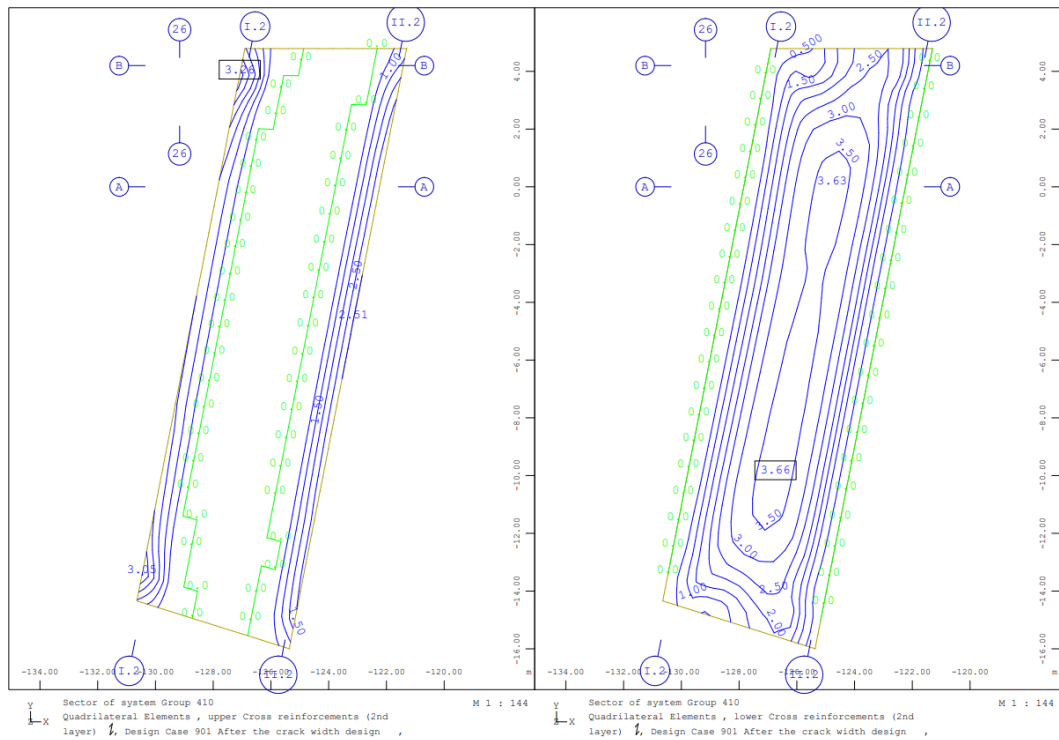


Figura 32 – Armadura secundária na face inferior (esq.) e superior (dir.) – laje de fundação – túnel - ELS

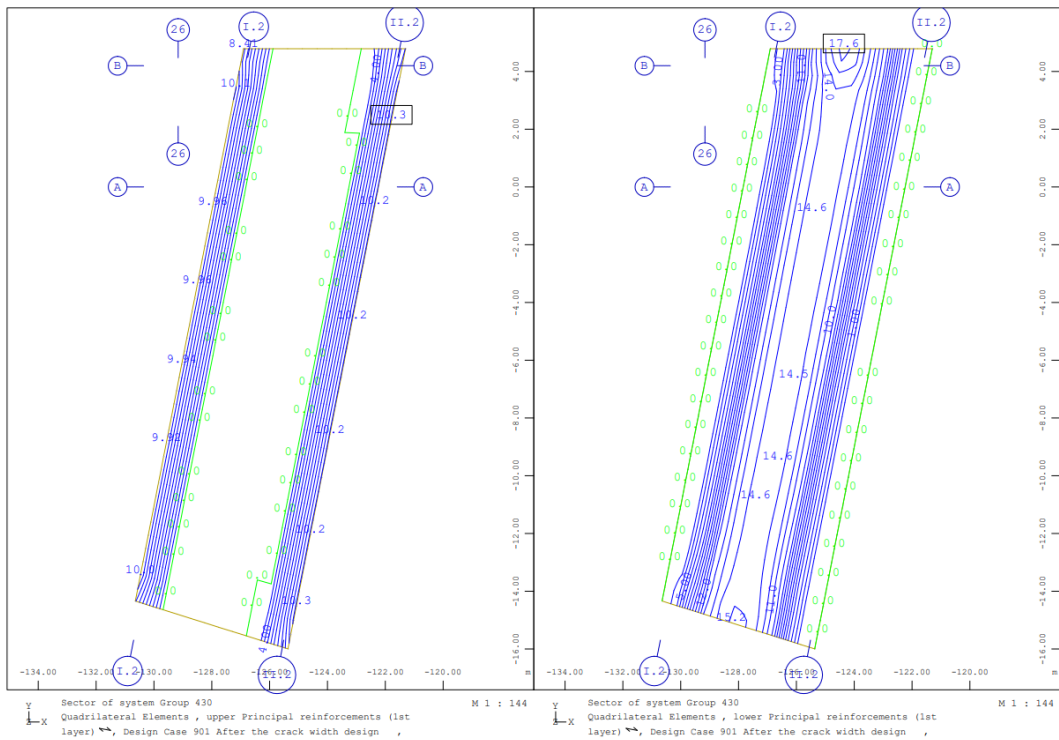


Figura 33 – Armadura principal na face superior (esq.) e inferior (dir.) – laje de cobertura – túnel - ELS

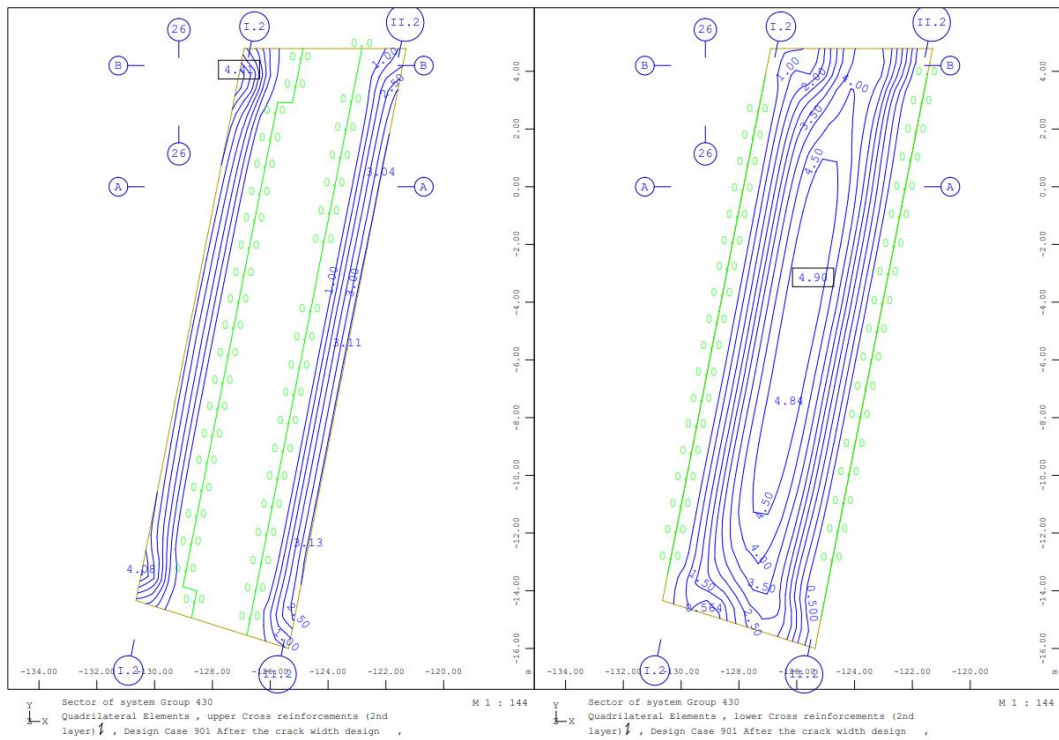


Figura 34 – Armadura secundária na face superior (esq.) e inferior (dir.) – laje de cobertura – túnel - ELS

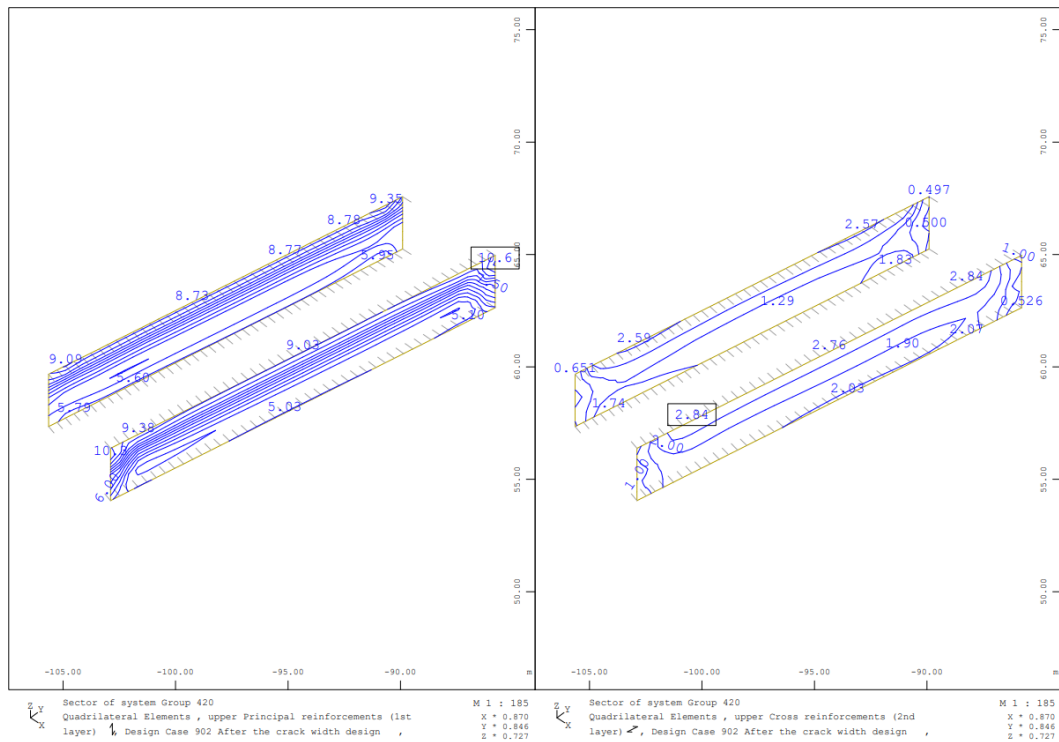


Figura 35 – Armadura na face exterior - vertical (esq.) e horizontal (dir.) – muros – túnel - ELS

