


Memorial de Cálculo Estrutural

OAE 01 E OAE 02 – TRECHO 02 – PASSAGEM INFERIOR – ESTUDOS E PROJETOS PARA AS INTERVENÇÕES DESCRITAS COMO MEDIDAS MITIGADORAS PARA A IMPLANTAÇÃO DO PARCELAMENTO QUINHÃO 16.

Projeto Executivo de Estrutura e Fundações – OAEs 01 e 02 – Trecho 02

Maio/2022

01	Ajuste largura do tabuleiro	05/2022			
00	Emissão inicial	02/2021			
Nº	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROVO
REVISÕES					

		PROJETO <i>ESTUDOS E PROJETOS PARA AS INTERVENÇÕES DESCRITAS COMO MEDIDAS MITIGADORAS PARA A IMPLANTAÇÃO DO PARCELAMENTO QUINHÃO 16</i>	
		LOCALIZAÇÃO <i>DF-001/DF-035/DF-025/DF-027 - RA XXVII - JARDIM BOTÂNICO -DF</i>	
VISTO	DATA		
APROVO	DATA	ESPECIALIDADE/SUBESPECIALIDADE <i>Projeto executivo de estruturas e fundações – OAE01 e OAE02 – TRECHO 02</i>	
AUTOR DO DOCUMENTO / CREA/CAU <i>Rubens Andrade Rocha / CREA: 1553/D-DF</i> <i>Glauco de Oliveira Santos / CREA: 61887/D-MG</i>			
RESPONSÁVEL TÉCNICO / CREA/CAU <i>Rubens Andrade Rocha/ CREA: 1553/D-DF</i> <i>Glauco de Oliveira Santos / CREA: 61887/D-MG</i>			
ETAPA DE PROJETO	TIPO/ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO		DATA
PROJETO EXECUTIVO	MEMÓRIA DE CÁLCULO		<i>Maio/2021</i>
	CODIFICAÇÃO		REVISÃO R01

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	NORMAS, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	3
3.	GEOMETRIA E MODELO ESTRUTURAL	5
4.	PARÂMETROS / MATERIAIS	10
5.	CARGAS ATUANTES	11
5.1.	CARGAS PERMANENTES:	11
5.1.1.	PESO PRÓPRIO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS - Tabuleiro, encontros, contrafortes, lajes de aproximação e cintas - (PP): — Cálculo Automático pelo programa.	11
5.1.2.	GUARDA-RODAS (GR): — 0,464 m ² x 25 kN/m ³ = 11,6 kN/m..	11
5.1.3.	REVESTIMENTO (REV): — 0,05 m x 22 kN/m ³ = 1,1 kN/m ²	12
5.1.4.	RECAPEAMENTO (REC): — 2 kN/m ² (NBR 7187:2003 – Item 7.1.2)	12
5.1.5.	RETRAÇÃO (RE):	13
5.1.6.	EMPUXOS DE TERRA (EMP):	13
5.2.	CARGAS VARIÁVEIS:	17
5.2.1.	CARGAS MÓVEIS + IMPACTO (TB45 + MULT):.....	17
5.2.2.	FRENAGEM E ACELERAÇÃO (FREN):.....	20
5.2.3.	FORÇA CENTRÍFUGA (FC):	21
5.2.4.	CARGA DE VENTO (VENTO):.....	22
5.2.5.	TEMPERATURA (TEMP1 / TEMP2):	24
5.2.6.	CARGA DE IMPACTO EM BARREIRAS (IB):.....	25
5.2.7.	SOBRECARGA NAS CINTAS – PISTA INFERIOR (SC):.....	26
6.	COMBINAÇÕES DE CARGAS	27
7.	DIAGRAMAS DE ESFORÇOS E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL.....	29
7.1.	DIAGRAMAS DE ESFORÇOS DO TABULEIRO – ELU:.....	29
7.2.	DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO – ELU:	34
7.2.1.	DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO AO MOMENTO FLETOR:	34
7.2.2.	DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO AO ESFORÇO CORTANTE:	36
7.3.	GUARDA-RODAS.....	38
7.4.	ESTADOS LIMITES DE ABERTURA DE FISSURAS / FADIGA:.....	39
7.4.1.	VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE ÚLTIMO DE FADIGA.....	43
7.4.2.	VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE FISSURAÇÃO (ABERTURA DE FISSURA) 46	46

7.5.	ESTADO LIMITE DE DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS:.....	51
7.6.	CONTRA-FLECHA:	53
7.7.	DIAGRAMAS DE ESFORÇOS DOS MUROS ALA – ELU:	55
7.8.	DIMENSIONAMENTO DOS MUROS ALA – ELU:.....	63
7.8.1.	DIMENSIONAMENTO DOS MUROS ALA AO MOMENTO FLETOR:	63
7.8.2.	DIMENSIONAMENTO DOS MUROS ALA AO ESFORÇO CORTANTE - ELU: 67	
8.	VERIFICAÇÃO – ESTACAS.....	70
8.1.	ESTACAS: DETERMINAÇÃO TEÓRICA DA CAPACIDADE DE CARGA.....	70

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 3.1 – Locação das Fundações</i>	5
<i>Figura 3.2 – Locação do Tabuleiro – Superior</i>	5
<i>Figura 3.3 – Corte A – Desenvolvido</i>	6
<i>Figura 3.4 – Corte B – Muro Ala 01</i>	6
<i>Figura 3.5 – Corte C – Muro Ala 02</i>	7
<i>Figura 3.6 – Corte D, Detalhes 01 e 02</i>	7
<i>Figura 3.7 – Modelo computacional completo (trechos 1 e 2) – Isométrica 01</i>	8
<i>Figura 3.8 – Modelo computacional (trechos 1 e 2) – Isométrica 02</i>	8
<i>Figura 3.9 – Modelo computacional – Vista longitudinal</i>	9
<i>Figura 3.10 – Modelo computacional – Vista transversal</i>	9
<i>Figura 5.1 – Carga Peso Próprio (kN/m²)</i>	11
<i>Figura 5.2 – Carga Guarda-rodas (kN/m²)</i>	11
<i>Figura 5.3 – Carga Revestimento aplicada no tabuleiro (kN/m²)</i>	12
<i>Figura 5.4 – Carga Recapeamento aplicada no tabuleiro (kN/m²)</i>	12
<i>Figura 5.5 – Carga Retração aplicada no tabuleiro (RE = -15°C)</i>	13
<i>Figura 5.6 – Espraiamento de carga a 45°</i>	15
<i>Figura 5.7 – Carga Empuxo de terra (kN/m²)</i>	16
<i>Figura 5.8 – Carga Peso de terra sobre as cintas (kN/m)</i>	16
<i>Figura 5.9 – Carga de Multidão Geral (MULT) aplicada nas pistas (kN/m²)</i>	18
<i>Figura 5.10 – Carga do Veículo TB45A (kN/m²)</i>	19
<i>Figura 5.11 – Carga do Veículo TB45B (kN/m²)</i>	19
<i>Figura 5.12 – Carga do Veículo TB45C (kN/m²)</i>	20
<i>Figura 5.13 – Carga horizontal Frenagem e/ou Aceleração – Pistas de rolamento (kN/m²)</i>	21
<i>Figura 5.14 – Força centrífuga – Pistas de rolamento (kN/m²)</i>	22
<i>Figura 5.15 – Representação da carga de vento para ponte carregada (kN/m²)</i>	23
<i>Figura 5.16 – Carga de vento (kN/m)</i>	24
<i>Figura 5.17 – Cargas TEMP1 = +15°C / TEMP2 = -15°C</i>	25
<i>Figura 5.18 – Carga Impacto em barreiras (kN)</i>	25
<i>Figura 5.19 – Sobrecarga nas cintas (kN/m)</i>	26
<i>Figura 7.1 – Diag. Mom. Mx – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)</i>	29
<i>Figura 7.2 – Diag. Mom. Mx – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)</i>	30
<i>Figura 7.3 – Diag. Cortante Vxz – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m)</i>	30
<i>Figura 7.4 – Diag. Cortante Vxz – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m)</i>	31
<i>Figura 7.5 – Diag. Mom. My – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)</i>	31
<i>Figura 7.6 – Diag. Mom. My – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)</i>	32
<i>Figura 7.7 – Diag. Cortante Vyz – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m)</i>	32

<i>Figura 7.8 – Diag. Cortante V_{yz} – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m).....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 7.9 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face superior do Tabuleiro (cm²/m).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7.10 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face inferior do Tabuleiro (cm²/m).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7.11 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face superior do Tabuleiro (cm²/m).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7.12 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face inferior do Tabuleiro (cm²/m).....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7.13 – Diag. Momento M_x – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C7 e C8 (kN.m/m).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 7.14 – Diag. Mom. M_x – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C7 e C8 (kN.m/m).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 7.15 – Diag. Cortante V_{xz} – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C7 e C8 (kN/m).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 7.16 – Diag. Cortante V_{xz} – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C7 e C8 (kN/m).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 7.17 – Diag. Mom. M_y – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C7 e C8 (kN.m/m).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 7.18 – Diag. Mom. M_y – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C7 e C8 (kN.m/m).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 7.19 – Diag. Cortante V_{yz} – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C7 e C8 (kN/m).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 7.20 – Diag. Cortante V_{yz} – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C7 e C8 (kN/m).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 7.21 – Diag. Momento M_x – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C9 e C10 (kN.m/m).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 7.22 – Diag. Momento M_x – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C9 e C10 (kN.m/m).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 7.23 – Momento M_x – Tabuleiro – determinação contra-flecha (kN.m/m).....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 7.24 – Diag. Mom. M_x – Muro Ala 01 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m).....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 7.25 – Diag. Mom. M_x – Muro Ala 01 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m).....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 7.26 – Diag. Cortante V_{xz} – Muro Ala 01 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m).....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 7.27 – Diag. Cortante V_{xz} – Muro Ala 01 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m).....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 7.28 – Diag. Mom. M_y – Muro Ala 01 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m).....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 7.29 – Diag. Mom. M_y – Muro Ala 01 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m).....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 7.30 – Diag. Cortante V_{yz} – Muro Ala 01 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m).....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 7.31 – Diag. Cortante V_{yz} – Muro Ala 01 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m).....</i>	<i>58</i>

<i>Figura 7.32 – Diag. Mom. Mx – Muro Ala 02 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)</i>	59
<i>Figura 7.33 – Diag. Mom. Mx – Muro Ala 02 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)</i>	59
<i>Figura 7.34 – Diag. Cortante Vxz – Muro Ala 02 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m)</i>	60
<i>Figura 7.35 – Diag. Cortante Vxz – Muro Ala 02 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m)</i>	60
<i>Figura 7.36 – Diag. Mom. My – Muro Ala 02 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)</i>	61
<i>Figura 7.37 – Diag. Mom. My – Muro Ala 02 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)</i>	61
<i>Figura 7.38 – Diag. Cortante Vyz – Muro Ala 02 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m)</i>	62
<i>Figura 7.39 – Diag. Cortante Vyz – Muro Ala 02 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m)</i>	62
<i>Figura 7.40 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face interna – Muro Ala 01 (cm²/m)</i>	63
<i>Figura 7.41 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face externa – Muro Ala 01 (cm²/m)</i>	64
<i>Figura 7.42 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face interna – Muro Ala 01 (cm²/m)</i>	64
<i>Figura 7.43 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face externa – Muro Ala 01 (cm²/m)</i>	65
<i>Figura 7.44 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face interna – Muro Ala 02 (cm²/m)</i>	65
<i>Figura 7.45 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face externa – Muro Ala 02 (cm²/m)</i>	66
<i>Figura 7.46 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face interna – Muro Ala 02 (cm²/m)</i>	66
<i>Figura 7.47 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face externa – Muro Ala 01 (cm²/m)</i>	67

1. INTRODUÇÃO

Este documento tem por objetivo apresentar a memória de cálculo dos projetos executivos das OAEs 01 e 02 localizadas no Trecho 02 das obras de intervenções das DF-001 / DF-035 / DF-025 / DF-027 - RA XXVII - JARDIM BOTÂNICO em Brasília - DF. As duas OAEs são do tipo passagem inferior com tabuleiro em laje maciça engatado em paredes de contenção nas laterais e com muros alas nas saias dos aterros. Entre as duas obras há ligeiras diferenças nas geometrias, mas mantém-se largura e vão central com dimensões semelhantes. As paredes e alas de contenções da OAE 02 contemplam a geometria das paredes e alas da OAE 01 de forma que, para efeito de dimensionamento, pode-se modelar apenas uma das obras sem que haja prejuízo de rigor técnico nas análises e verificações.

Em suma, a estrutura estudada tem tabuleiro com comprimento de aproximadamente 25 m desenvolvidos em curva, tomados pelo eixo do estaqueamento, sendo composta por vão único e com largura de superestrutura constante ao longo do seu comprimento, em observância aos critérios estabelecidos pelo projeto geométrico.

O tabuleiro projetado possui altura de 0,85 m e é formado por laje maciça, conforme referências de solução estrutural apresentadas no Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais do DNER, 1996. Na infraestrutura foram adotados como elementos de fundação blocos, sapatas corridas e estacas raiz, os quais são amarrados por cintas e aplicados nos encontros e nas proximidades das interseções destas. Os blocos apresentam formatos regulares em planta, com altura de 1,0 m e estacas simples de diâmetro igual a 41 cm. Já as fundações dos encontros são de sapatas corridas de altura igual a 0,8 m com estacas múltiplas ou são feitas pela associação de contraforte a estacas, tendo estas o mesmo diâmetro que as demais.

Para a verificação da análise estrutural e dimensionamento dos elementos estruturais e de fundação, foi elaborado modelo computacional com o intuito de representar o funcionamento da estrutura como um todo e eventualmente avaliar o comportamento estrutural de elementos específicos.

A análise numérica, pelo método dos elementos finitos, foi do tipo linear elástica com carregamento estático, utilizando-se como ferramenta de cálculo o software STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS – STRAP 2020.

As geometrias das estruturas com as indicações de suas principais características são apresentadas, bem como o modelo computacional utilizado com os critérios e parâmetros adotados. Descreve-se as cargas aplicadas e, em seguida, todos os casos de carregamento considerados.

Apresenta-se também os deslocamentos e os diagramas de distribuição dos esforços atuantes nos principais elementos estruturais. Finalmente, descreve-se as metodologias de cálculo utilizadas para os dimensionamentos dos elementos em concreto armado, levando-se em conta ELU, ELS e Estado Limite Último de Fadiga. As verificações dos dimensionamentos dos elementos de fundação foram feitas por meio de planilhas Excel.

2. NORMAS, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Com o intuito de atender os requisitos básicos exigíveis para o projeto da estrutura foram seguidas as recomendações das seguintes normas e referências bibliográficas:

- Projeto de Estruturas de Concreto (NBR 6118:2014);
- Projeto e Execução de Pontes de Concreto Armado e Protendido (NBR 7187:2003);
- Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre (NBR 7188:2013);
- Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento (NBR 8681:2003);
- Projeto e Execução de Fundações (NBR 6122:2010);
- Forças devidas ao vento em edificações (NBR 6123:1988);
- Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais (DNER, 1996);
- PFEIL,W. Pontes em concreto armado. 3ª Ed. 1983;
- PFEIL,W. Pontes: curso básico. Projeto, construção e manutenção. 1983;
- LEONHARDT,F. Construções de concreto: Princípios básicos da construção de pontes de concreto. Vol. 6.
- Vários autores. Fundações: Teoria e prática. Pini.