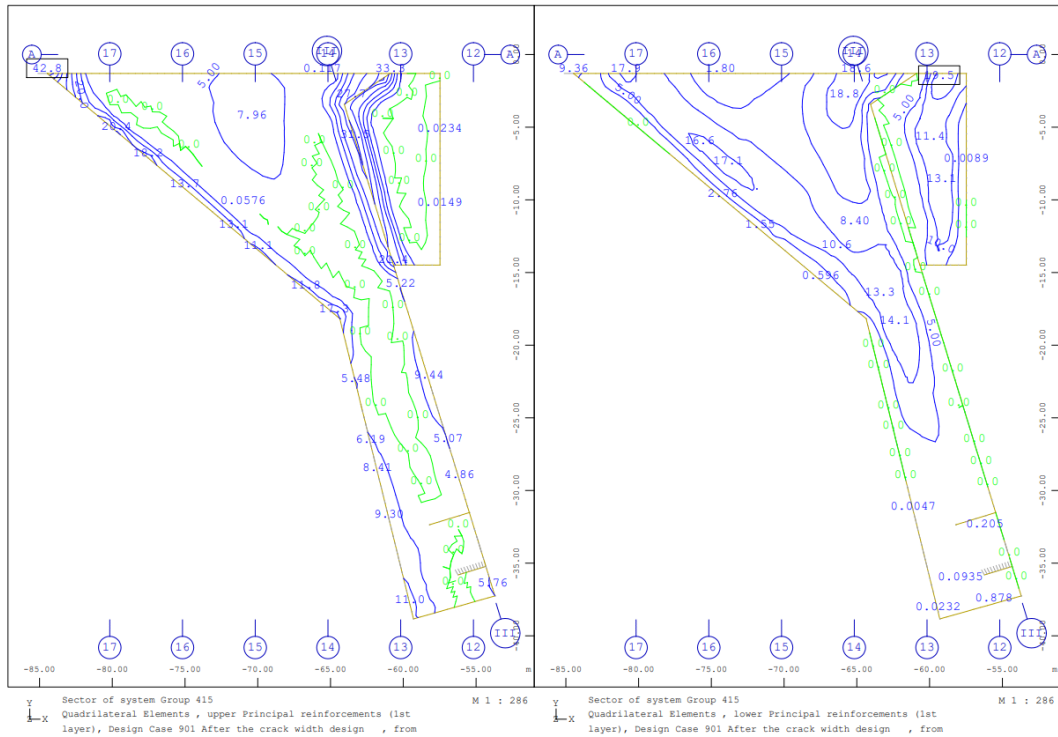


Figura 36 – Armadura principal na face inferior (esq.) e superior (dir.) – laje de fundação – acesso Sul - ELS

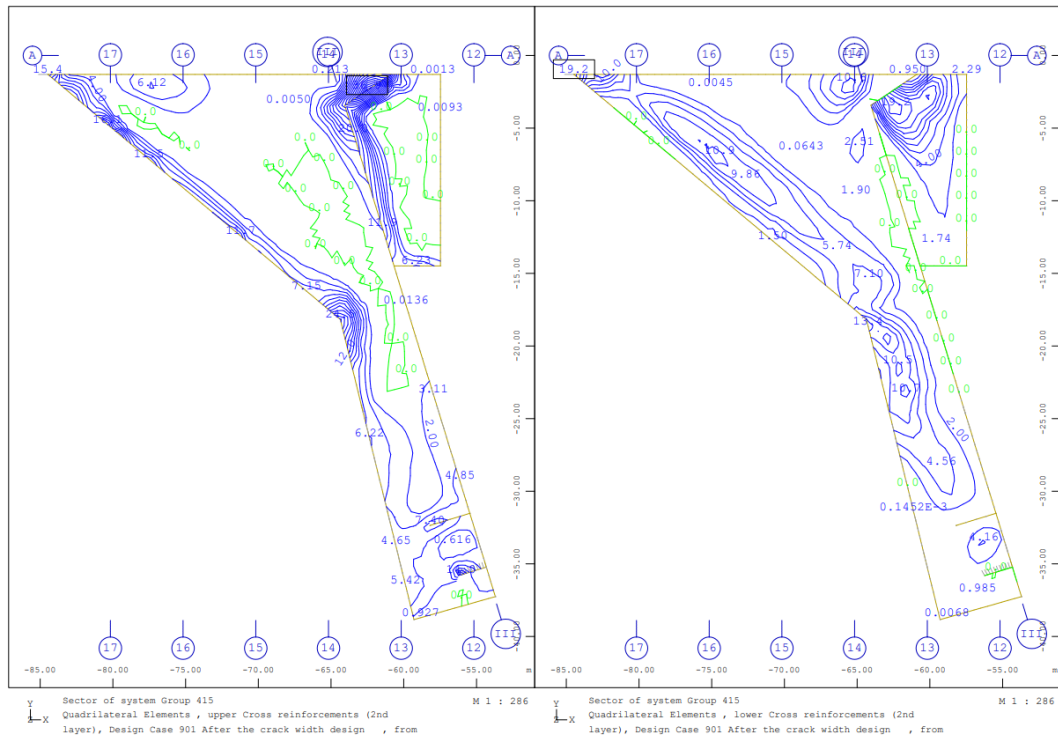


Figura 37 – Armadura secundária na face inferior (esq.) e superior (dir.) – laje de fundação – acesso Sul - ELS

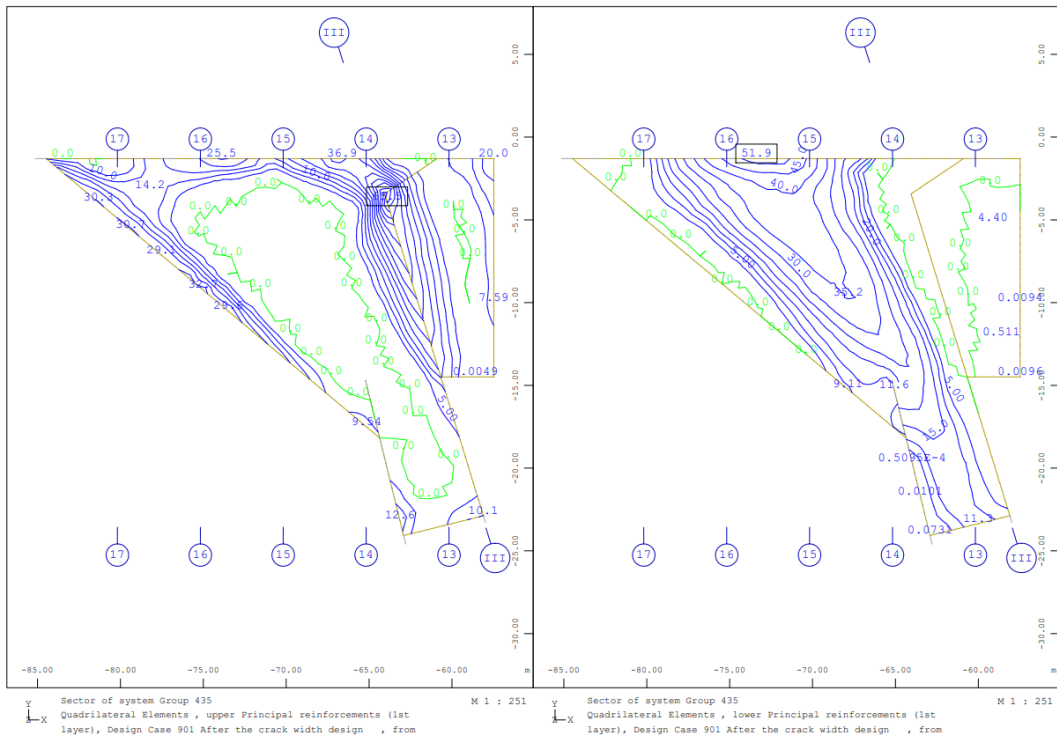


Figura 38 – Armadura principal na face superior (esq.) e inferior (dir.) – laje de cobertura – acesso Sul - ELS

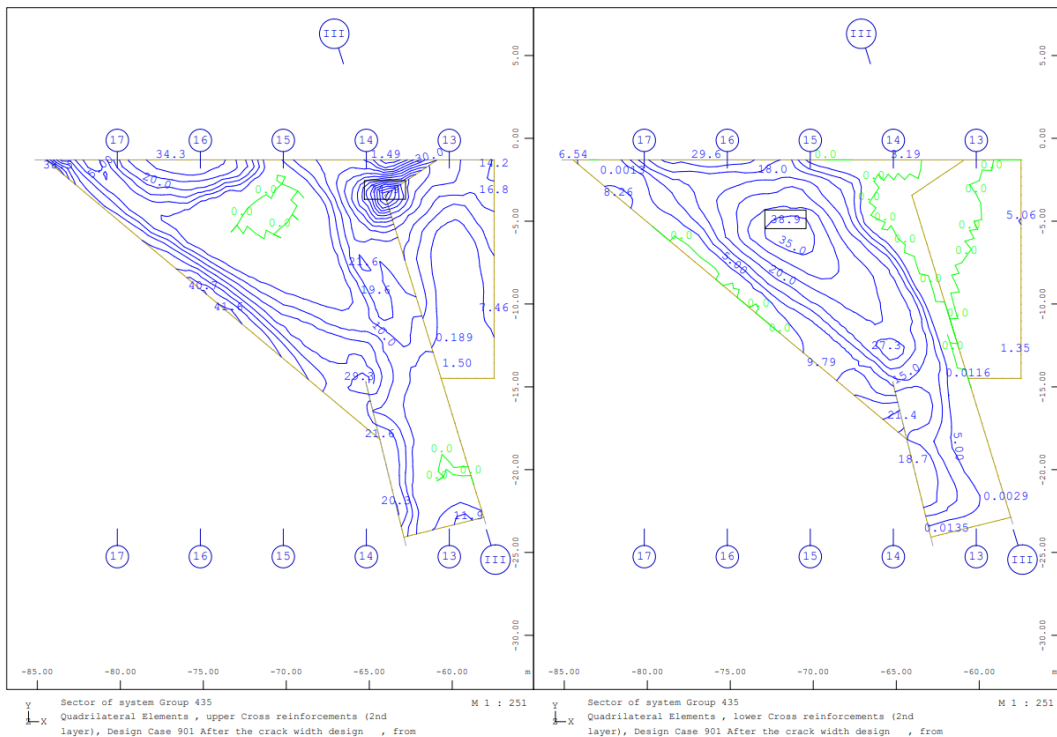


Figura 39 – Armadura secundária na face superior (esq.) e inferior (dir.) – laje de cobertura – acesso Sul – ELS

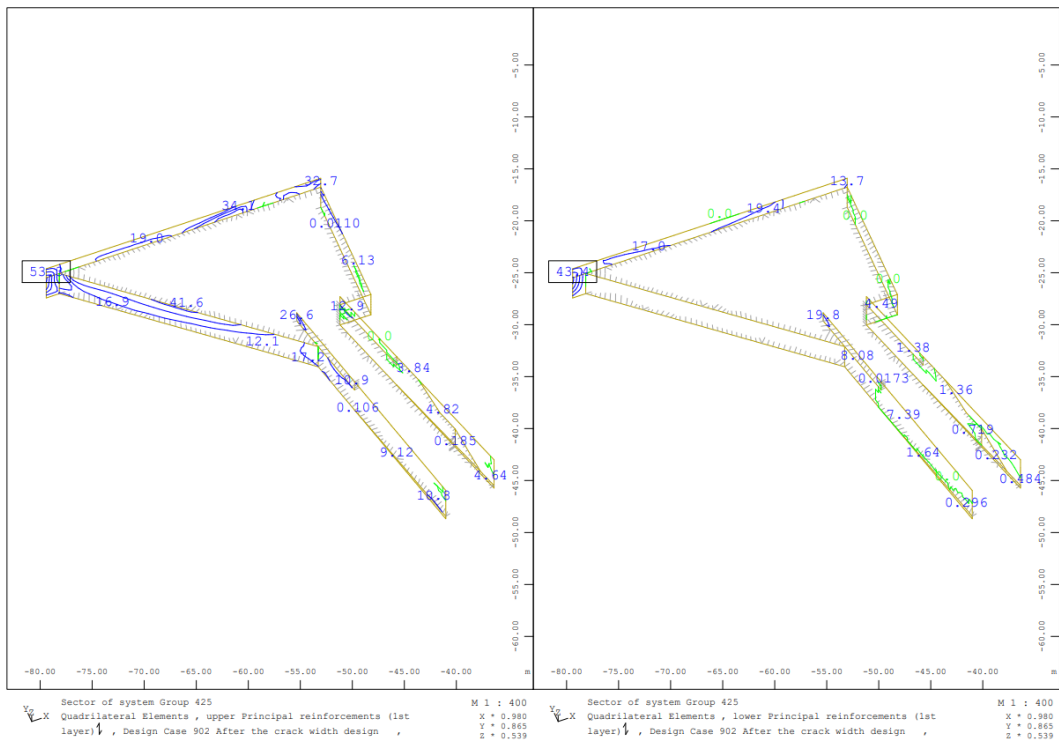


Figura 40 – Armadura vertical na face exterior (esq.) e interior (dir.) – muros – acesso Sul - ELS

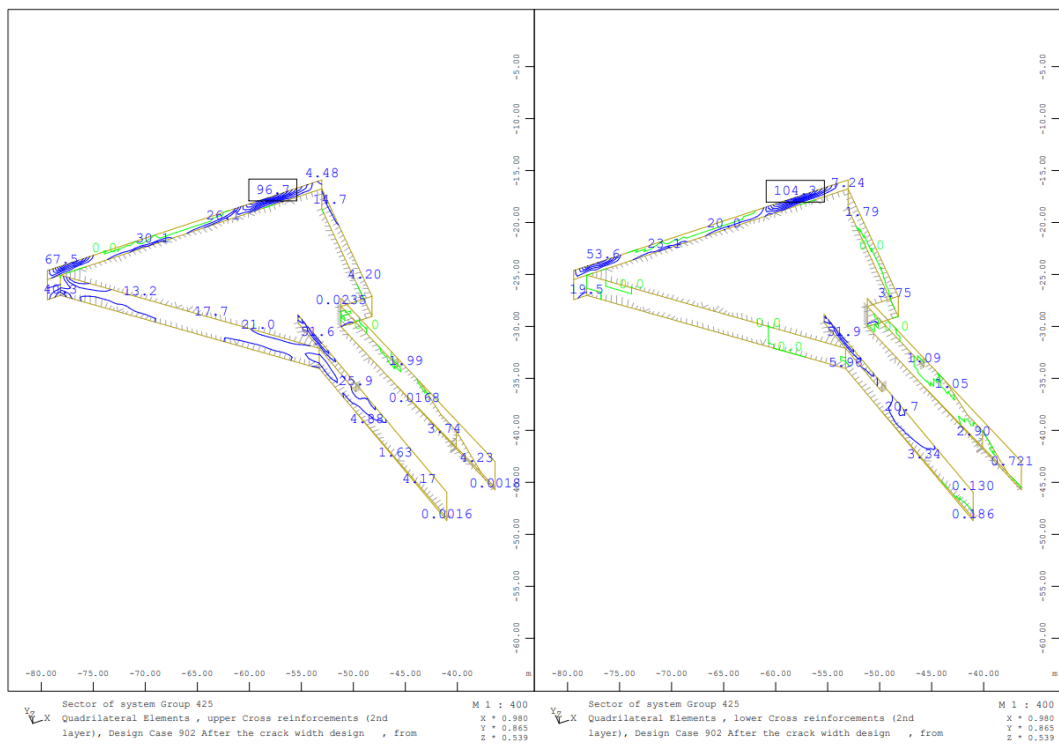


Figura 41 – Armadura horizontal na face exterior (esq.) e interior (dir.) – muros – acesso Sul - ELS

2.4.2.2 Estado limite de serviço de Deformação

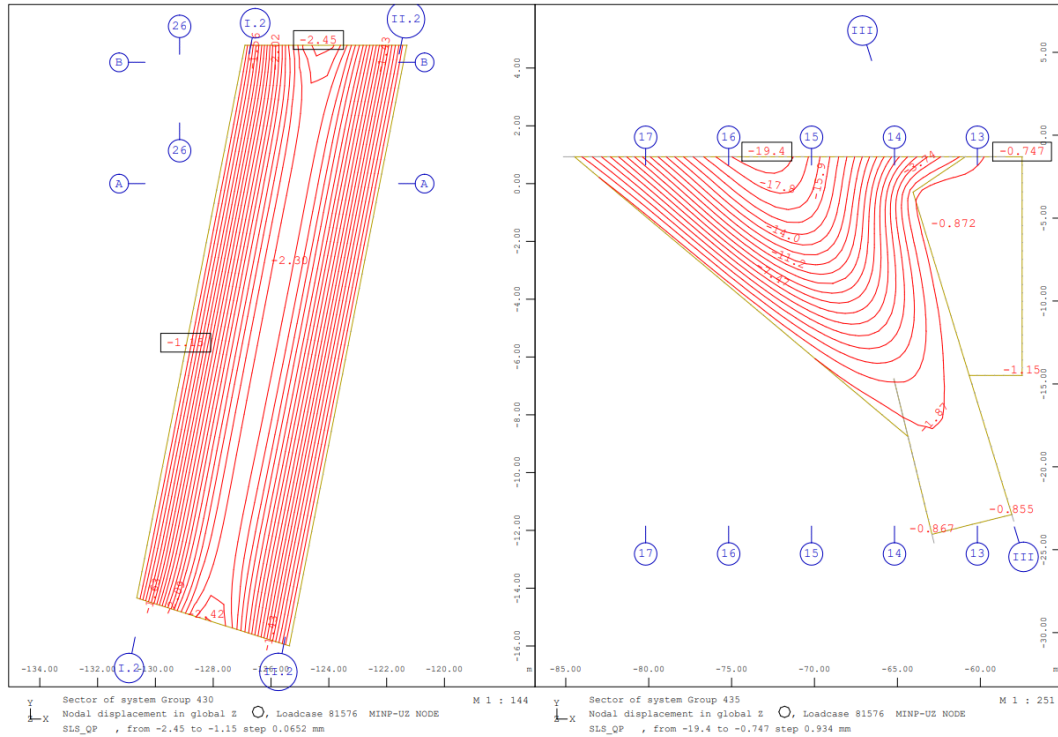


Figura 42 – Deformada vertical em z-global – lajes de cobertura – túnel e acesso Sul – ELS quase-permanente

Laje de cobertura - túnel: $L \approx 5.0 \text{ m}$

Deformada elástica máxima: $\delta_z \approx (2.45 - 1.45) = 1.0 \text{ mm}$

Deformada a longo-prazo: $\delta_{z,\infty} \approx 1.0 \times (1 + 2.5) = 3.5 \text{ mm}$

Deformada admissível: $\delta_{adm} = L/250 = 5000/250 = 20 \text{ mm} > 3.5 \text{ mm} \rightarrow \text{ok}$

Laje de cobertura – acesso Sul: $L \approx 22.5 \text{ m}$

Deformada elástica máxima: $\delta_z \approx (19.4 - 3.75) \approx 15.7 \text{ mm}$

Deformada a longo-prazo: $\delta_{z,\infty} \approx 15.7 \times (1 + 2.5) \approx 55 \text{ mm}$

Deformada admissível: $\delta_{adm} = L/250 = 22500/250 = 90 \text{ mm} > 55 \text{ mm} \rightarrow \text{ok}$