Para referência, foram utilizados os seguintes documentos:

- Projeto Geométrico: Aria Empreendimentos Sustentáveis;
- Desenhos de Projeto:
 - Q16-OAE_01-TR_02-FU-DE-001
 - Q16-OAE_01-TR_02-FO-DE-001
 - Q16-OAE_01-TR_02-FO-DE-002
 - Q16-OAE_01-TR_02-FO-DE-003
 - Q16-OAE_02-TR_02-FU-DE-001
 - Q16-OAE_02-TR_02-FO-DE-001
 - Q16-OAE_02-TR_02-FO-DE-002
 - Q16-OAE_02-TR_02-FO-DE-003
 - Q16-OAE_02-TR_02-FO-DE-004

- Q16-OAE_02-TR_02-AR-DE-001
- Q16-OAE_02-TR_02-AR-DE-002
- Q16-OAE_02-TR_02-AR-DE-003
- Q16-OAE_02-TR_02-AR-DE-004
- Q16-OAE_02-TR_02-AR-DE-005
- Q16-OAE_02-TR_02-AR-DE-006
- Q16-OAE_02-TR_02-AR-DE-007
- Q16-OAE_02-TR_02-AR-DE-008

3. GEOMETRIA E MODELO ESTRUTURAL

Nas Figuras 3.1 a 3.6 apresenta-se cortes, plantas esquemáticas e detalhes com as indicações das principais dimensões e elevações das estruturas analisadas. Nas Figuras 3.7 a 3.10 exibe-se um conjunto de vistas do modelo computacional utilizado, com as indicações de suas principais características.

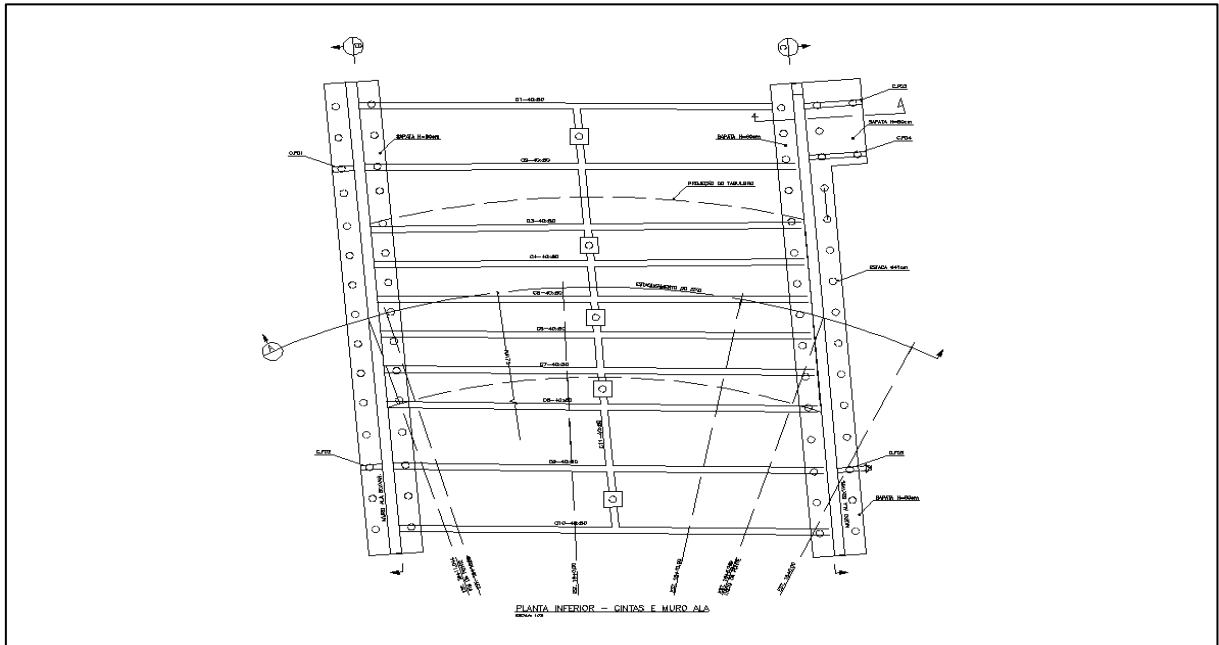


Figura 3.1 – Localização das Fundações

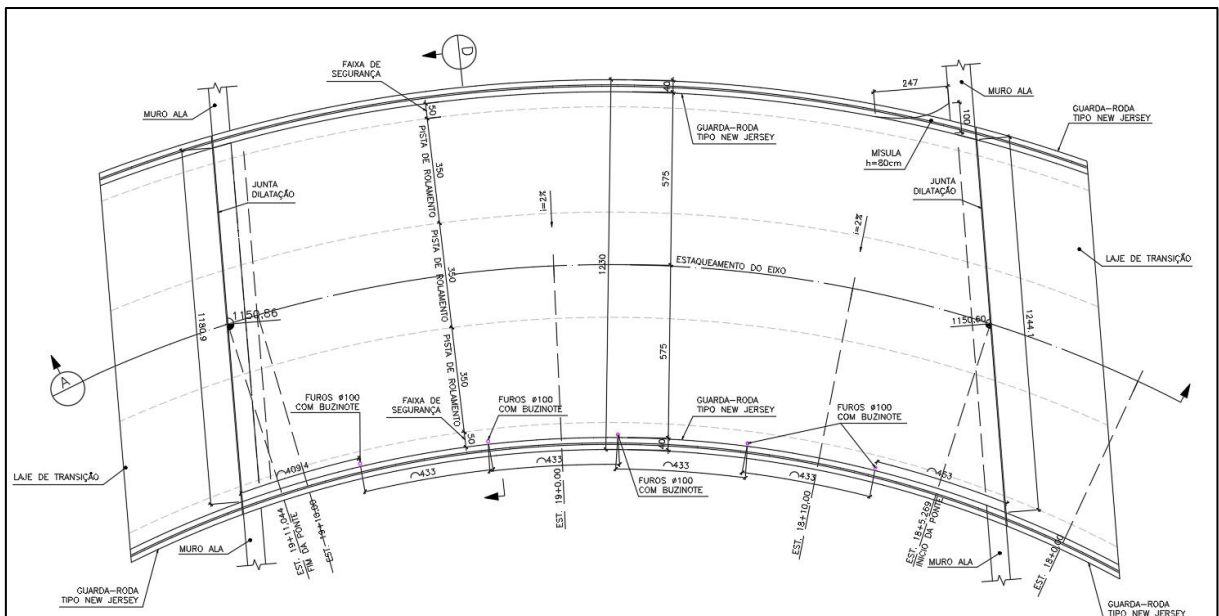


Figura 3.2 – Localização do Tabuleiro – Superior

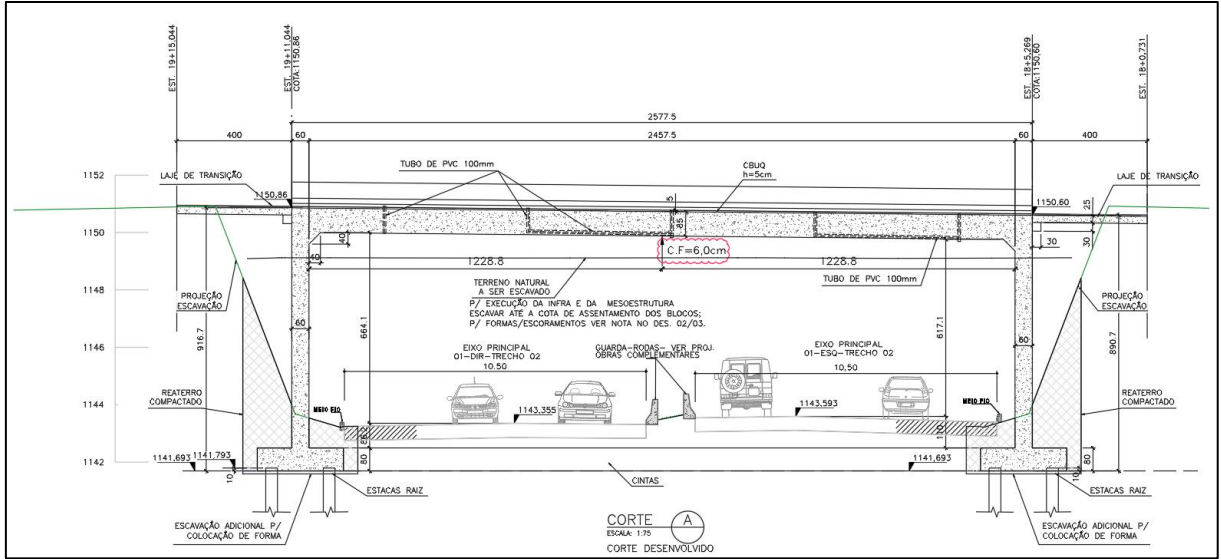


Figura 3.3 – Corte A – Desenvolvido

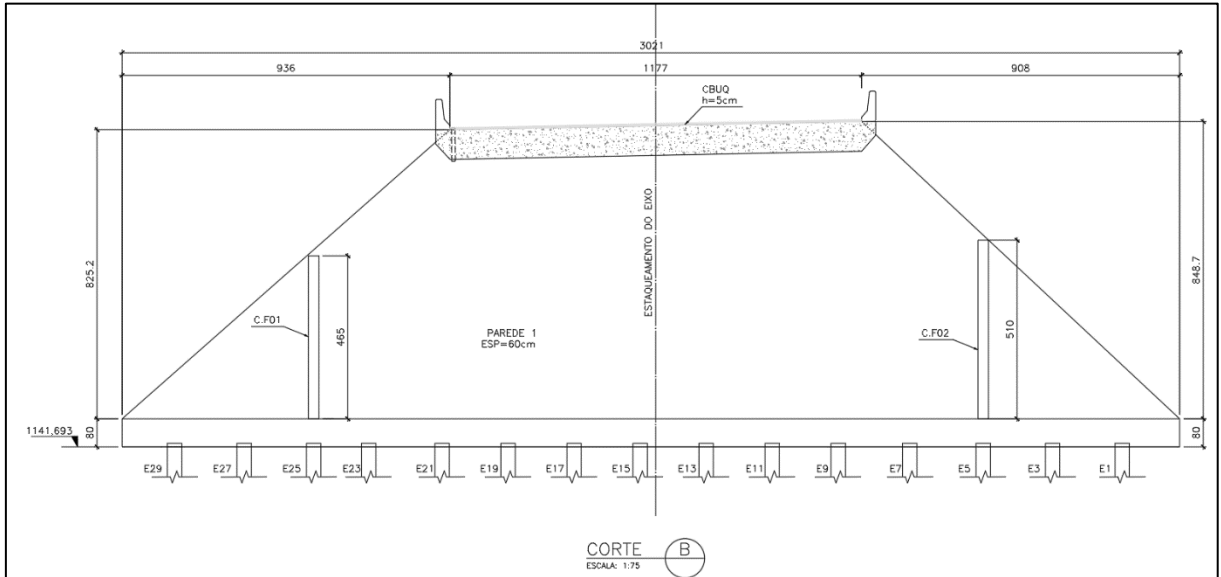


Figura 3.4 – Corte B – Muro Ala 01

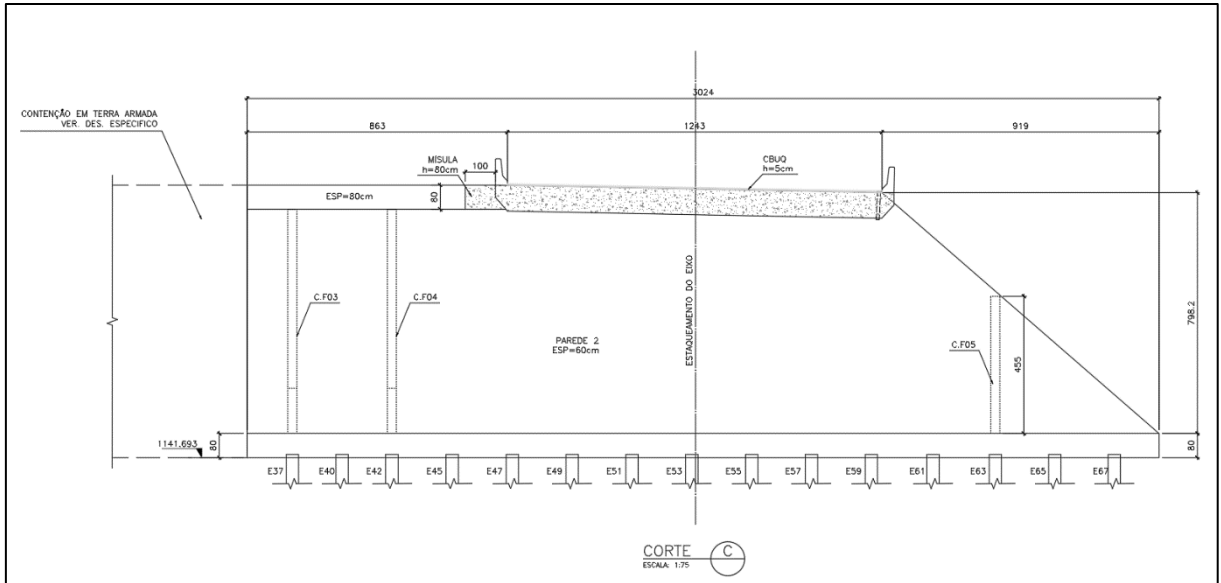


Figura 3.5 – Corte C – Muro Ala 02

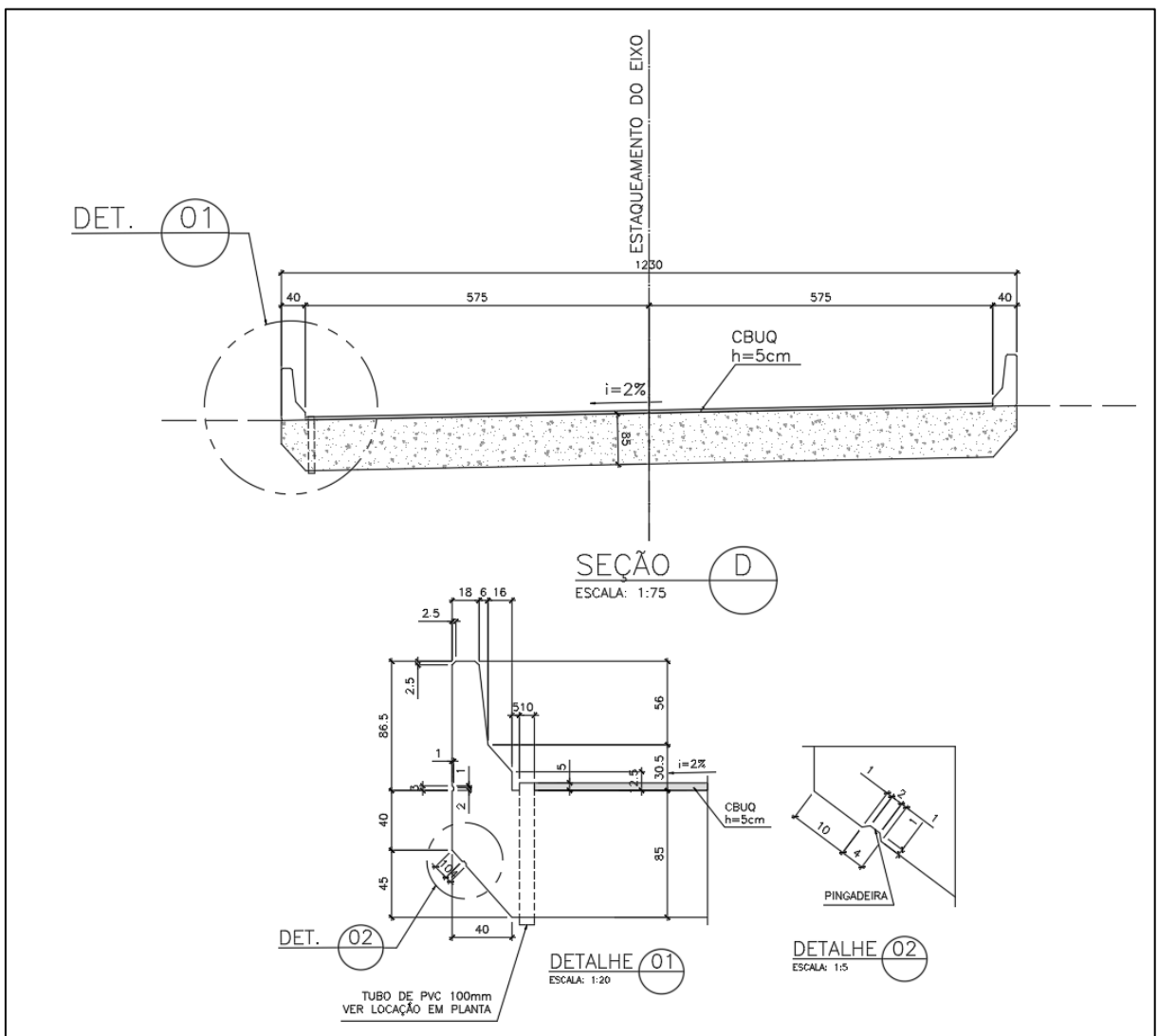


Figura 3.6 – Corte D, Detalhes 01 e 02

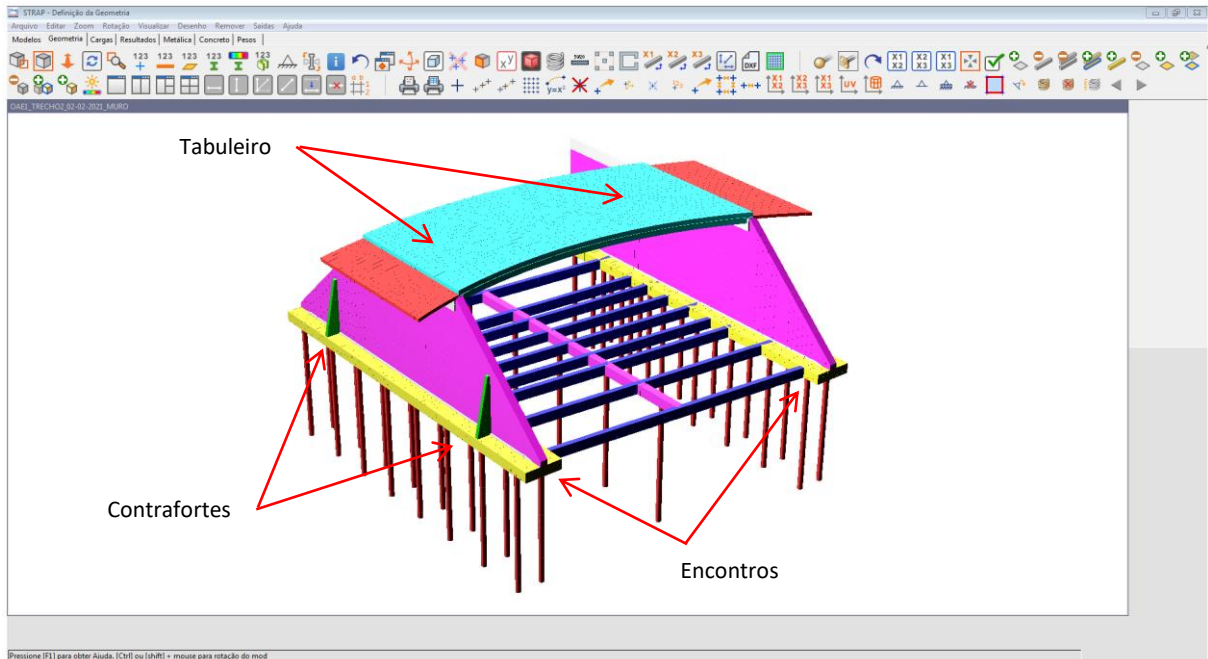


Figura 3.7 – Modelo computacional completo (trechos 1 e 2) – Isométrica 01

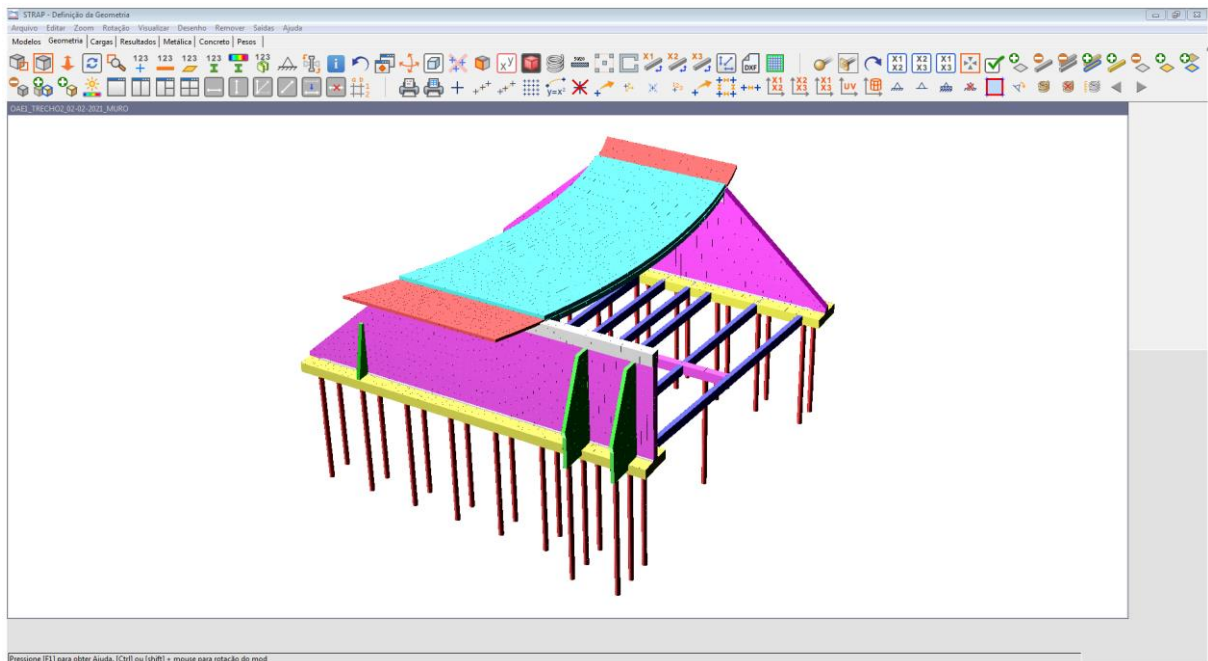


Figura 3.8 – Modelo computacional (trechos 1 e 2) – Isométrica 02

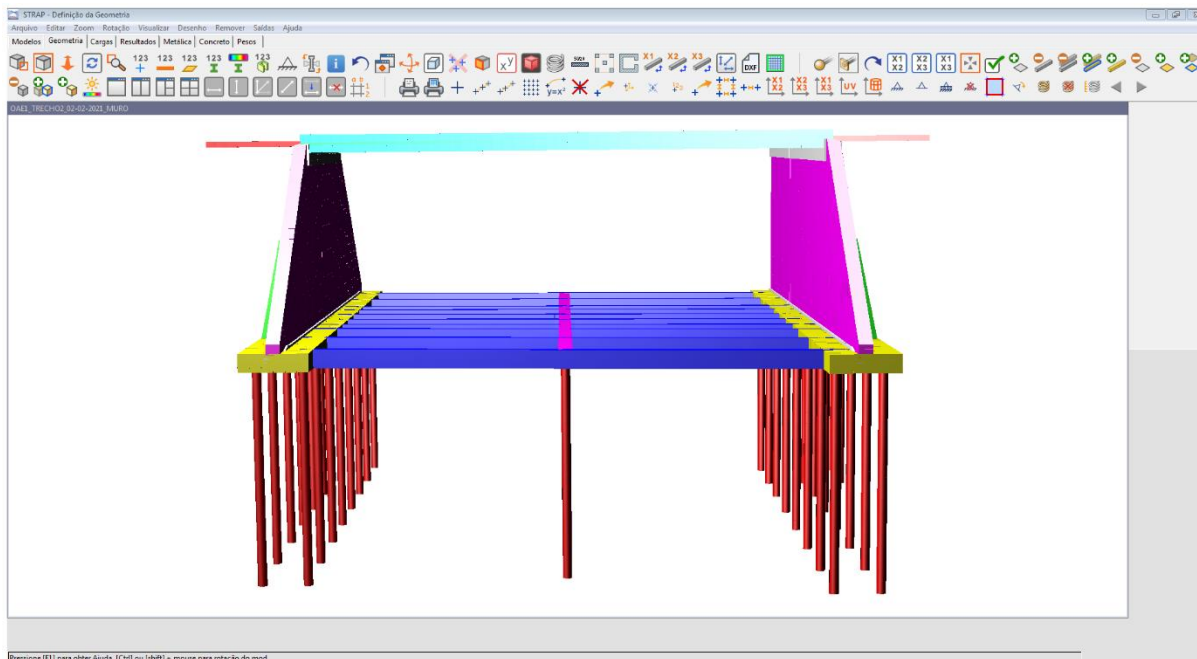


Figura 3.9 – Modelo computacional – Vista longitudinal

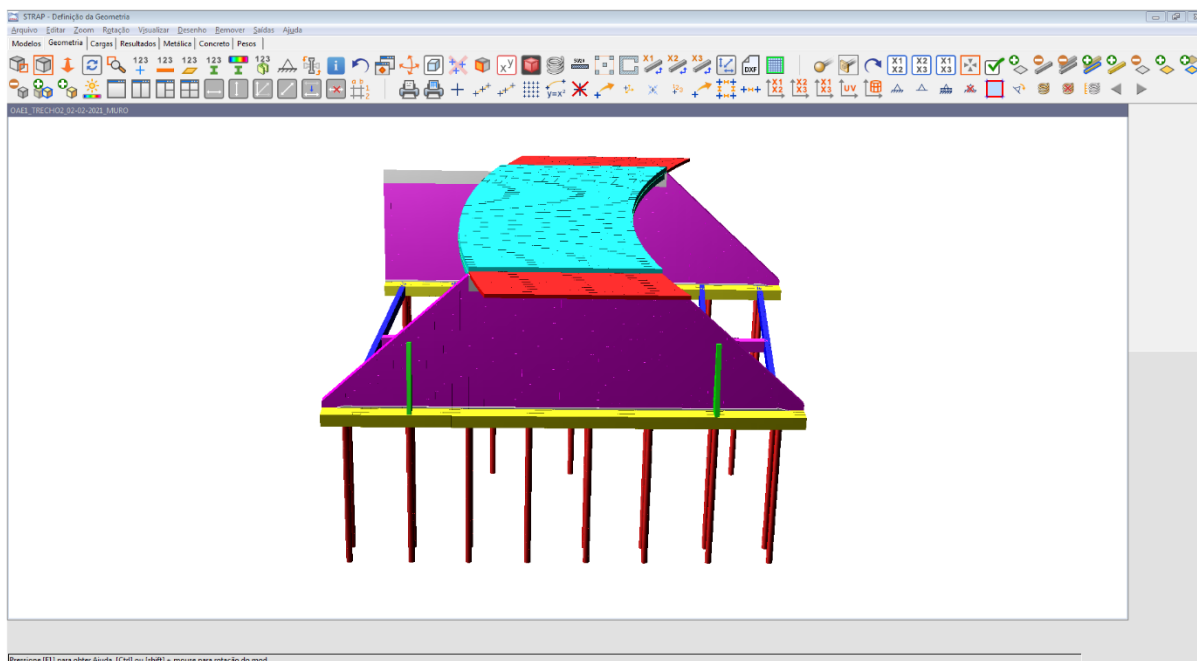


Figura 3.10 – Modelo computacional – Vista transversal

4. PARÂMETROS / MATERIAIS

Apresenta-se a seguir os principais parâmetros adotados:

ESTRUTURA DE CONCRETO:

- Superestrutura (elementos componentes do tabuleiro): $F_{ck} = 30 \text{ MPa}$;
- Mesoestrutura (muros ala, contrafortes, sapatas e blocos): $F_{ck} = 30 \text{ MPa}$;
- Lajes de transição: $F_{ck} = 30 \text{ MPa}$;
- Estacas: $F_{ck} = 20 \text{ MPa}$;
- Aços para o concreto armado – CA-50: $F_{yk} = 500 \text{ MPa}$;

CLASSE DE AGRESSIVIDADE **II**

5. CARGAS ATUANTES

5.1. CARGAS PERMANENTES:

5.1.1. PESO PRÓPRIO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS - Tabuleiro, encontros, contrafortes, lajes de aproximação e cintas - **(PP)**: — Cálculo Automático pelo programa.

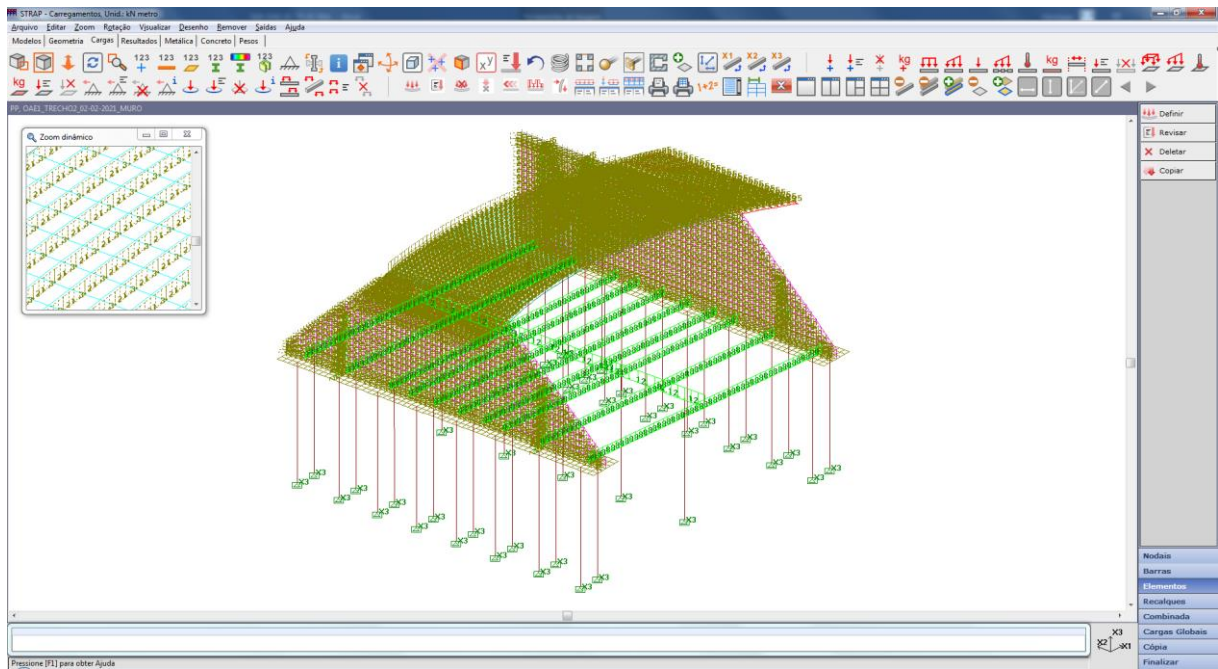


Figura 5.1 – Carga Peso Próprio (kN/m²)