2.4.3 Áreas técnicas e Acessos Norte

2.4.3.1 Estado limite de serviço de Abertura de Fendas

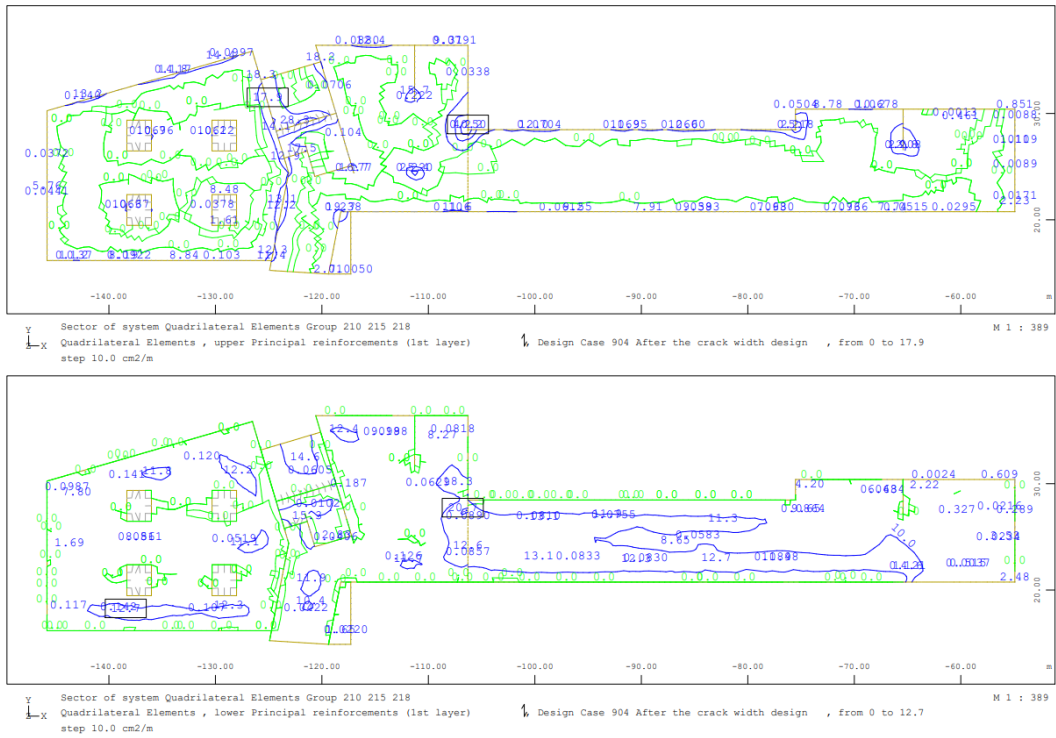


Figura 43 – Armadura principal na face inferior (sup.) e superior (inf.) – laje de fundação – acesso Norte - ELS

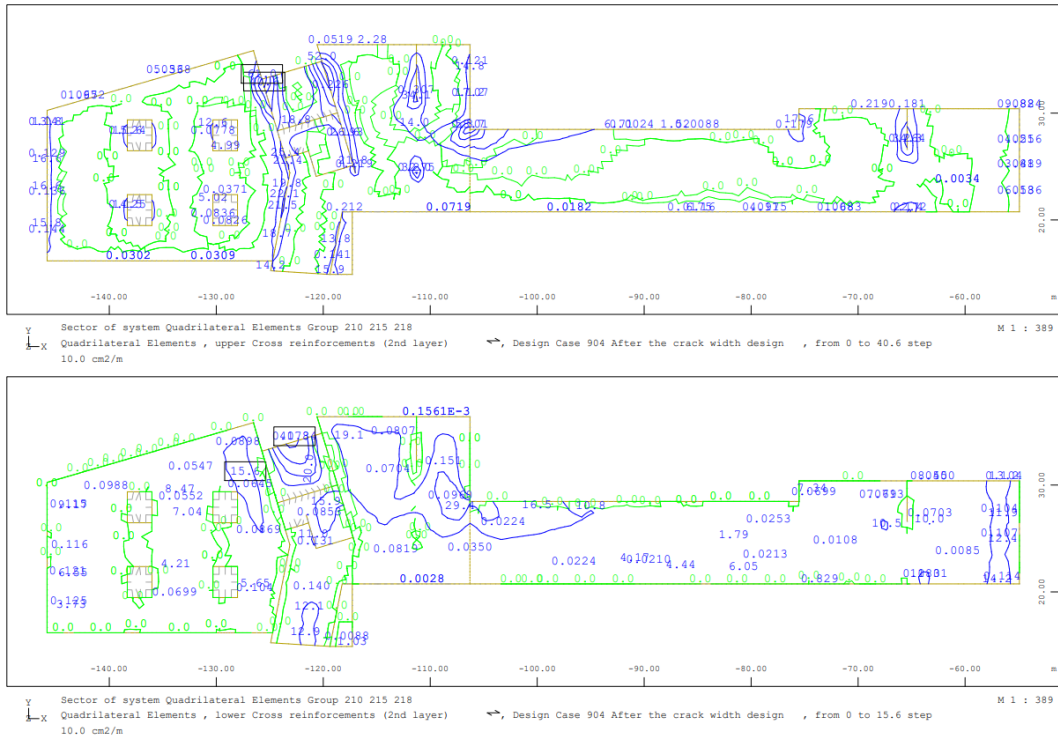


Figura 44 – Armadura secundária na face inferior (sup.) e superior (inf.) – laje de fundação – acesso Norte - ELS

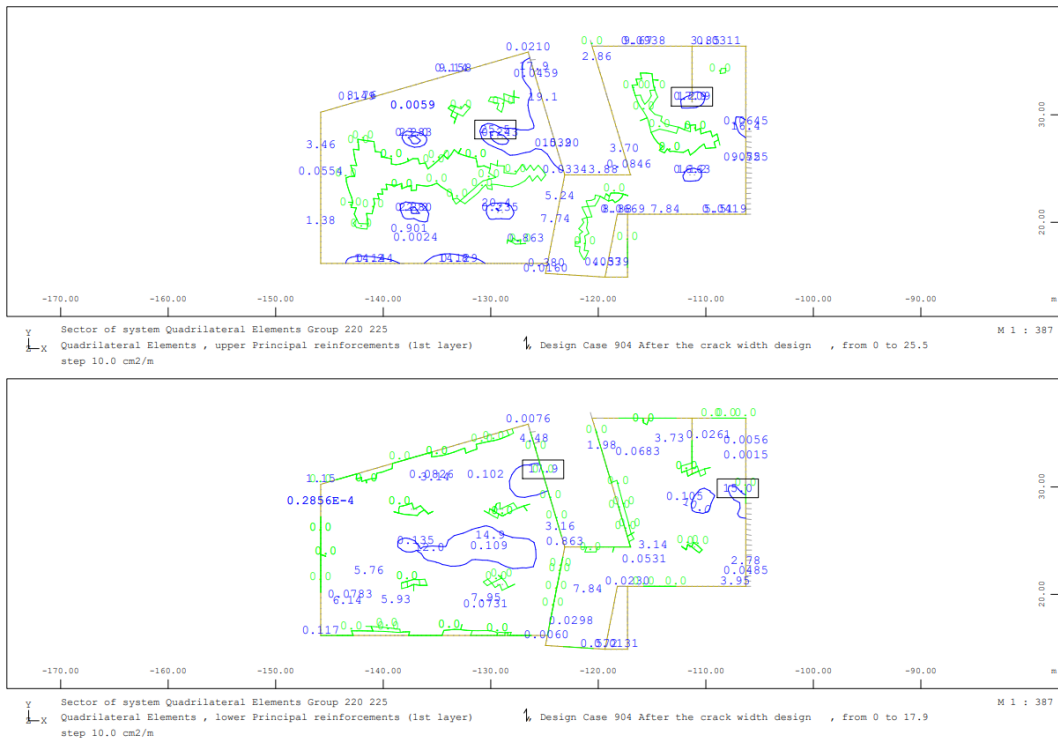


Figura 45 – Armadura principal na face superior (sup.) e inferior (inf.) – laje intermédia – acesso Norte - ELS

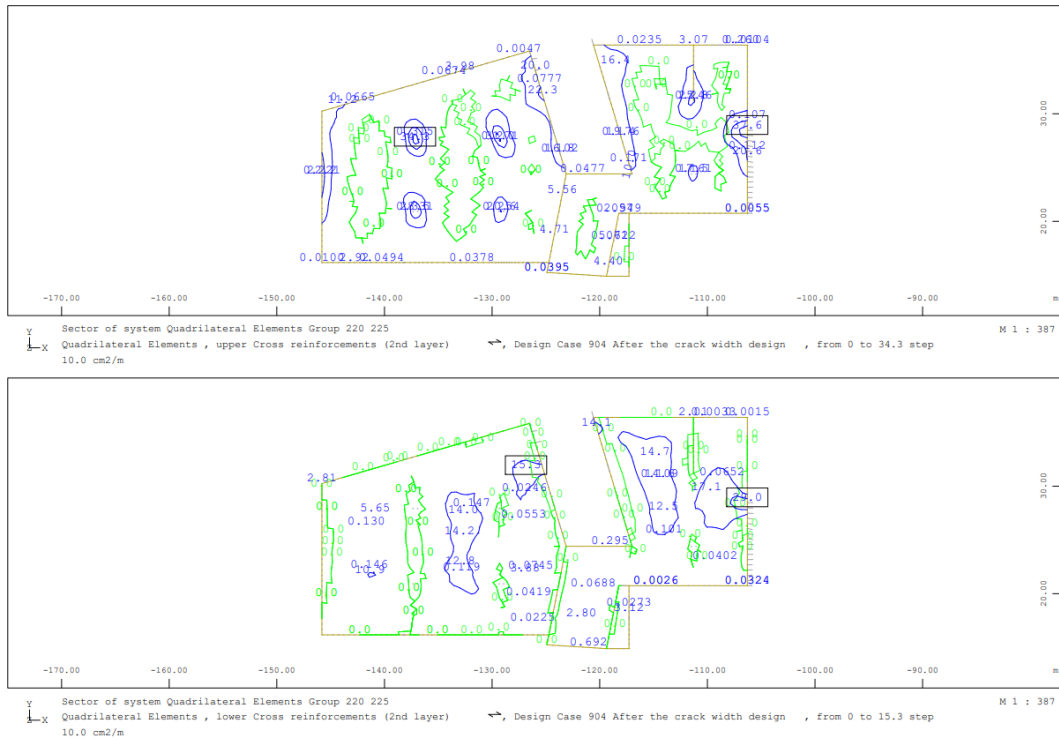


Figura 46 – Armadura secundária na face superior (sup.) e inferior (inf.) – laje intermédia – acesso Norte - ELS