5.1.2. GUARDA-RODAS (GR): — $0,464 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 = 11,6 \text{ kN/m}$

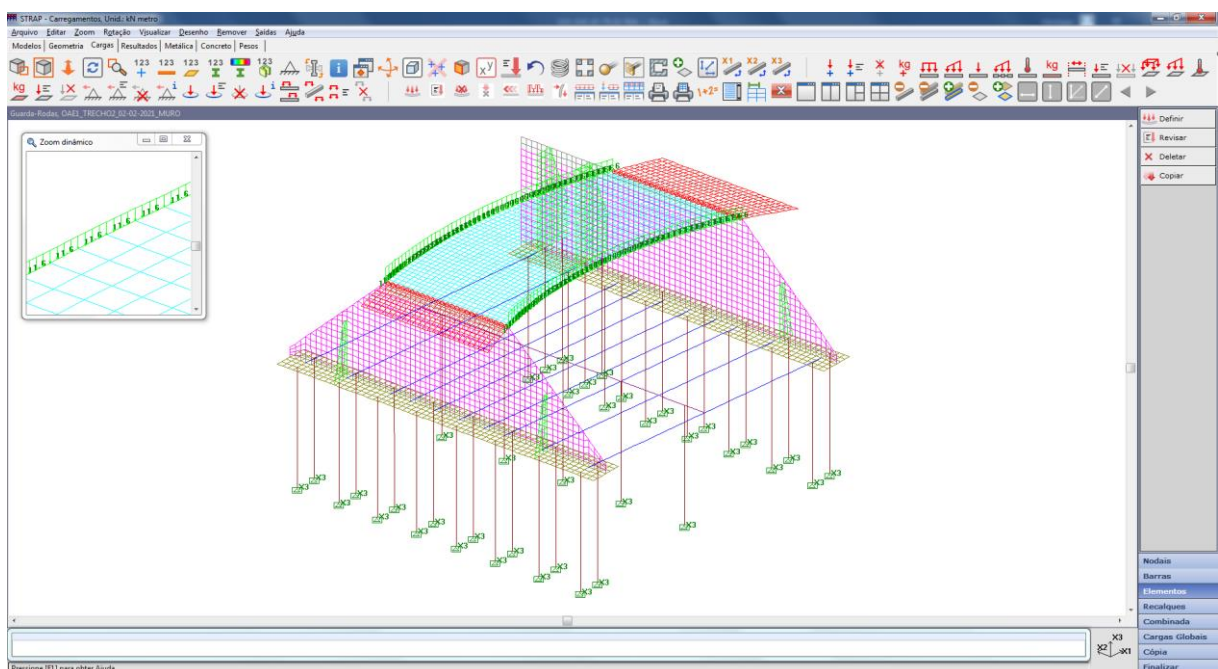


Figura 5.2 – Carga Guarda-roda (kN/m²)

5.1.3. REVESTIMENTO (REV):

— $0,05 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 = 1,1 \text{ kN/m}^2$

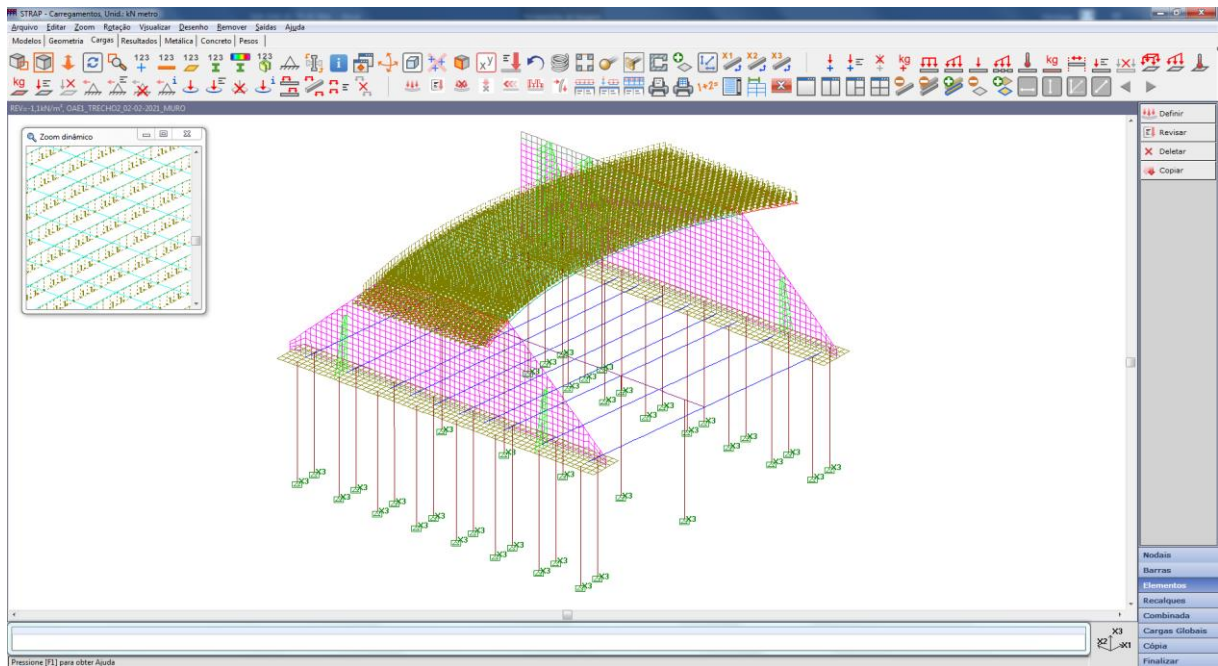


Figura 5.3 – Carga Revestimento aplicada no tabuleiro (kN/m²)

5.1.4. RECAPEAMENTO (REC):

— 2 kN/m^2 (NBR 7187:2003 – Item 7.1.2)

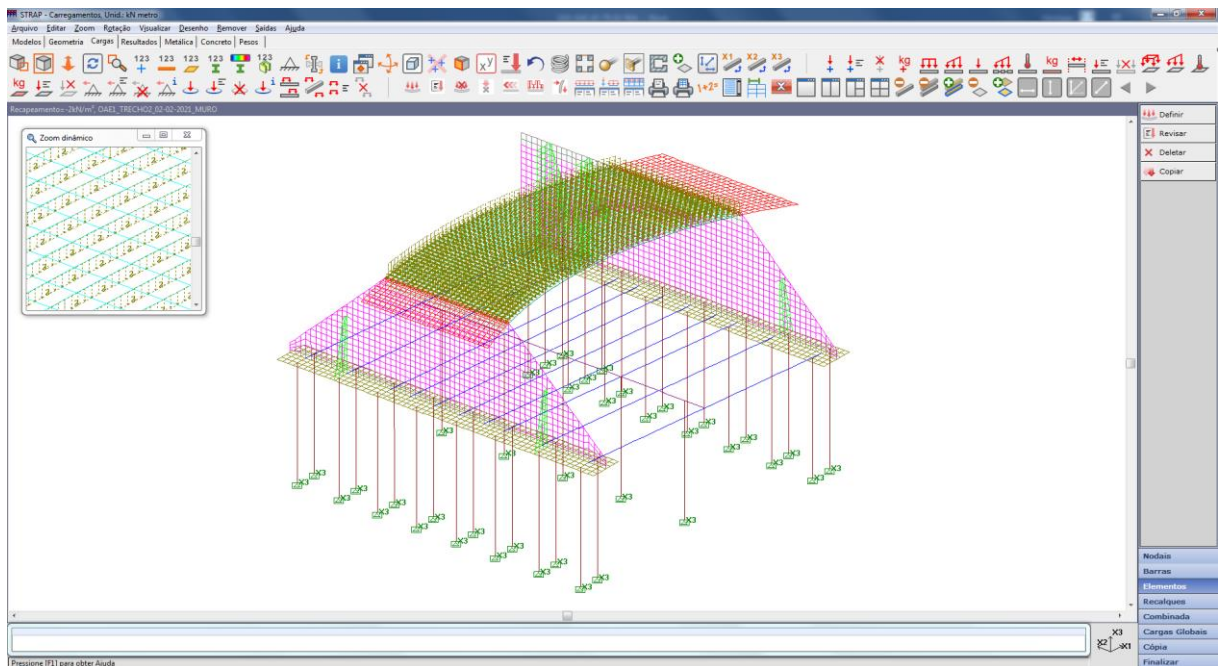


Figura 5.4 – Carga Recapeamento aplicada no tabuleiro (kN/m²)

5.1.5. RETRAÇÃO (RE):

A ação permanente indireta imposta pela retração do concreto será considerada conforme item 11.3.3.1 da NBR 6118:2014 que permite nos casos correntes considerar, tendo em vista a restrição imposta pela armadura, a deformação específica por retração igual a 15×10^{-5} (nos casos de espessuras de 10 a 100 cm e umidade ambiente não inferior a 75%), o que corresponde na prática a considerar a retração como uma queda de temperatura de 15°C. Desta forma, adota-se para o modelo numérico $RE = -15^\circ C$.

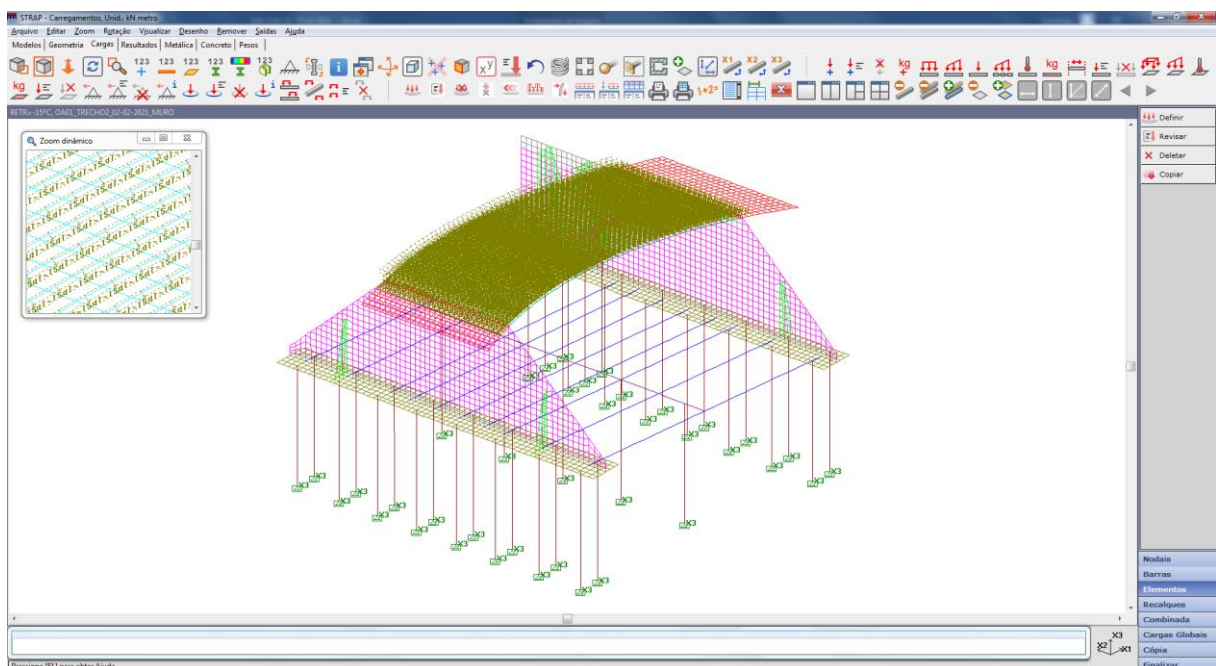


Figura 5.5 – Carga Retração aplicada no tabuleiro ($RE = -15^\circ C$)

5.1.6. EMPUXOS DE TERRA (EMP):

A ação permanente do empuxo de terra atuando sobre as paredes de arrimo e sobre as alas de contenção foram definidas considerando:

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_s = 18 \text{ kN/m}^3 \\ \text{coef. de empuxo} \Rightarrow k = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right); \varphi = \text{ang. talude natural} = 30^\circ \\ k = \text{tg}^2 (30^\circ) = 0,333 \end{array} \right.$$

Aplicação dos empuxos no modelo:

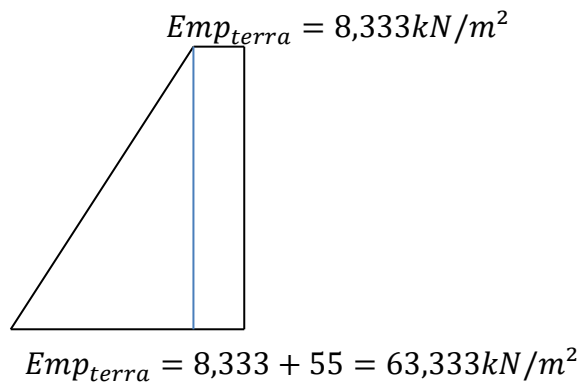
Paredes de arrimo ($h = 9,17 m$)

- Foi considerada a carga distribuída de um veículo TB45 posicionado sobre a laje de transição.

$$TB45_{dist} = \frac{450 \text{ kN}}{6 \text{ m} \times 3 \text{ m}} = \frac{25 \text{ kN}}{m^2} \rightarrow \text{Altura de terra equivalente} \Rightarrow h_0 = \frac{\frac{25 \text{ kN}}{m^2}}{\frac{18 \text{ kN}}{m^3}} = 1,389 \text{ m}$$

$$\text{Empuxo } (h_0 = 1,389 \text{ m}): E_0 = \gamma_s \cdot h_0 \cdot k = \frac{18 \text{ kN}}{m^3} \cdot 1,389 \text{ m} \cdot 0,333 = 8,333 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Empuxo } (h_1 = 9,17 \text{ m}): E_1 = \gamma_s \cdot h_1 \cdot k = \frac{18 \text{ kN}}{m^3} \cdot 9,17 \text{ m} \cdot 0,333 = 55 \text{ kN/m}^2$$

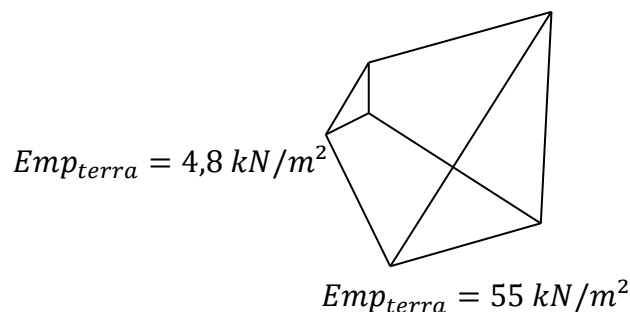


Alas de contenção

Altura variando entre 0,80 m e 9,17 m.

$$\text{Empuxo } (h_2 = 0,8 \text{ m}): E = \gamma_s \cdot h_2 \cdot k = \frac{18 \text{ kN}}{m^3} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot 0,333 = 4,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Empuxo } (h_1 = 9,17 \text{ m}): E_1 = \gamma_s \cdot h_0 \cdot k = \frac{18 \text{ kN}}{m^3} \cdot 9,17 \text{ m} \cdot 0,333 = 55 \text{ kN/m}^2$$



Além disso, foi incluído o peso de terra sobre a face superior das sapatas corridas e das cintas, como se segue:

Sapatas corridas

$$\text{Peso } (h = 0,80 \text{ m}): P = \gamma_s \cdot h_0 = \frac{18 \text{ kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,80 \text{ m} = 14,40 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Peso } (h = 9,17 \text{ m}): P = \gamma_s \cdot h_0 = \frac{18 \text{ kN}}{\text{m}^3} \cdot 9,17 \text{ m} = 165,06 \text{ kN/m}^2$$

Cintas

Sendo a altura de terra sobre as cintas igual a 0,80 m e admitindo-se espraçamento de carga a 45°, conforme a Figura 5.6, tem-se largura de contribuição (l_c) de 1,20 m sobre as cintas.

$$\text{Peso } (h = 0,80 \text{ m}): P = \gamma_s \cdot h_0 \cdot l_c = \frac{18 \text{ kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,80 \text{ m} \cdot 1,20 \text{ m} = 17,28 \text{ kN/m}$$