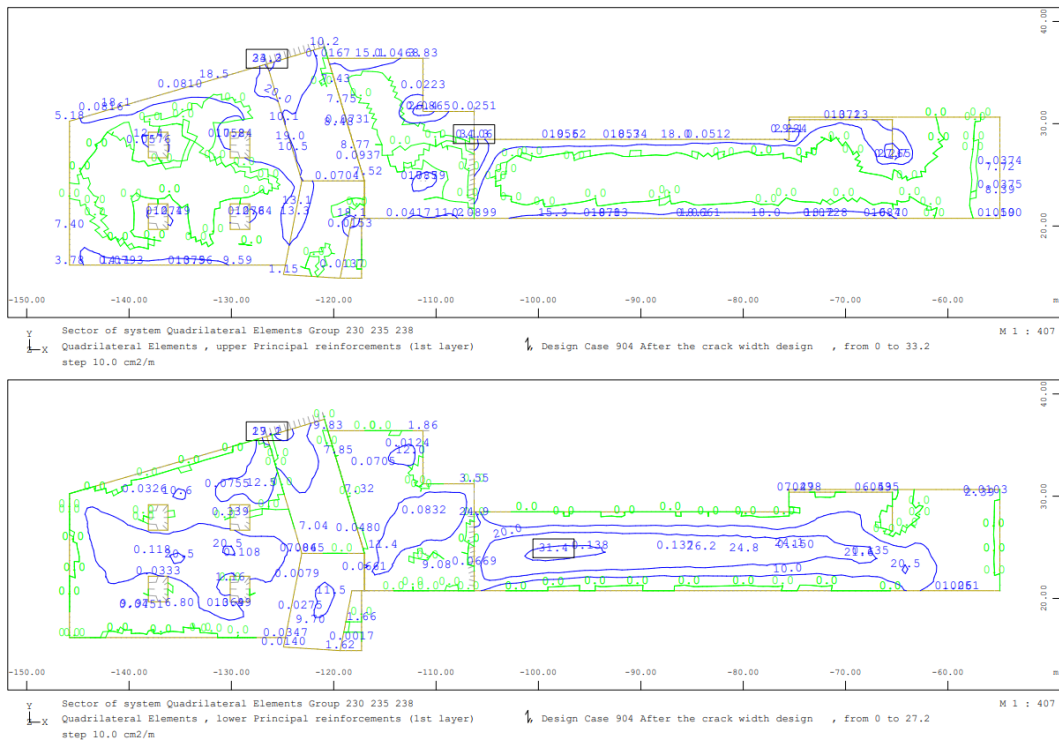


Figura 47 – Armadura principal na face superior (sup.) e inferior (inf.) – laje de cobertura – acesso Norte - ELS

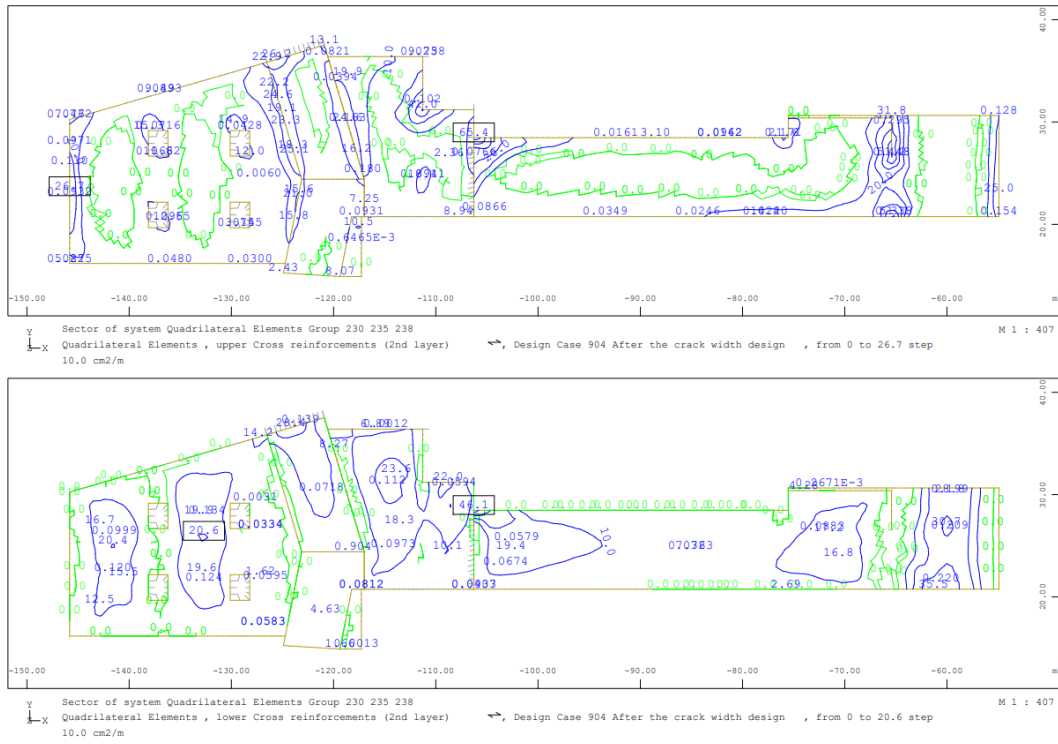


Figura 48 – Armadura secundária na face superior (sup.) e inferior (inf.) – laje de cobertura – acesso Norte - ELS

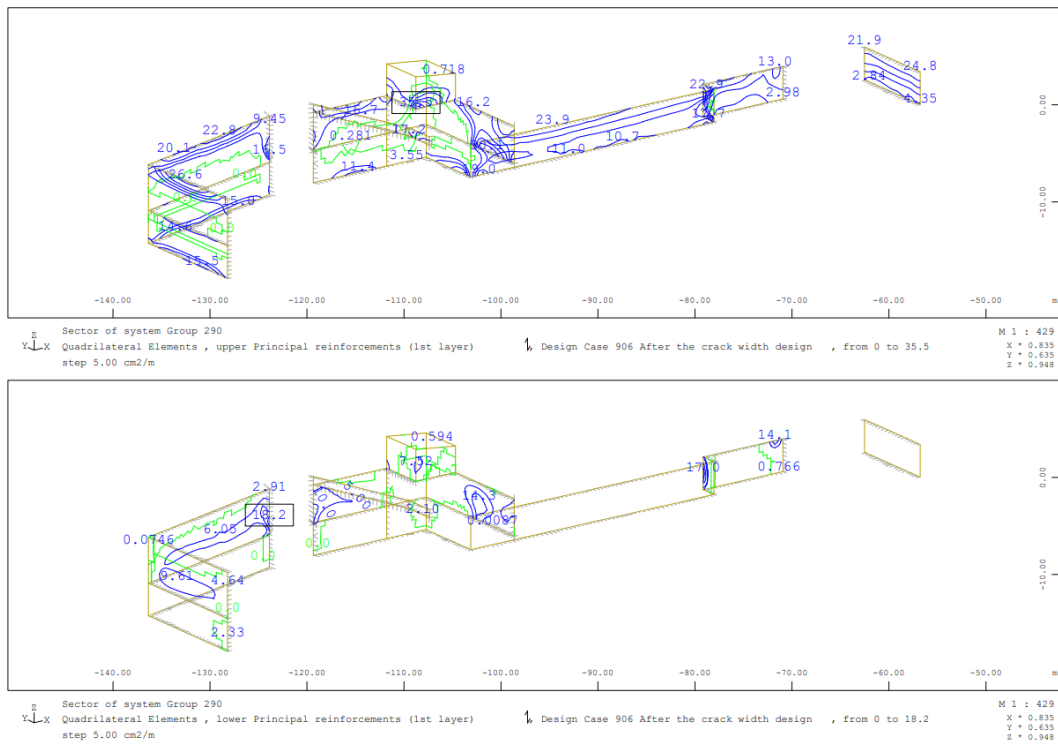


Figura 49 – Armadura vertical na face exterior (sup.) e interior (inf.) – muros – acesso Norte – ELS

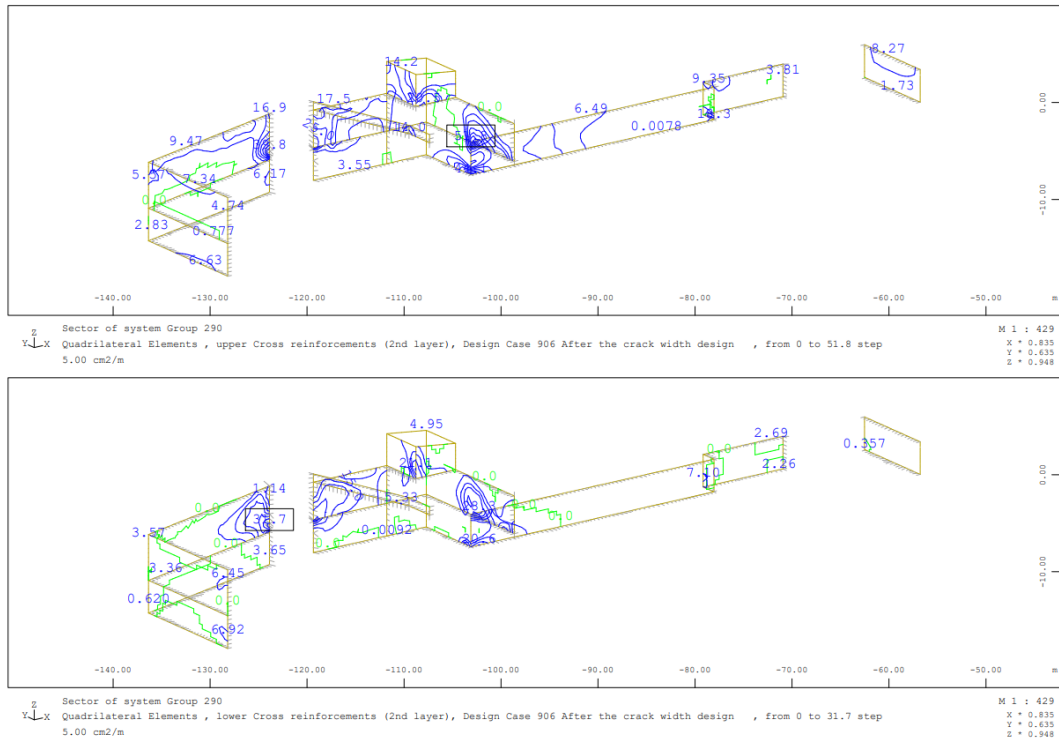


Figura 50 – Armadura horizontal na face exterior (sup.) e interior (inf.) – muros – acesso Norte - ELS