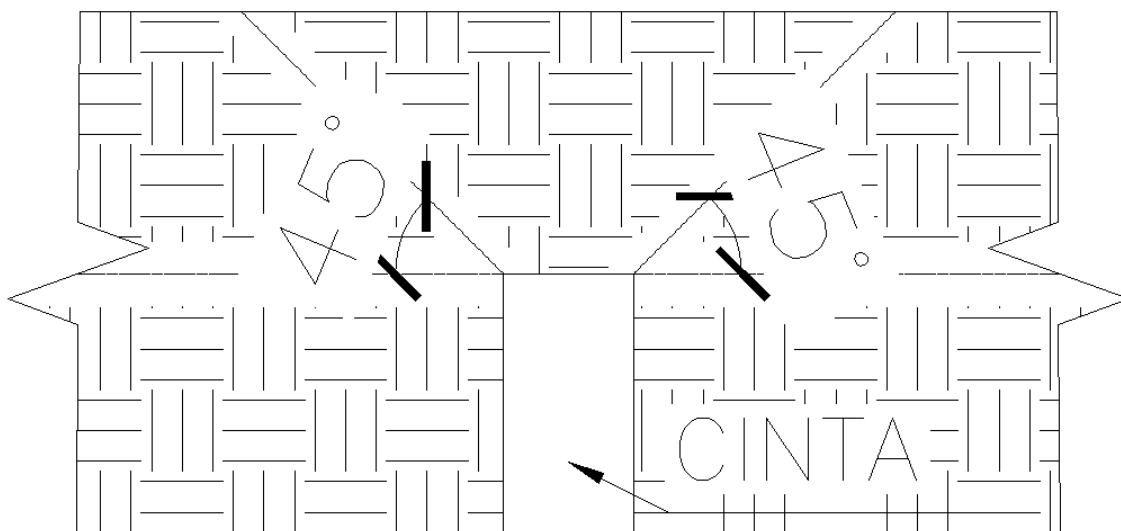


Figura 5.6 – Espraçamento de carga a 45°

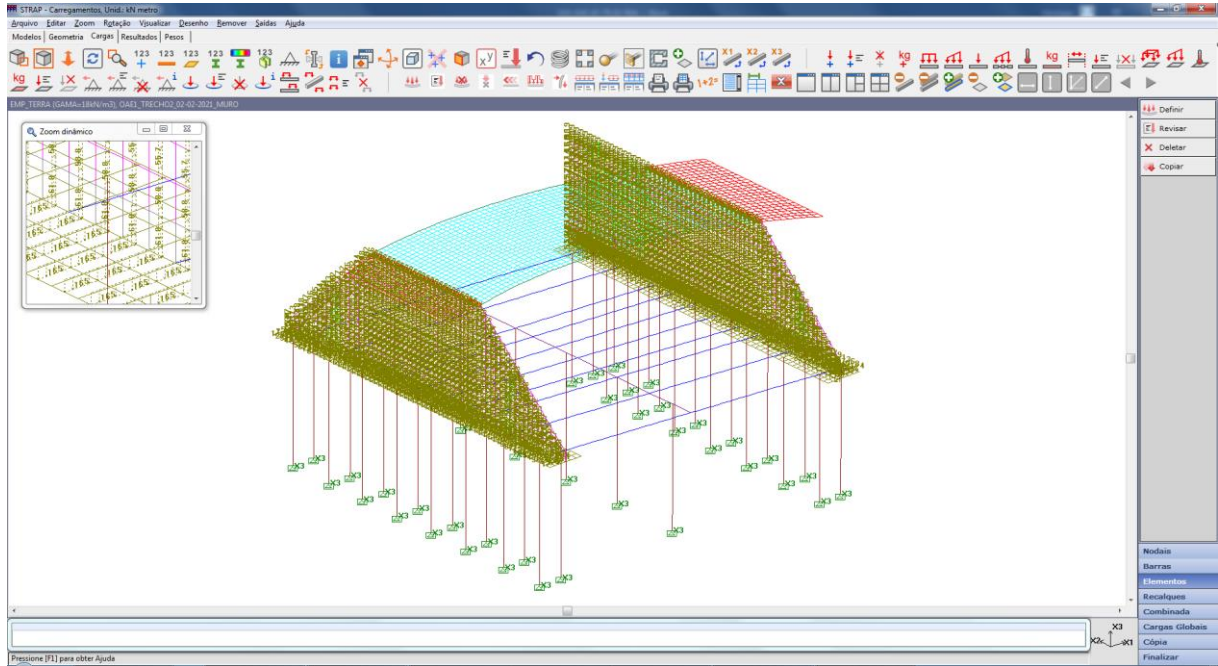


Figura 5.7 – Carga Empuxo de terra (kN/m²)

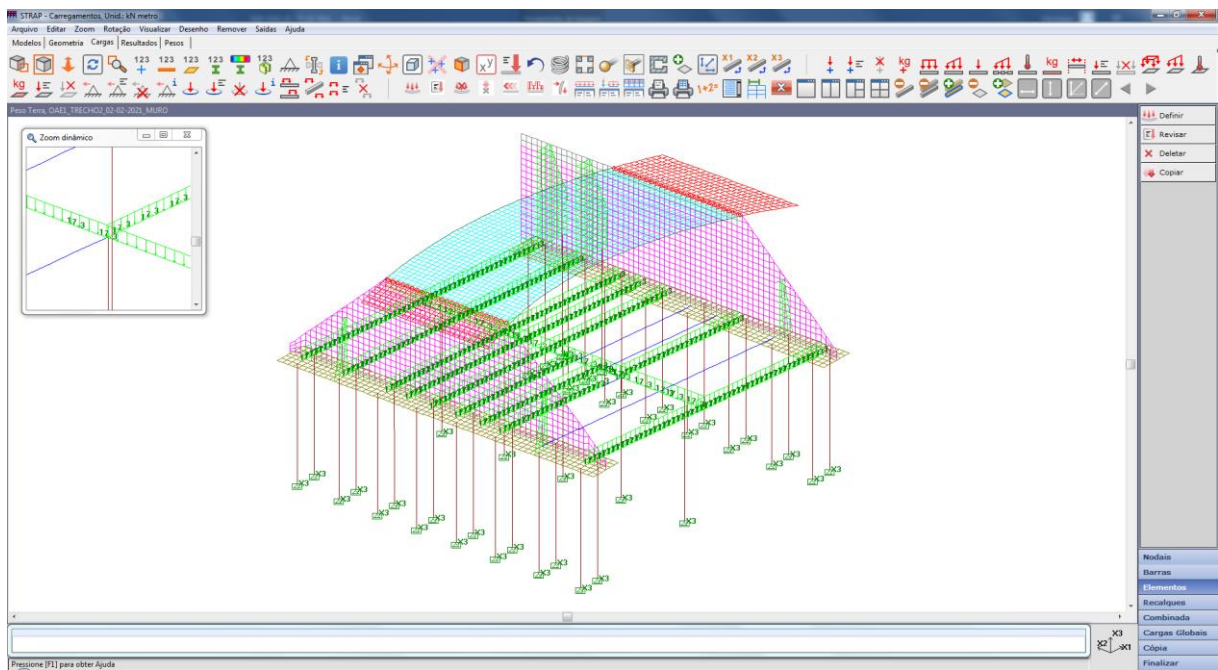


Figura 5.8 – Carga Peso de terra sobre as cintas (kN/m)

5.2. CARGAS VARIÁVEIS:

5.2.1. CARGAS MÓVEIS + IMPACTO (TB45 + MULT):

Trem Tipo TB45: — Veículo = 450 kN – (TB45);
— Multidão = 5 kN/m² aplicada no tabuleiro – (MULT).

Coeficiente de impacto (NBR 7188:2013):

$Q = P \cdot CIV \cdot CNF \cdot CIA$ (P é a carga do veículo); $q =$

$p \cdot CIV \cdot CNF \cdot CIA$ (p é carga multidão) onde:

$CIV = \text{coef. de impacto vertical}$

$CNF = \text{coef. número de faixas}$

$CIA = \text{Coef. de impacto adicional (as seções dos elementos estruturais a uma distância horizontal, normal à junta ou extremidade da obra, inferior a 5,0 m devem ser dimensionadas com os esforços das cargas móveis majorados pelo coeficiente de impacto adicional)}$

$CIV = 1 + 1,06 * \left(\frac{20}{LIV + 50} \right)$, para estruturas com vãos entre 10m e 200m.

$LIV = \text{vão médio da ponte} = 25,00 \text{ m}$

$CIV = 1 + 1,06 * \left(\frac{20}{25,00 + 50} \right) = 1,28$

$CNF = 1,0$

$CIA = 1,25$ (para estruturas em concreto ou mista).

Coeficiente de Impacto 1 → $CIV \cdot CNF \cdot CIA = 1,60$ (para as regiões a menos de 5,0 m das extremidades do tabuleiro)

Coeficiente de Impacto 2 → $CIV \cdot CNF = 1,28$ (para as demais regiões do tabuleiro)

Determinação da carga de Multidão (MULT) + Impacto:

$q_1 = 5 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,60 = 8,00 \frac{kN}{m^2}$,

nas pistas de rolamento a menos de 5,0 m das extremidades;

$q_2 = 5 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,28 = 6,40 \frac{kN}{m^2}$, nas demais regiões das pistas de rolamento.

A Figura 5.9 apresenta a entrada deste carregamento no software STRAP 2020.

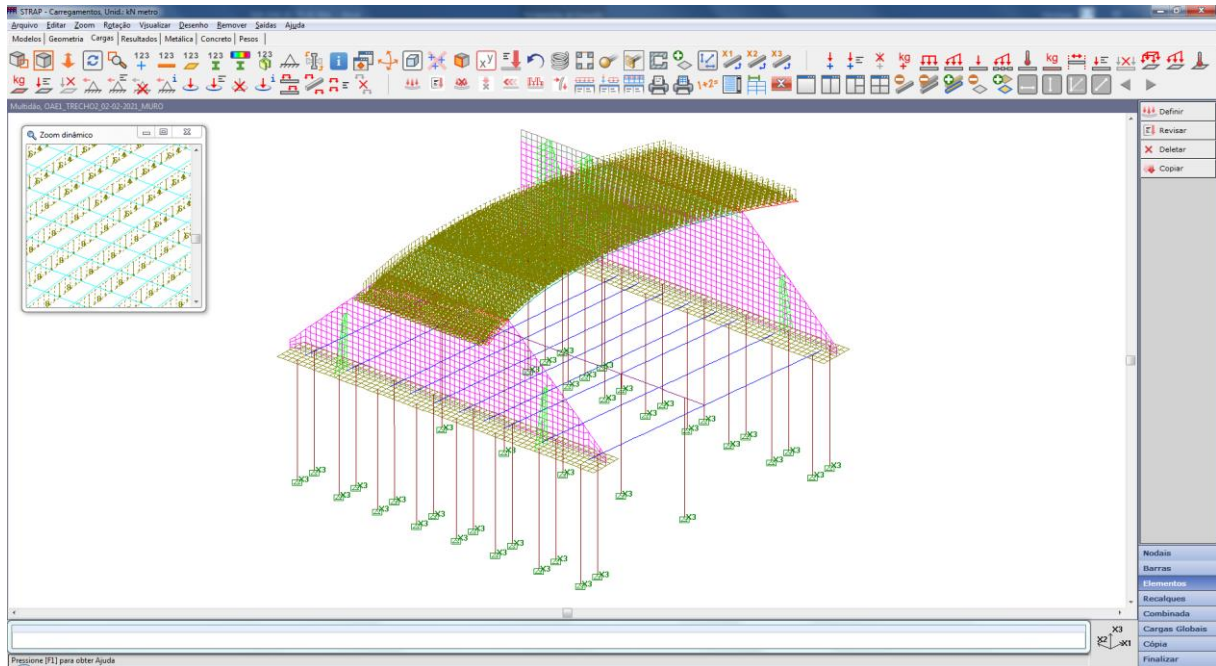


Figura 5.9 – Carga de Multidão Geral (MULT) aplicada nas pistas (kN/m²)

Aplicação da carga do veículo TB45:

$$Q_1 = \frac{450 \text{ kN}}{6} \cdot 1,60 = \frac{120,0 \text{ kN}}{\text{roda}}$$

$$Q_2 = \frac{450 \text{ kN}}{6} \cdot 1,28 = \frac{96,0 \text{ kN}}{\text{roda}}$$

Em razão de o modelo estrutural ser composto por placas, a fim de evitar a concentração de tensões na região do carregamento do trem tipo, as cargas concentradas de cada roda serão transformadas em cargas distribuídas atuando em 0,5 x 0,46 m² de área de contato dos pneus com o pavimento.

$$qr_1 = \frac{120,0 \text{ kN/roda}}{0,50 \times 0,46 \text{ m}^2} = \frac{522 \text{ kN}}{\text{m}^2 \cdot \text{roda}}$$

$$qr_2 = \frac{96,0 \text{ kN/roda}}{0,50 \times 0,46 \text{ m}^2} = \frac{417 \text{ kN}}{\text{m}^2 \cdot \text{roda}}$$

Além das cargas por roda acima descritas, serão previstas cargas uniformemente distribuídas na projeção do veículo (6 x 3 m²) de 8,00 kN/m² e 6,40 kN/m² com sinal positivo (contrário ao da multidão). Apresenta-se nas Figuras 5.10 a 5.12, de forma esquemática, a aplicação das cargas do veículo TB45 atuando em três linhas no tableiro.

Para simular o deslocamento do veículo, a carga móvel desloca-se a cada 200 cm ao longo das pistas de rolamento adotadas.

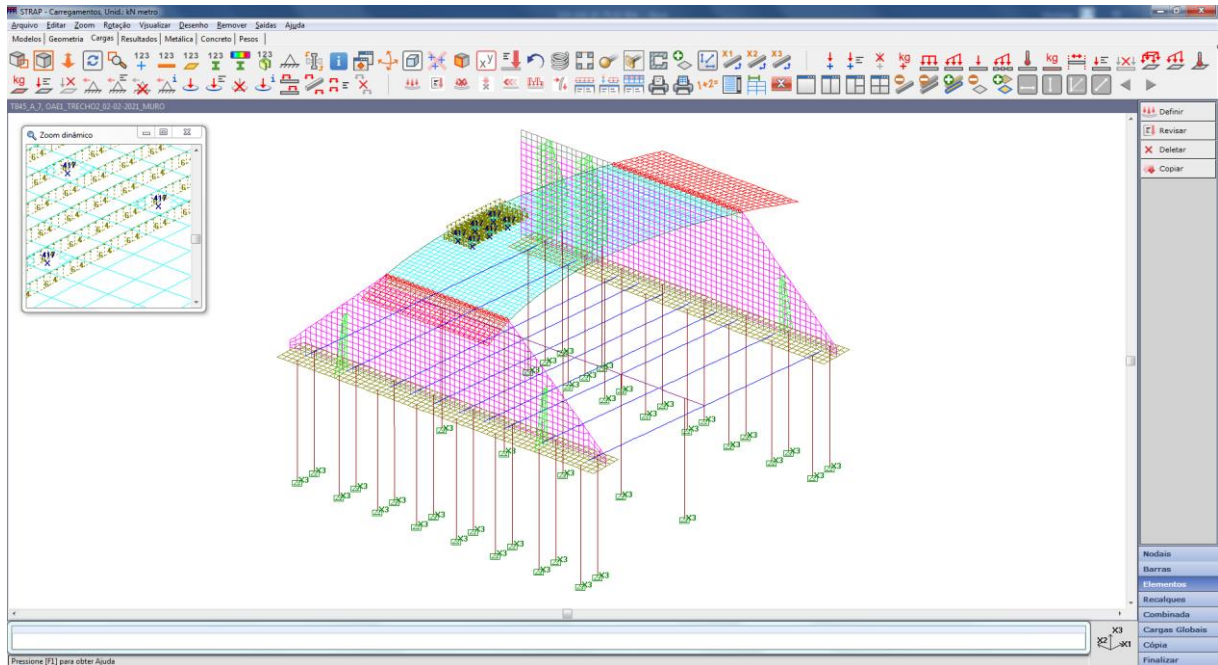


Figura 5.10 – Carga do Veículo TB45A (kN/m^2)