2.4.3.2 Estado limite de serviço de Deformação

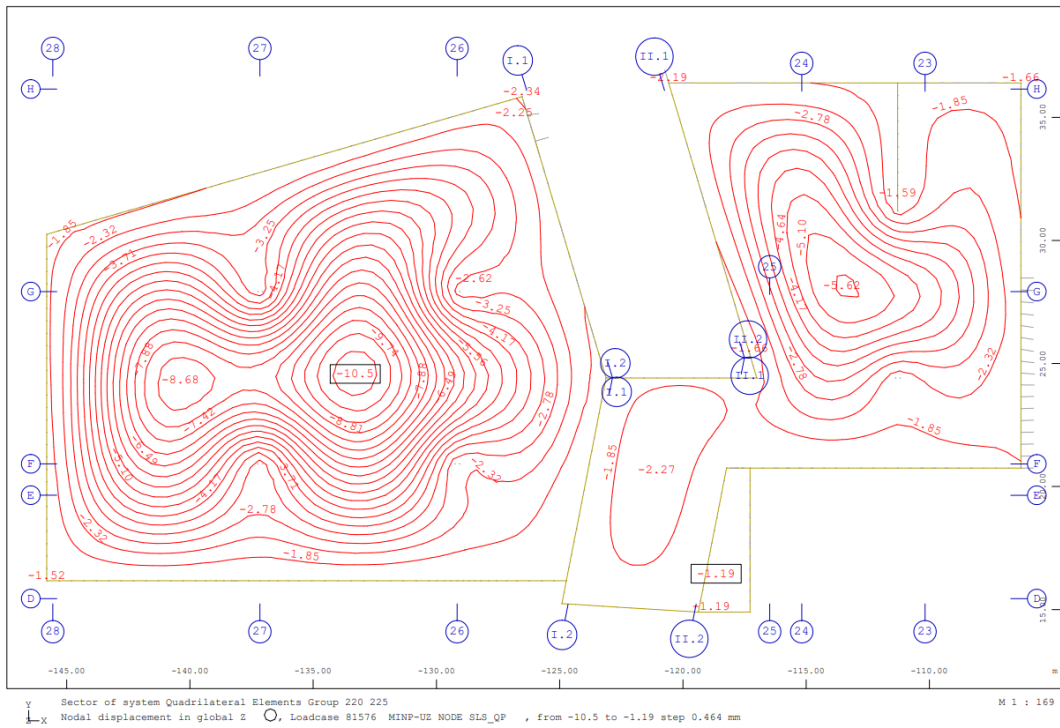


Figura 51 – Deformada vertical em z-global – lajes intermédias– acesso Norte – ELS quase-permanente

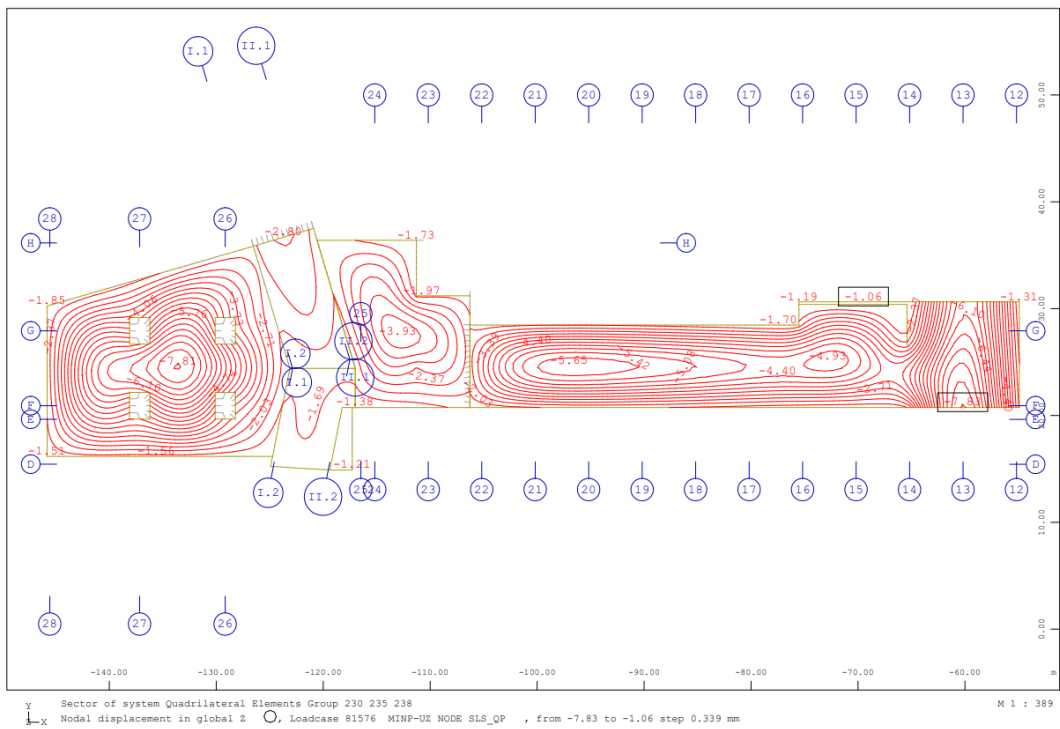


Figura 52 – Deformada vertical em z-global – lajes de cobertura – acesso Norte – ELS quase-permanente

Lajes intermédias – área técnica ML: $L \approx 9.0$ m

Deformada elástica máxima: $\delta_z \approx (10.5-1.8) = 8.7$ mm

Deformada a longo-prazo: $\delta_{z,\infty} \approx 8.7 \times (1+2.5) = 30.5$ mm

Deformada admissível: $\delta_{adm} = L/250 = 9000/250 = 36$ mm > 30.5 mm → ok

Laje de cobertura – acesso Norte: $L \approx 6.70$ m

Deformada elástica máxima: $\delta_z \approx (5.65 - 1.70) \approx 3.95$ mm

Deformada a longo-prazo: $\delta_{z,\infty} \approx 3.95 \times (1+2.5) \approx 14.0$ mm

Deformada admissível: $\delta_{adm} = L/250 = 6700/250 = 26.8$ mm > 14.0 mm → ok

2.4.4 Fachadas do corpo da Estação

2.4.4.1 Estado limite de serviço de Abertura de Fendas

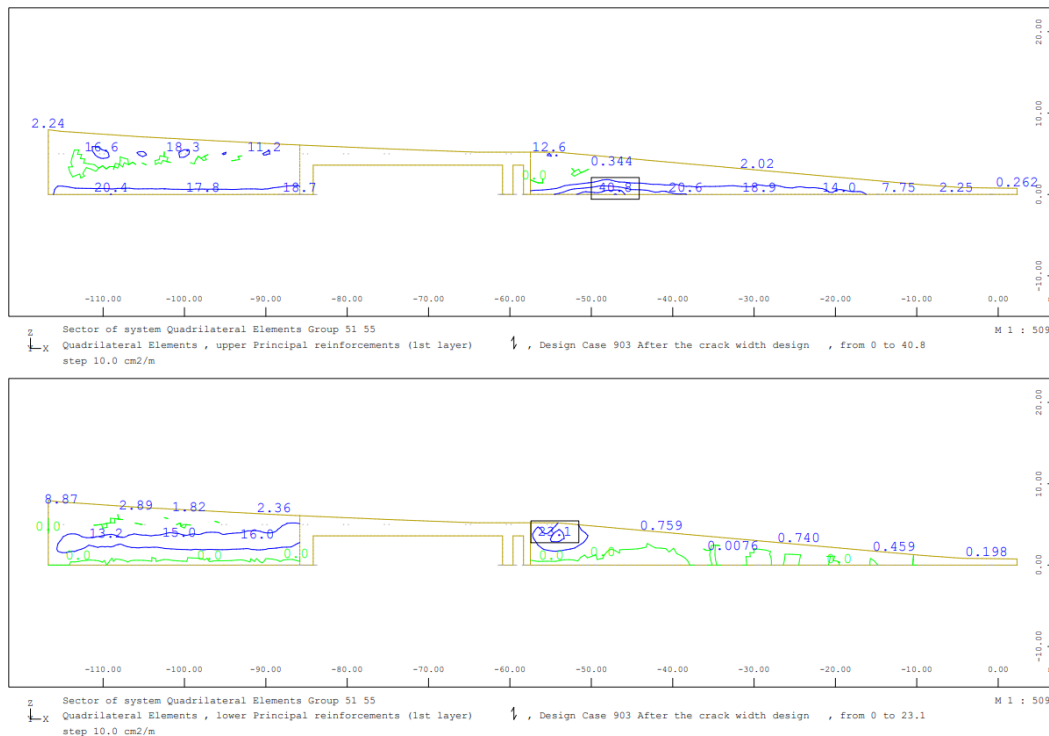


Figura 53 – Armadura vertical na face exterior (sup.) e interior (inf.) – fachada Sul da Estação - ELS

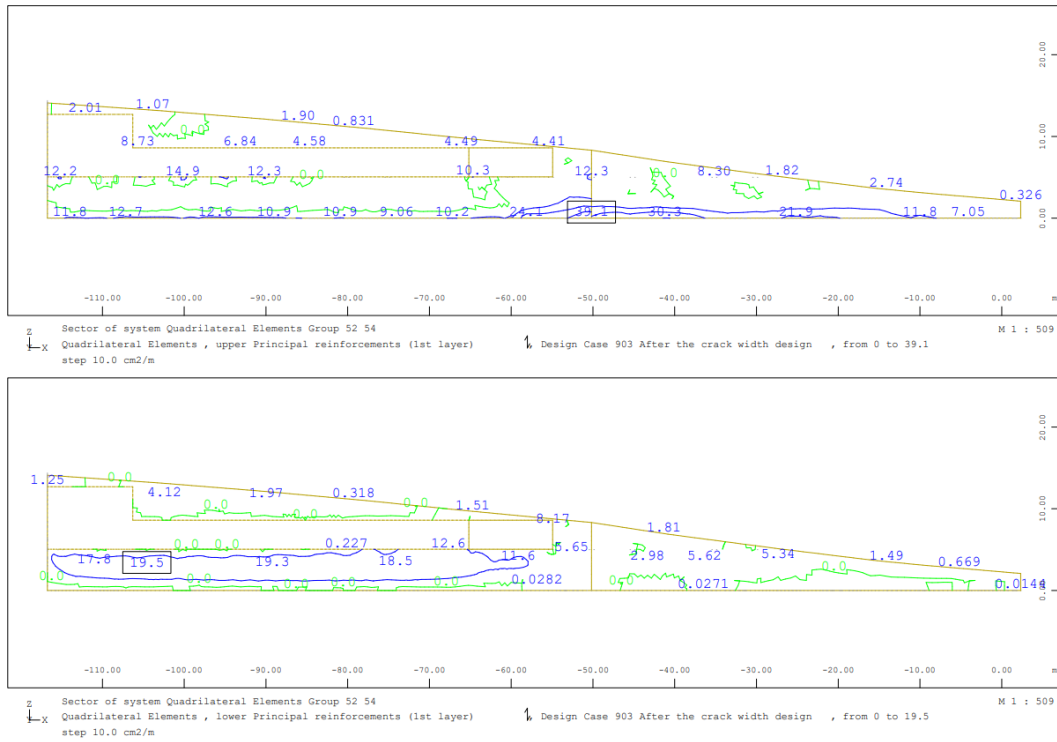


Figura 54 – Armadura vertical na face exterior (sup.) e interior (inf.) – fachada Norte da Estação - ELS

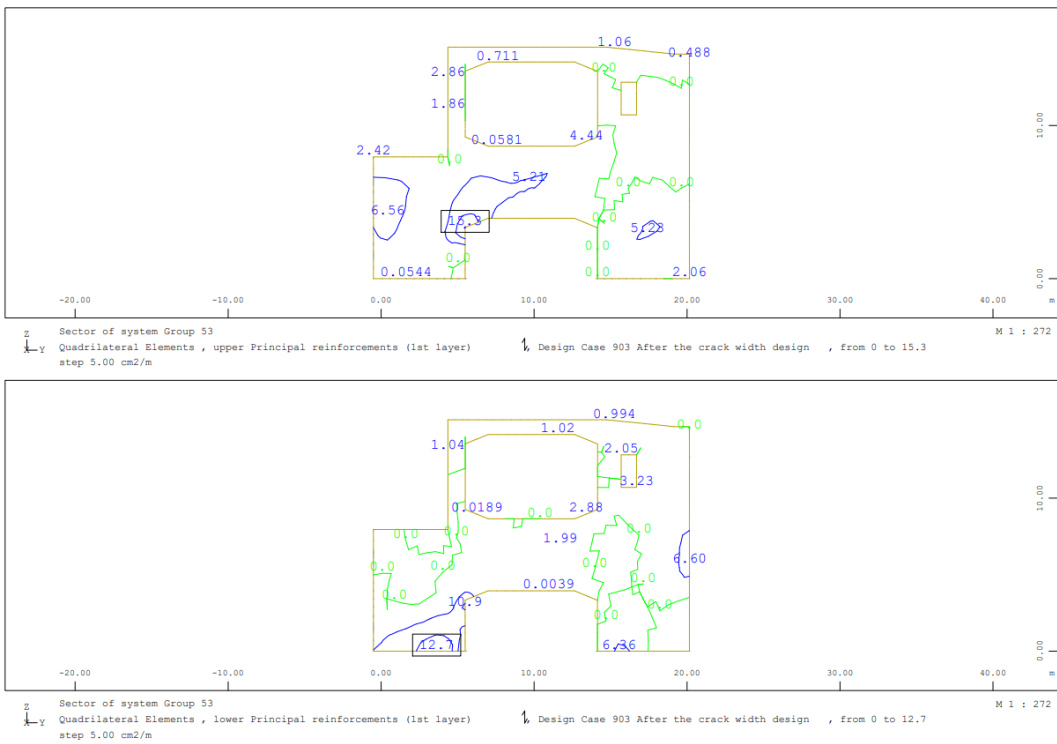


Figura 55 – Armadura vertical na face exterior (sup.) e interior (inf.) – fachada Oeste da Estação - ELS

2.4.5 Resumo das armaduras necessárias/ consideradas

As tabelas seguintes apresentam o resumo das armaduras necessárias obtidas dos gráficos de armaduras apresentados nos capítulos anteriores assim como as armaduras consideradas para cada direcção, sentido e elemento. Nesta fase do estudo procurou-se uma pormenorização generalizada para cada elemento que garantisse simultaneamente a segurança ao ELU e ELS não tendo sido realizadas optimizações. Do mesmo modo, na avaliação das armaduras necessárias foram apenas tidas em consideração as zonas correntes dos elementos, tendo sido, regra geral, descartadas as zonas angulosas, de encontro de vários elementos verticais, imediações de aberturas em alçado ou planta, etc., uma vez que estas são áreas de concentração de esforços e, consequentemente, sujeitas a reforços de armadura.

No caso dos muros, as armaduras secundárias, dispostas horizontalmente no sentido longitudinal dos elementos, foram obtidas tendo por base o princípio do controlo da retracção de acordo com a formulação do CIRIA C660.

Tabela 8 – Armadura necessária vs considerada para cada elemento, direcção e sentido – túnel de acesso Sul

estrutura	elemento	face / direcção	arm. nec. ELU [cm ² /m]	arm. nec. ELS [cm ² /m]	diametro	esp. [m]	área [cm ² /m]
túnel de acesso à Rua Quinta do Jacinto	laje de fundação	inferior - principal	4,0	7,0	16	0,15	13,4
		superior - principal	7,5	12,4	16	0,15	13,4
		inferior - secundária	1,8	3,3	16	0,15	13,4
		superior - secundária	1,8	3,7	16	0,15	13,4
	laje de cobertura	inferior - principal	11,3	14,5	20	0,15	20,9
		superior - principal	6,4	10,3	16	0,15	13,4
		inferior - secundária	2,5	4,9	16	0,15	13,4
		superior - secundária	2,5	4,4	16	0,15	13,4
	muros exteriores	exterior - vertical	5,7	9,5	16	0,15	13,4
		exterior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1
		interior - vertical	0,0	0,0	16	0,20	10,1
		interior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1

Tabela 9 – Armadura necessária vs considerada para cada elemento, direcção e sentido – acesso Sul (LIOS)

estrutura	elemento	face / direcção	arm. nec. ELU [cm ² /m]	arm. nec. ELS [cm ² /m]	diametro	esp. [m]	área [cm ² /m]
acesso Sul (LIOS)	laje de fundação	inferior - principal	30,0	31,4	20	0,10	31,4
		superior - principal	14,0	18,8	20	0,10	31,4
		inferior - secundária	25,0	25,0	20	0,10	31,4
		superior - secundária	12,9	19,0	20	0,10	31,4
	laje de cobertura	inferior - principal	35,0	40,0	25	0,10	49,1
		superior - principal	40,0	40,0	25	0,10	49,1
		inferior - secundária	25,4	38,9	25	0,10	49,1
		superior - secundária	40,0	40,0	25	0,10	49,1
	muros exteriores	exterior - vertical	37,0	41,0	25	0,10	49,1
		exterior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1
		interior - vertical	13,0	19,0	16	0,10	20,1
		interior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1

Tabela 10 - Armadura necessária vs considerada para cada elemento, direcção e sentido – núcleo Norte (AT + acessos)

estrutura	elemento	face / direcção	arm. nec. ELU [cm ² /m]	arm. nec. ELS [cm ² /m]	diâmetro	esp. [m]	área [cm ² /m]
núcleo Norte (zonas técnicas + acessos)	laje de fundação	inferior - principal	33,5	28,0	25	0,10	49,1
		superior - principal	28,5	20,7	20	0,10	31,4
		inferior - secundária	35,0	40,0	25	0,10	49,1
		superior - secundária	35,0	20,0	25	0,10	49,1
	laje intermédia	inferior - principal	19,6	18,0	20	0,10	31,4
		superior - principal	28,0	25,5	20	0,10	31,4
		inferior - secundária	28,8	29,0	20	0,10	31,4
		superior - secundária	37,5	37,5	25	0,10	49,1
	laje de cobertura	inferior - principal	26,5	31,4	25	0,10	49,1
		superior - principal	33,6	33,0	25	0,10	49,1
		inferior - secundária	17,0	20,6	25	0,10	49,1
		superior - secundária	40,0	40,0	25	0,10	49,1
	muros exteriores	exterior - vertical	32,0	35,0	25	0,10	49,1
		exterior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1
		interior - vertical	15,0	20,0	25	0,20	24,5
		interior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1

Tabela 11 - Armadura necessária vs considerada – fachadas da Estação

estrutura	elemento	face / direcção	arm. nec. ELU [cm ² /m]	arm. nec. ELS [cm ² /m]	diâmetro	esp. [m]	área [cm ² /m]
fachadas da Estação	fachada Sul	exterior - vertical	30,0	30,0	20	0,10	31,4
		interior - vertical	20,0	20,0	20	0,10	31,4
		exterior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1
		interior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1
	fachada Norte	exterior - vertical	30,0	30,0	20	0,10	31,4
		interior - vertical	20,0	20,0	20	0,10	31,4
		exterior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1
		interior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1
	fachada Oeste	exterior - vertical	17,0	17,0	16	0,10	20,1
		interior - vertical	14,0	14,0	16	0,10	20,1
		exterior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1
		interior - horizontal	controlo de retracção - CIRIA C660		16	0,10	20,1

3 VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA – EST. INTERNA

3.1 Modelo de cálculo

A análise estrutural foi efectuada através do programa de cálculo automático SOFiSTiK FEA 2022; este software permite a modelação integral das várias partes do sistema e a realização de análises lineares, não lineares e dinâmicas, incluindo sísmicas por espectros resposta.

As figuras seguintes mostram a geometria do modelo de elementos finitos (FEM) utilizado.