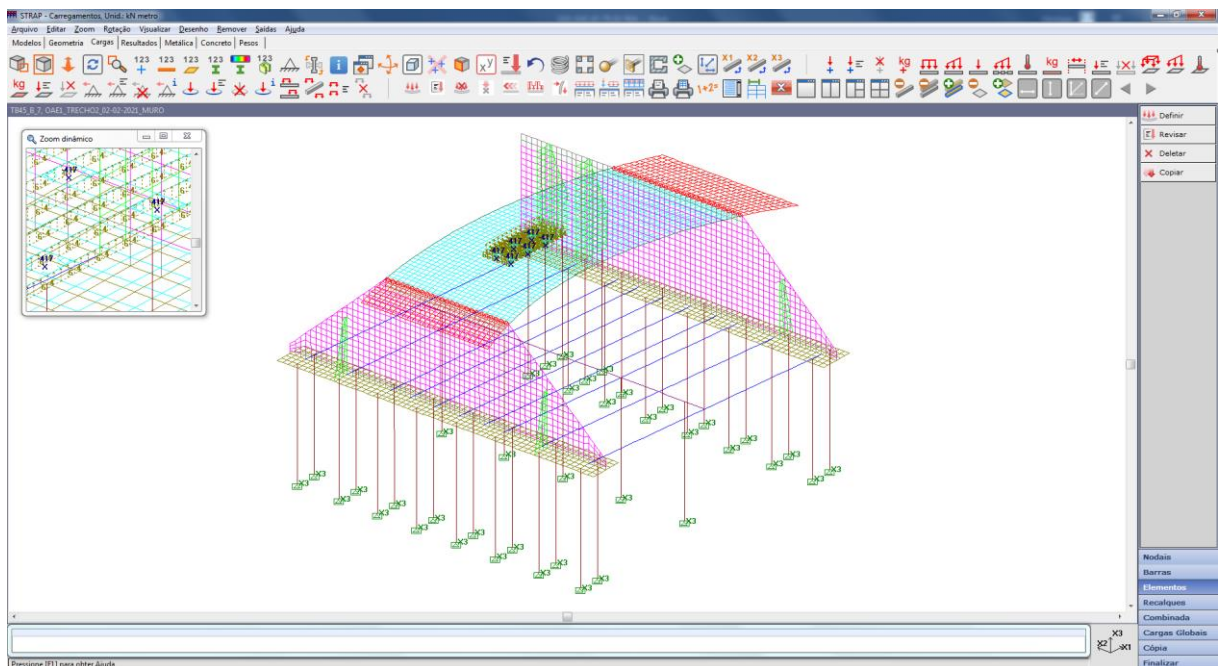


Figura 5.11 – Carga do Veículo TB45B (kN/m^2)

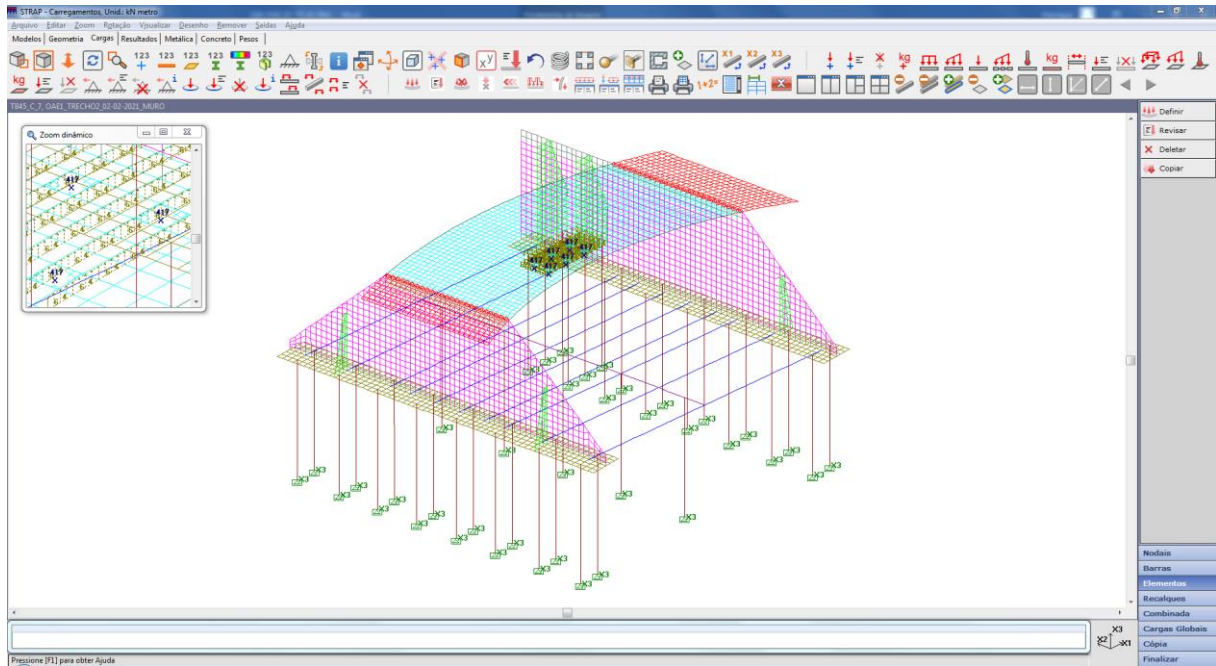


Figura 5.12 – Carga do Veículo TB45C (kN/m²)

5.2.2. FRENAGEM E ACELERAÇÃO (**FREN**):

Conforme a NBR 7188:2013, as cargas horizontais devido à frenagem e/ou aceleração, aplicados no nível do pavimento, são um percentual da carga vertical característica dos veículos aplicados sobre o tabuleiro, na posição mais desfavorável e concomitante com a respectiva carga vertical sem coeficiente de impacto.

$$H_f = 0,25 \cdot B \cdot L \cdot CNF, \text{ em } [kN]$$

Onde:

$$H_f \geq 135,0 \text{ kN}$$

B: largura efetiva [m] da carga distribuída de 5kN/m².

L: comprimento concomitante [m] da carga distribuída.

Desta forma,

Tabuleiro:

$$H_f = 0,25 \cdot B \cdot L \cdot CNF = 0,25 \cdot 10,50 \cdot 25,00 \cdot 1,0 = 65,6 \text{ kN} \rightarrow \text{Adota} - \text{se } H_f = \mathbf{135,0 \text{ kN}}$$

Aplicação no modelo:

$$\frac{135,0 \text{ kN}}{(10,50 \text{ m}) \cdot (25,00 \text{ m})} = \mathbf{0,51 \text{ kN/m}^2}$$

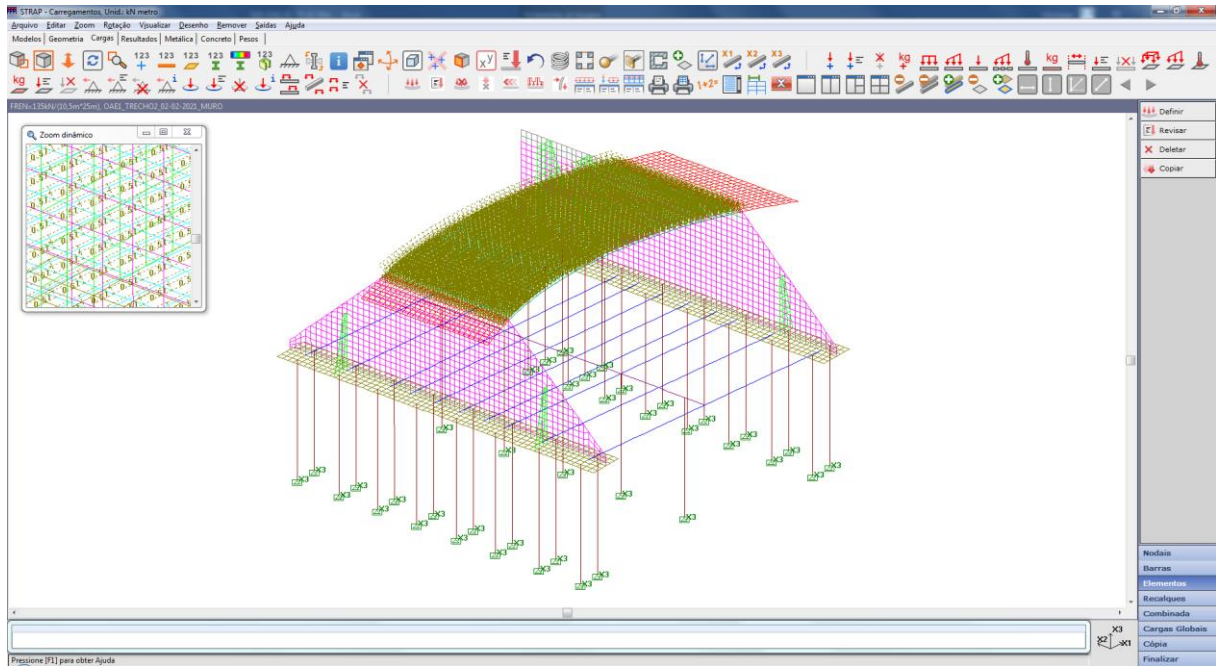


Figura 5.13 – Carga horizontal Frenagem e/ou Aceleração – Pistas de rolamento (kN/m^2)

5.2.3. FORÇA CENTRÍFUGA (FC):

As forças horizontais devidas à força centrífuga são determinadas como um percentual da carga do veículo tipo que atua sobre as obras em curva horizontal, de acordo com a NBR 7188:2013. Tais carregamentos são aplicados ao nível da pista de rolamento, na posição mais desfavorável e concomitante com as demais cargas de projeto. O módulo da sua ação representativa é uma função do raio de curvatura da estrutura, conforme as seguintes equações apresentadas na norma de referência:

$$Hfc = 2,4 \cdot P \text{ em kN, para curva com raio } R < 200 \text{ m;}$$

$$Hfc = \frac{480}{R} \cdot P \text{ em kN, para curva com raio } 200 \text{ m} < R < 1500 \text{ m;}$$

$$Hfc = 0 \quad \text{para raios superiores a } 1500 \text{ m}$$

onde R é o raio da curva horizontal no eixo da obra, expresso em metros (m).

Para a aplicação deste carregamento na estrutura em questão, tem-se que:

$$R \cong 41,75 \text{ m} \rightarrow Hfc = 2,4 \cdot 450 = 1080 \text{ kN}$$

$$hfc = \frac{1080 \text{ kN}}{3 \times 6 \text{ m}^2} = 60 \text{ kN/m}^2$$

em que hfc representa a carga distribuída da força centrífuga sobre a área projetada do veículo tipo utilizado. A sua inclusão no programa STRAP 2020 considerou a divisão do seu valor por fator de 1,5 pelo fato de não se majorá-la em projeto, sendo aplicada em conjunto ao grupo de carregamentos do veículo tipo TB45.

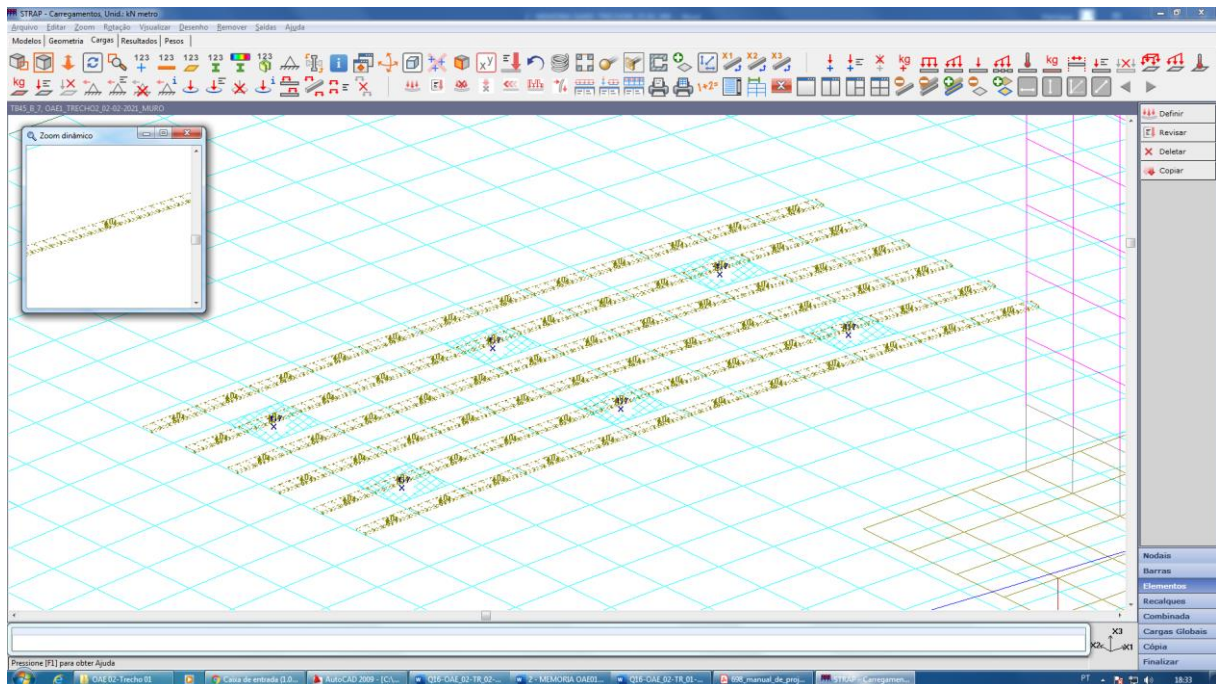


Figura 5.14 – Força centrífuga – Pistas de rolamento (kN/m²)

5.2.4. CARGA DE VENTO (VENTO):

Determinação das Forças devido ao vento – conforme NBR 6123:1988:

A velocidade característica considerada será $V_0 \approx 35$ m/s.

Para o fator topográfico S_1 :

“a) terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$;”

Para o fator S_2 :

A rugosidade do terreno se enquadra na Categoria II;

Com relação às dimensões das edificações vizinhas, a construção se enquadra na Classe tipo C.

Altura adotada = 10 m.

Desta forma temos $S_2 = 0,95$.

Para o fator S_3 :

Considerando como obra de elevada importância em casos de catástrofe, utilizou-se o fator estatístico $S_3 = 1,10$.

Dessa forma a velocidade característica é

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 36,575 \text{ m/s}$$

$$\text{e pressão básica de vento } Q = 0,613 \cdot V_k^2 = 0,82 \text{ kN/m}^2$$

Nesta análise, por também atender a NBR 6123:1988, esta carga será representada por uma pressão horizontal média para ponte carregada de $1,0 \text{ kN/m}^2$, agindo horizontalmente em direção ao seu eixo, como representado na Figura 5.15 – ver referência bibliográfica: PFEIL,W. Pontes: curso básico. Projeto, construção e manutenção. A situação de carregamento da ponte descarregada não foi efetivamente aplicada às combinações solicitantes, uma vez que o seu respectivo valor de carga linear se aproxima ao do caso supracitado.

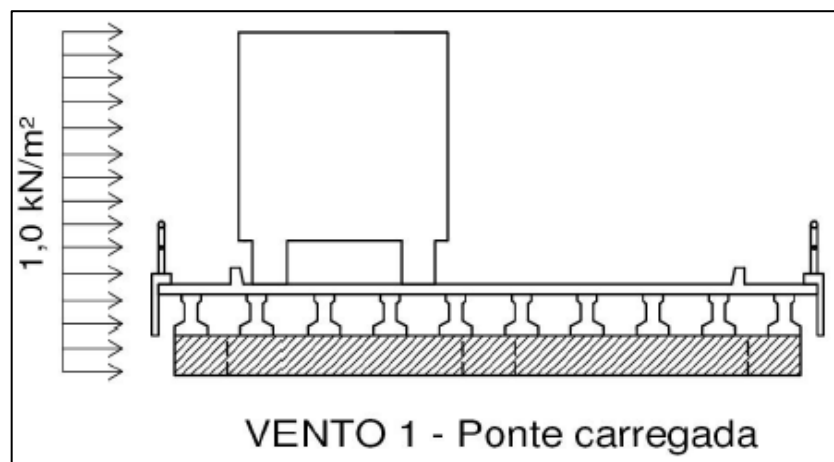


Figura 5.15 – Representação da carga de vento para ponte carregada (kN/m^2)

Aplicação da carga no modelo:

$$\text{Altura do veículo + revestimento + laje} = 2,00 \text{ m} + 0,05 \text{ m} + 1,03 \text{ m} = 3,08 \text{ m}$$

$$\text{Carga aplicada por m} = 1,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,08 \text{ m} = 3,08 \text{ kN/m}$$

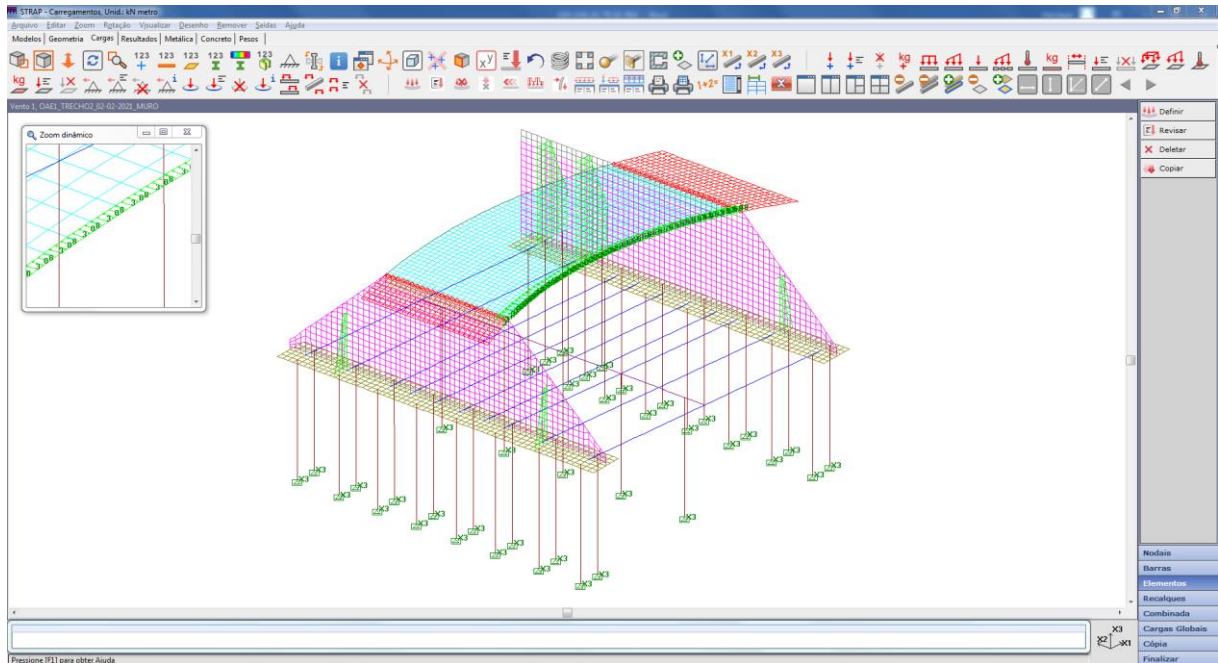


Figura 5.16 – Carga de vento (kN/m)

5.2.5. TEMPERATURA (**TEMP1** / **TEMP2**):

A variação da temperatura será considerada conforme item 11.4.2.1 da NBR 6118:2014, tomando-se o valor da variação uniforme de temperatura = $\pm 15^{\circ}\text{C}$.

Variação de temperatura

Tipo de carga

Contração/expansão

Gradiente de temperatura

Variação de temperatura =

OK Cancelar

Variação de temperatura

Tipo de carga

Contração/expansão

Gradiente de temperatura

Variação de temperatura =

OK Cancelar

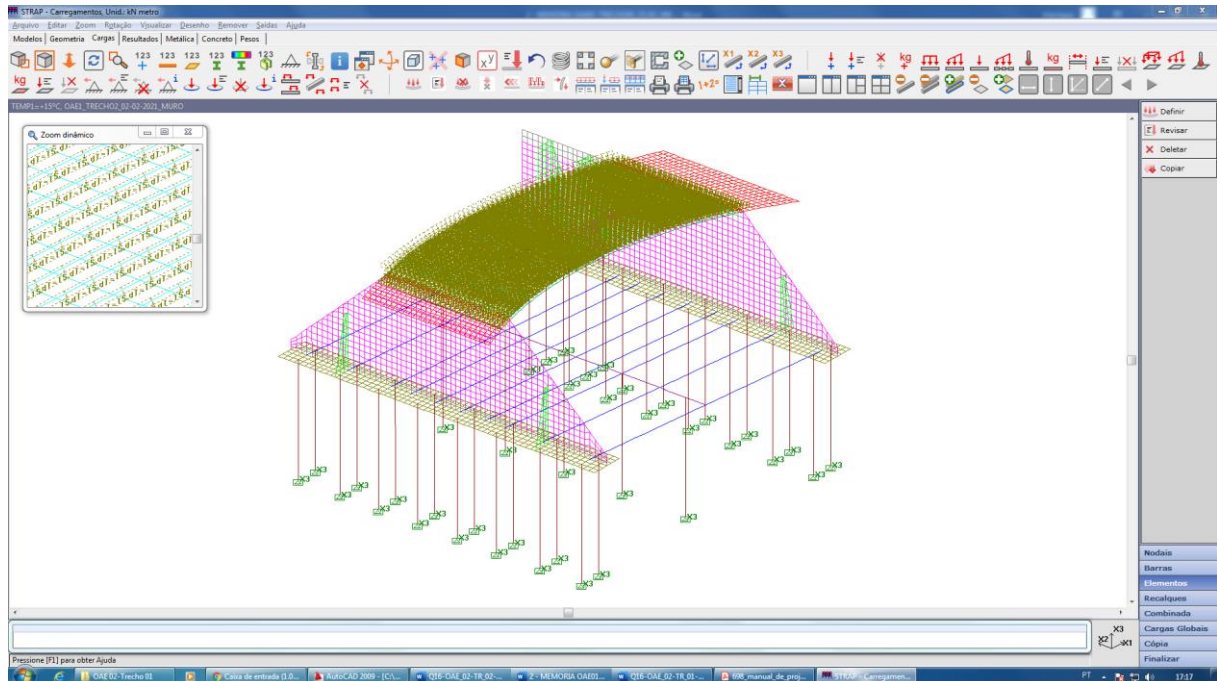


Figura 5.17 – Cargas TEMP1 = +15°C / TEMP2 = -15°C

5.2.6. CARGA DE IMPACTO EM BARREIRAS (IB):

Para a aplicação dos carregamentos devido ao impacto em barreiras serão aplicadas sobre os guarda-rodas uma carga horizontal perpendicular à direção do tráfego de 100 kN e uma carga vertical concomitante de 100 kN, conforme o item 5.2.3.4 da NBR 7188 e a Figura 5.18. O dimensionamento destes elementos se encontra na Seção 7.3 do presente memorial.

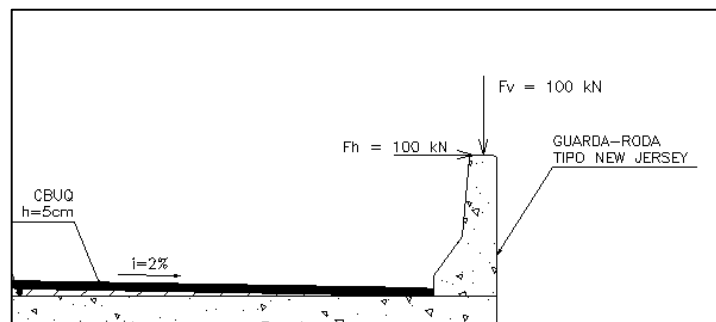


Figura 5.18 – Carga Impacto em barreiras (kN)

5.2.7. SOBRECARGA NAS CINTAS – PISTA INFERIOR (SC):

Considerando-se uma sobrecarga de 5 kN/m^2 e admitindo-se espraio de carga a 45° , conforme a Figura 5.6, com resultante largura de contribuição (l_c) de $1,20 \text{ m}$ sobre as cintas, tem-se o seguinte carregamento linear sobre estes elementos estruturais:

$$\text{Sobrecarga } (q = 5 \text{ kN/m}^2): s = q \cdot l_c = \frac{5 \text{ kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,20 \text{ m} = 6 \text{ kN/m}$$

A Figura 5.19 apresenta a aplicação deste carregamento no software STRAP 2020.

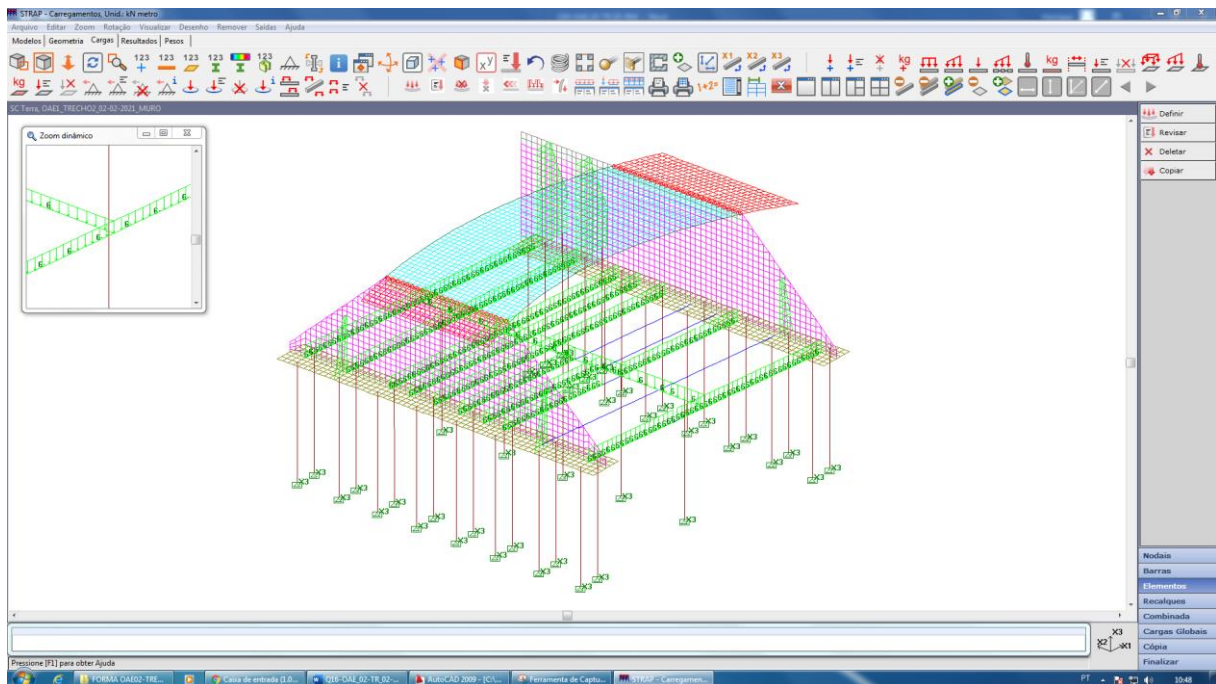


Figura 5.19 – Sobrecarga nas cintas (kN/m)

6. COMBINAÇÕES DE CARGAS

COMBINAÇÕES NORMAIS ÚLTIMAS: VERIF. ESTADO LIMITE ÚLTIMO

- C1: $1.35*PP + 1.4*EMP + 1.4*GR + 1.4*REV + 1.2*REC + 1.2*RE + 1.5*MULT + 1.5*TB45 + 1.5*FREN + 1.5*FC + 1.5*SC + 0.6*1.4*VENTO + 0.6*1.2*TEMP1$ (TB45, MULT, FREN, FC e SC considerados como cargas variáveis principais)
- C2: $1.35*PP + 1.4*EMP + 1.4*GR + 1.4*REV + 1.2*REC + 1.2*RE + 1.5*MULT + 1.5*TB45 + 1.5*FREN + 1.5*FC + 1.5*SC + 0.6*1.4*VENTO + 0.6*1.2*TEMP1$ (TB45, MULT, FREN, FC e SC considerados como cargas variáveis principais)
- C3: $1.35*PP + 1.4*EMP + 1.4*GR + 1.4*REV + 1.2*REC + 1.2*RE + 1.05*MULT + 1.05*TB45 + 1.05*FREN + 1.05*FC + 1.05*SC + 0.6*1.4*VENTO + 1.2*TEMP1$ (TEMP1 considerado como carga variável principal)
- C4: $1.35*PP + 1.4*EMP + 1.4*GR + 1.4*REV + 1.2*REC + 1.2*RE + 1.05*MULT + 1.05*TB45 + 1.05*FREN + 1.05*FC + 1.05*SC + 0.6*1.4*VENTO + 1.2*TEMP2$ (TEMP2 considerado como carga variável principal)
- C5: $1.0*PP + 1.0*EMP + 1.0*GR + 1.0*REV + 1.0*REC + 1.0*RE + 1.05*MULT + 1.05*TB45 + 1.05*FREN + 1.05*FC + 1.05*SC + 1.4*VENTO + 0.6*1.2*TEMP1$ (VENTO considerado como carga variável principal)
- C6: $1.0*PP + 1.0*EMP + 1.0*GR + 1.0*REV + 1.0*REC + 1.0*RE + 1.05*MULT + 1.05*TB45 + 1.05*FREN + 1.05*FC + 1.05*SC + 1.4*VENTO + 0.6*1.2*TEMP2$ (VENTO considerado como carga variável principal)

COMBINAÇÕES FREQUENTES DE SERVIÇO: VERIFICAÇÃO ESTADO LIMITE ABERTURA DE FISSURAS / ESTADO LIMITE ÚLTIMO DE FADIGA

- C7: $1.0*PP + 1.0*EMP + 1.0*GR + 1.0*REV + 1.0*RE + 0.8*MULT + 0.8*TB45 + 0.8*FREN + 0.8*FC + 0.8*SC + 0.3*TEMP1$
(TB45, MULT, FREN, FC e SC considerados como cargas variáveis principais)
- C8: $1.0*PP + 1.0*EMP + 1.0*GR + 1.0*REV + 1.0*RE + 0.8*MULT + 0.8*TB45 + 0.8*FREN + 0.8*FC + 0.8*SC + 0.3*TEMP2$
(TB45, MULT, FREN, FC e SC considerados como cargas variáveis principais)

**COMBINAÇÕES QUASE PERMANENTES DE SERVIÇO: VERIFICAÇÃO
ESTADO LIMITE DE DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS**

C9: $1.0*PP + 1.0*EMP + 1.0*GR + 1.0*REV + 1.0*RE + 0.3*MULT + 0.3*TB45 + 0.3*FREN + 0.3*FC + 0.3*SC + 0.3*TEMP1$

C10: $1.0*PP + 1.0*EMP + 1.0*GR + 1.0*REV + 1.0*RE + 0.3*MULT + 0.3*TB45 + 0.3*FREN + 0.3*FC + 0.3*SC + 0.3*TEMP2$

Coeficientes de ponderação conforme item 11 e seção 23 da NBR 6118:2014 e item 5.1.4.4 da NBR 8681:2003.

Observação: a carga TB45 representa a aplicação de cada uma das cargas dos veículos TB45A, TB45B e TB45C nas pistas de rolamento. O software posiciona automaticamente cada carga do veículo e a combina com as demais cargas de cada combinação, de forma similar a uma envoltória da carga TB45.

7. DIAGRAMAS DE ESFORÇOS E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

7.1. DIAGRAMAS DE ESFORÇOS DO TABULEIRO – ELU:

Nas Figuras 7.1 a 7.8, apresenta-se os diagramas de esforços atuantes no tabuleiro para as Combinações Normais Últimas C1 a C6 definidas no item 6. Os esforços obtidos nesta seção são aqueles utilizados para o dimensionamento da estrutura.

Momentos Fletores (ELU) – Direção X:

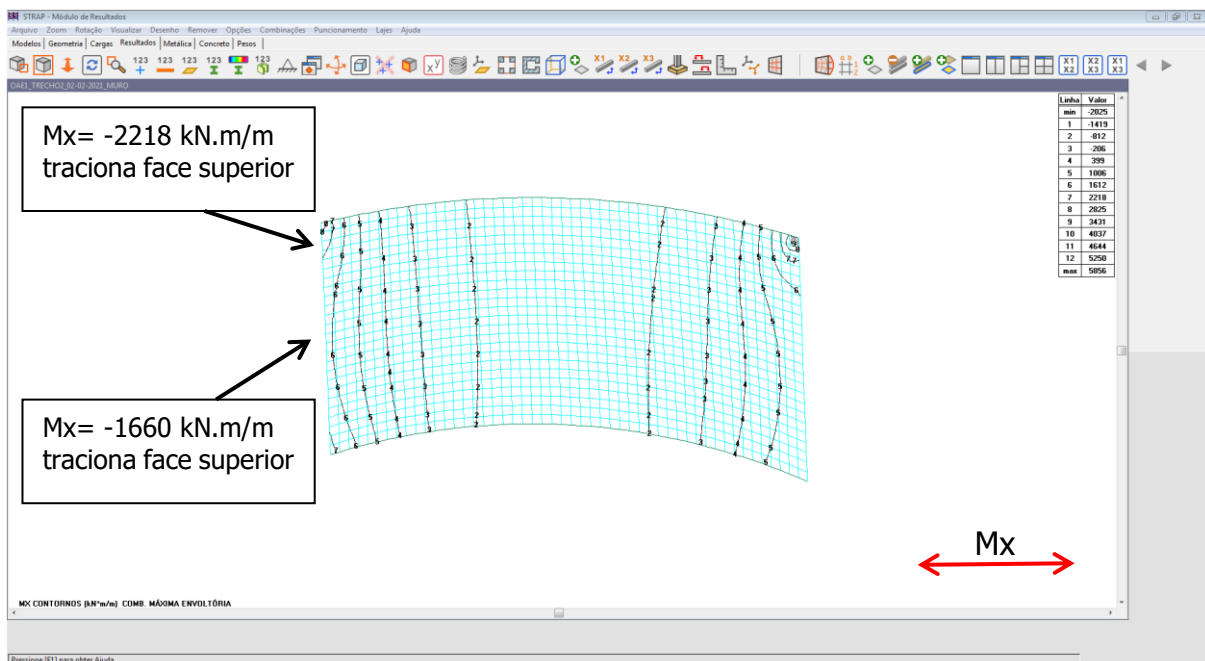


Figura 7.1 – Diag. Mom. M_x – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

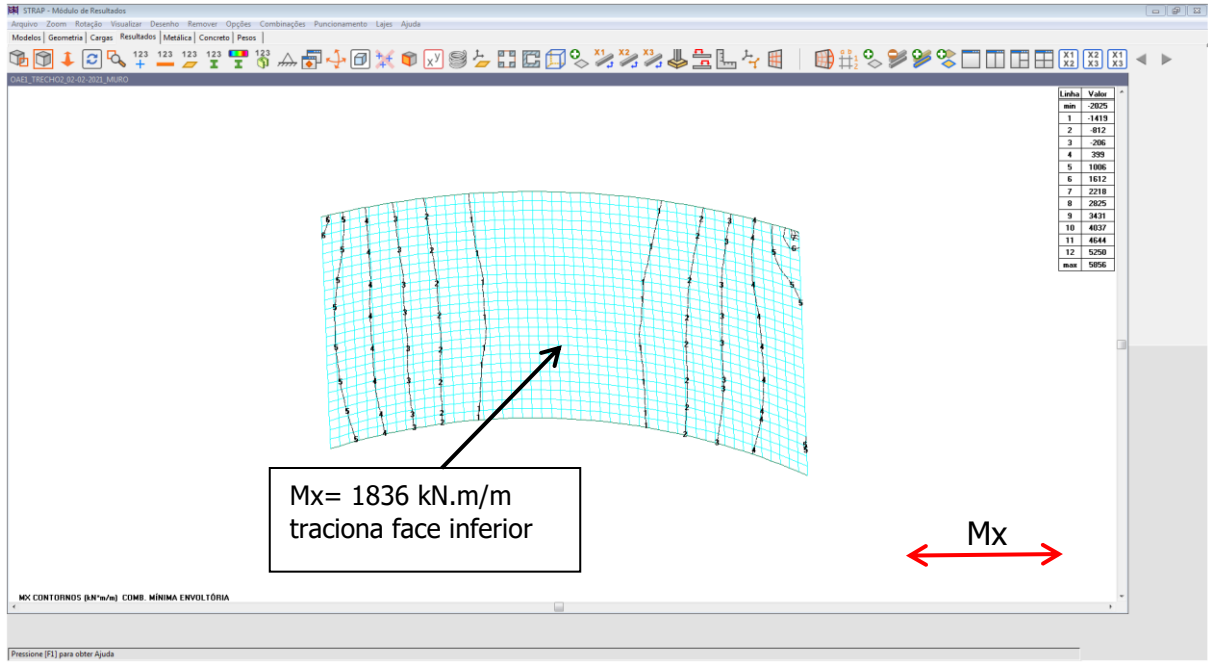


Figura 7.2 – Diag. Mom. M_x – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

Esforços Cortantes (ELU) – Direção X (V_{xz}):

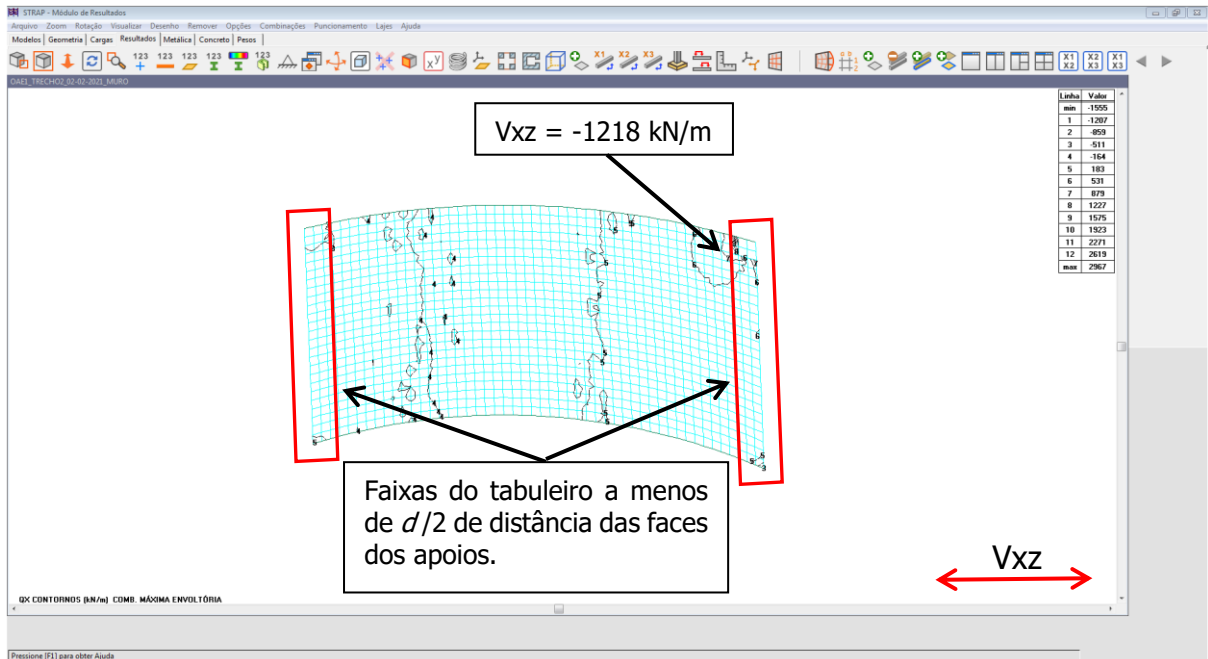


Figura 7.3 – Diag. Cortante V_{xz} – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

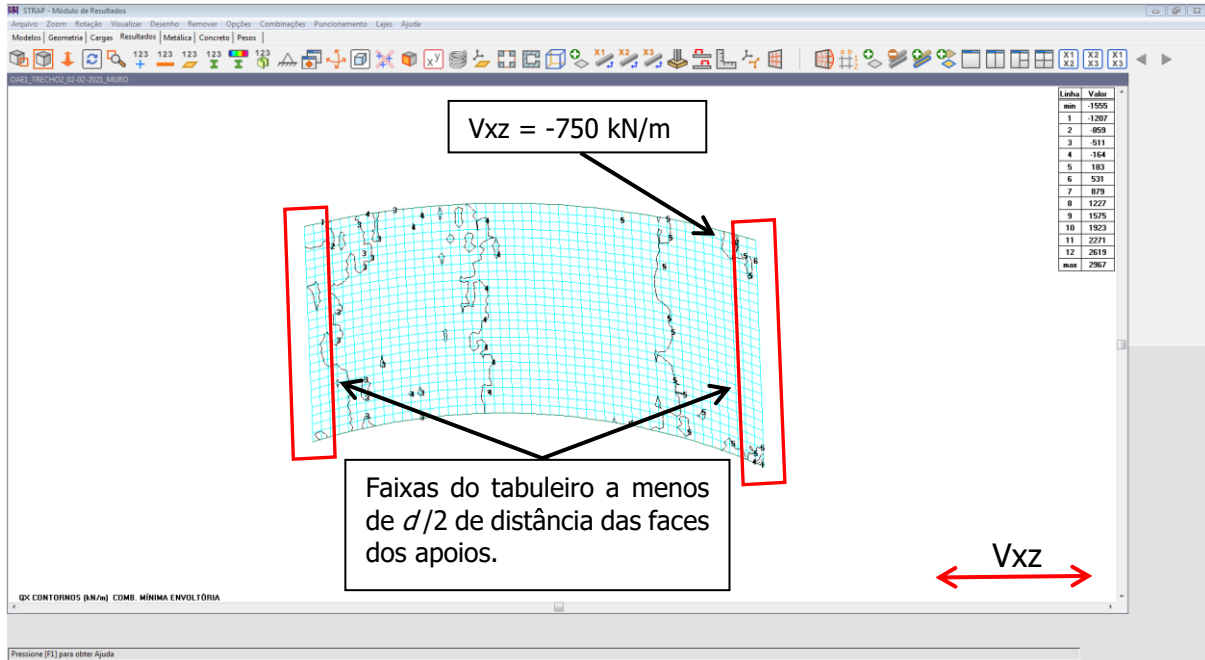


Figura 7.4 – Diag. Cortante V_{xz} – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

Momentos Fletores (ELU) – Direção Y:

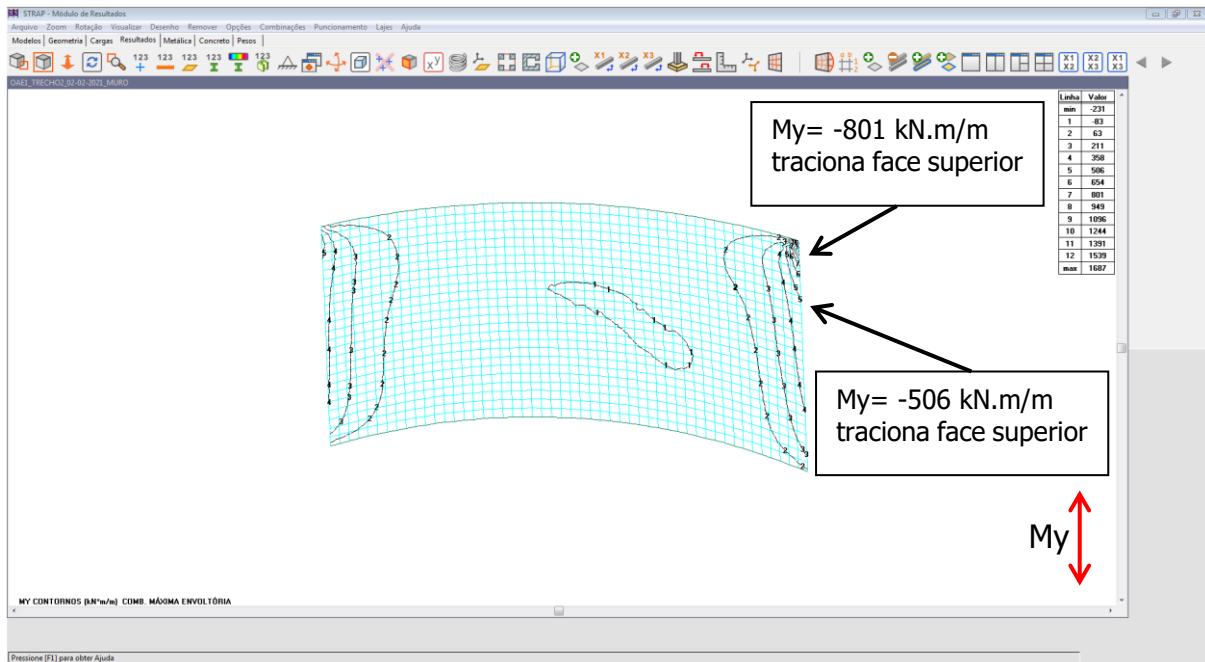


Figura 7.5 – Diag. Mom. M_y – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

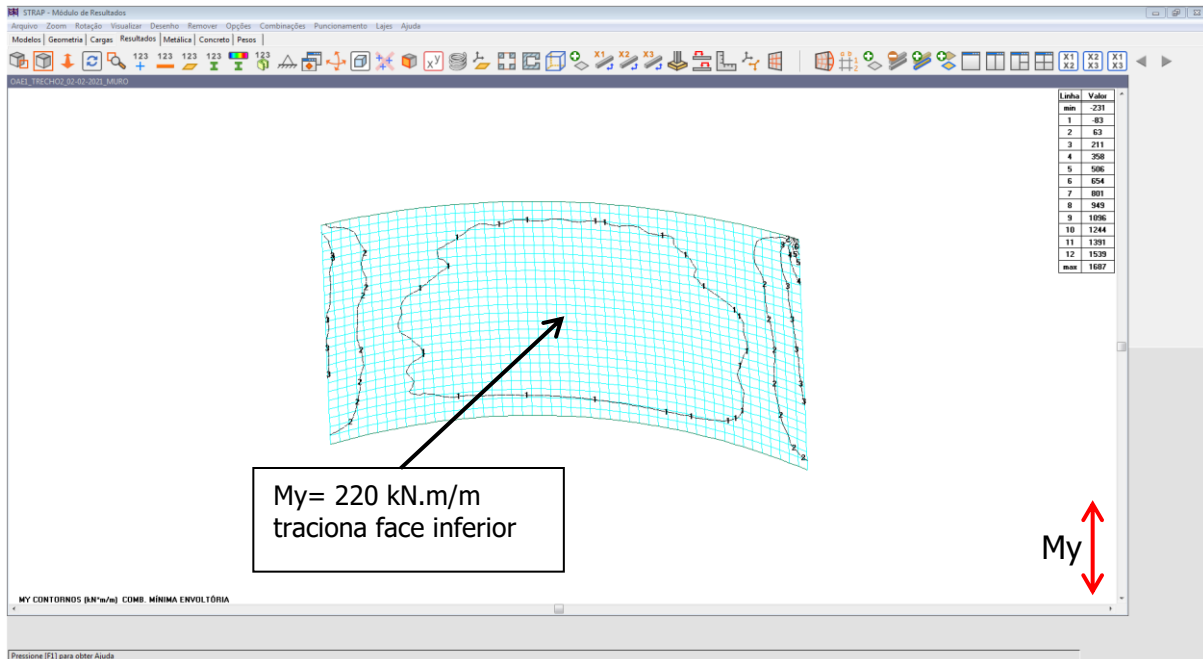


Figura 7.6 – Diag. Mom. My – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

Esforços Cortantes (ELU) – Direção Y (Vyz):