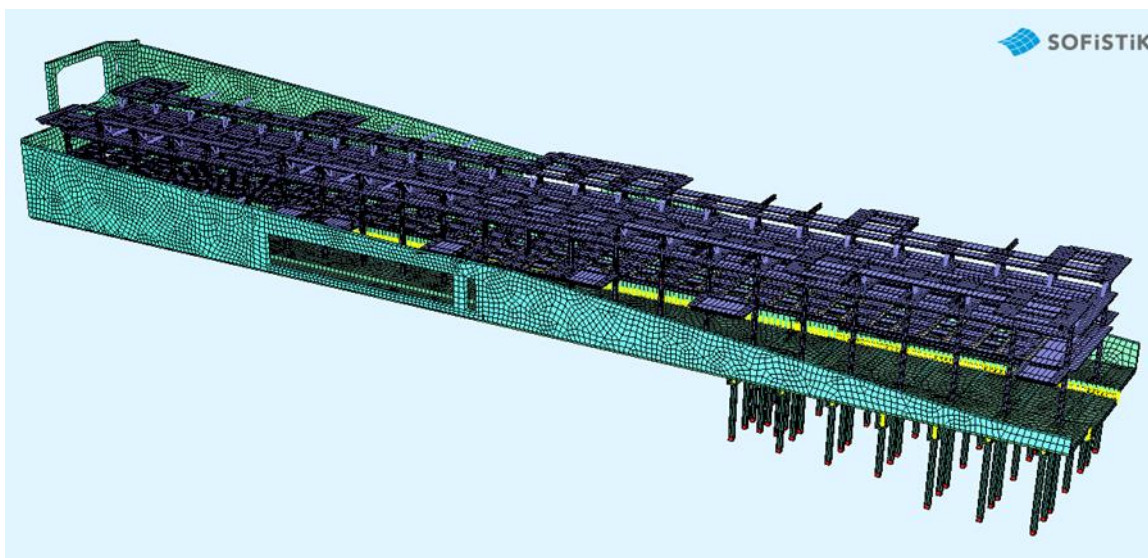


Figura 56 – Vista 3D do modelo de cálculo da estação – corpo principal e estrutura interna (vista Sul-Norte)

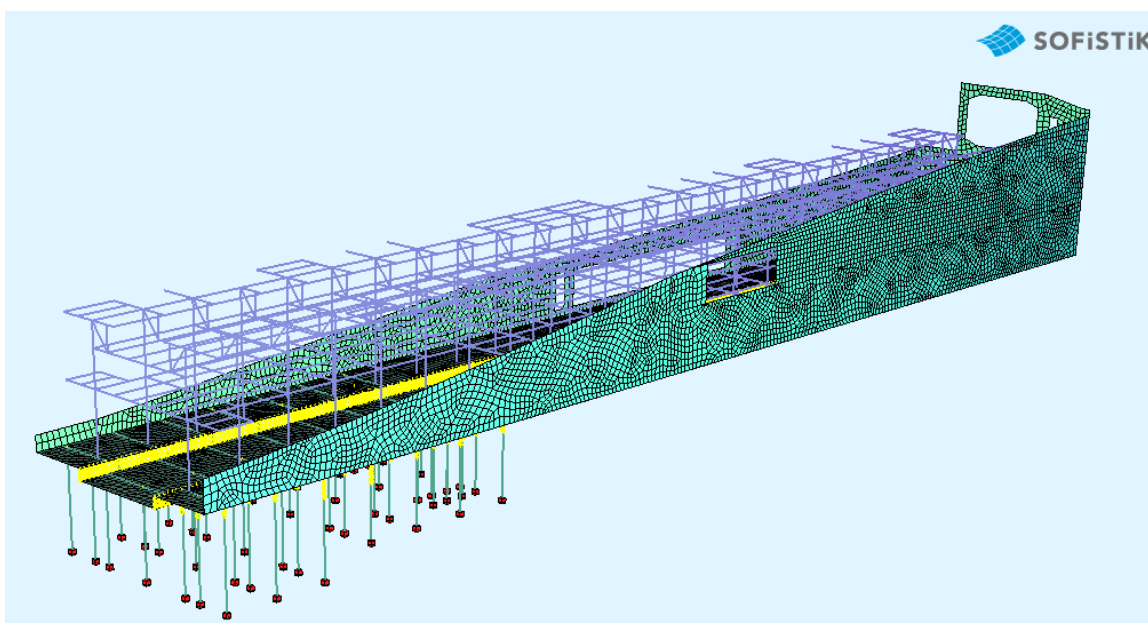


Figura 57 – Vista 3D do modelo de cálculo da estação – corpo principal e estrutura interna (vista Norte - Sul)

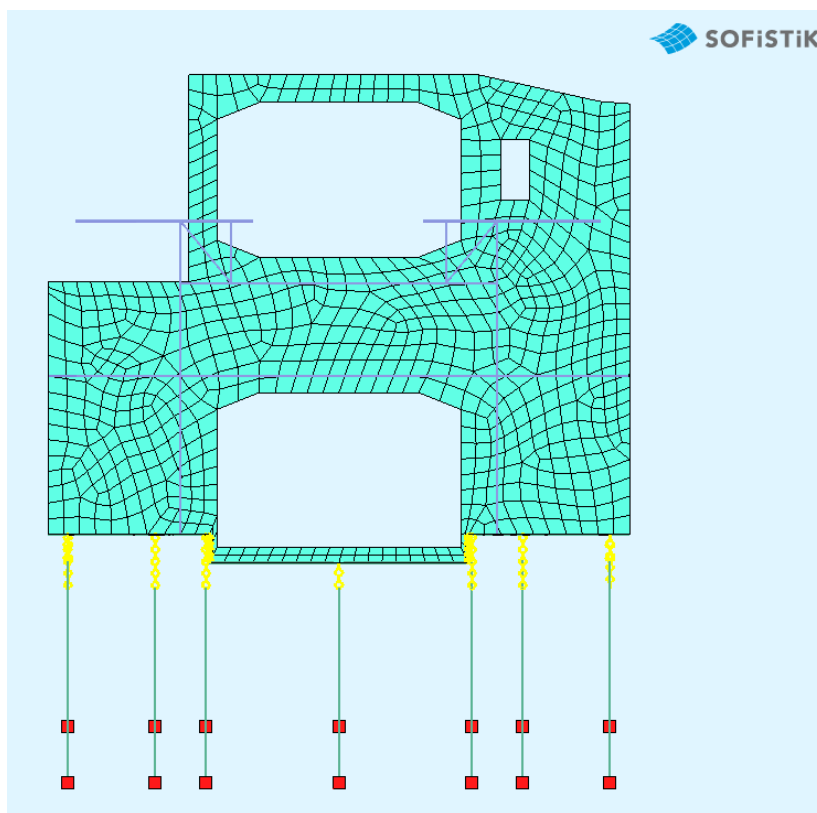


Figura 58 – Alçado Poente do modelo de cálculo da estação – fachada Poente EAL + laje de fundação e estacas

Para a determinação das solicitações nos elementos estruturais da estação foi elaborado um modelo tridimensional de elementos finitos no programa de cálculo automático SOFiSTiK SSD 2022. Este programa permite efectuar análises lineares, não lineares e dinâmicas, incluindo sísmicas por espectros resposta. As solicitações determinantes são obtidas para as combinações de acções condicionantes.

No modelo de cálculo os elementos interiores do corpo principal da estação foram modelados elementos finitos tipo barras. O pisos da estrutura interna é suportada pilares metálicos distribuidos em uma malha regular de 5.0m dispostos em dois alinhamentos.

As cargas uniformemente distribuídas são aplicadas diretamente nas barras ou em elementos fictícios de áreas que distribuem as cargas pelos elementos estruturais relevantes. A verificação dos elementos metálicos é efectuada diretamente pelo programa de cálculo de acordo com o EC3.

No modelo de cálculo são simuladas as paredes e lajes com elementos finitos de casca e os pilares e vigas com elementos finitos tipo barra. As cargas uniformemente distribuídas são aplicadas diretamente nos painéis de paredes ou laje no caso dos elementos de betão ou em elementos fictícios de distribuição de carga, no caso dos revestimentos das estruturas metálicas. As cargas do viaduto sobre a estrutura da estação são aplicadas na posição dos aparelhos de apoio sobre a viga do pórtico de transição.

As ligações dos pisos às fachadas ou às paredes de contenção são simuladas como barras biarticuladas

A verificação dos elementos metálicos é realizada diretamente pelo programa de cálculo segundo as regras do EC3. A verificação das vigas mistas é realizada segundo o EC4 através da utilização de folha de cálculo excel e o software FAGUS, considerando as solicitações obtidas do modelo de cálculo tridimensional calibrado com a adoção das características geométricas e mecânicas tendo em conta as larguras efetivas.

3.2 Verificação de Segurança aos Estados Limites Últimos (ELU)

3.2.1 Estrutura Mista

As estruturas mistas correspondem às lajes e vigas dos pisos 1, 2 Via e 2 Cais do corpo central da estação.

As lajes são colaborantes apoiadas nos perfis metálicos das vigas. Sendo imposto o escoramento das vigas metálicas durante a aplicação do betão “in-situ”, considerou-se que as vigas funcionam como mistas para a totalidade das cargas permanentes.

Considerou-se em todas as vigas, chumbadores do tipo perno de cabeça, em aço de qualidade S355 JR, de forma a poderem a ser soldados com eléctrodo aos banzos das vigas.

No piso 1, as vigas principais correspondem a perfis laminados tipo HEM300, HEA300, HEA360 nas transversais e HEA400 nas longitudinais.

No piso 2-via, as vigas principais correspondem a perfis laminados tipo HEA500 nas transversais e HEA400 nas longitudinais.

No piso 2-cais, as vigas principais correspondem a perfis laminados tipo HEA360 nas transversais e HEA300 nas longitudinais.

As vigas secundárias são perfis laminados do tipo IPE240 para piso 1 e 2-cais, sendo que para o piso 2-via foram adoptados HEA 400.

O efeito de “shear lag” foi tido em conta com a consideração de larguras efetivas para as diferentes vigas, que variam com o respetivo vão. No modelo, as larguras efetivas foram simuladas através da modelação do betão na secção mista considerada. Os efeitos diferidos no betão foram tido em conta no calculo atravez da manipulação da rigidez das secções. Esta manipulação foi efectuada para o calculo das cargas permanetes, não tendo sido efectudao para o calculo das açções variáveis.

O cálculo das larguras efetivas foi realizado de acordo com oEC4 em que se consid era: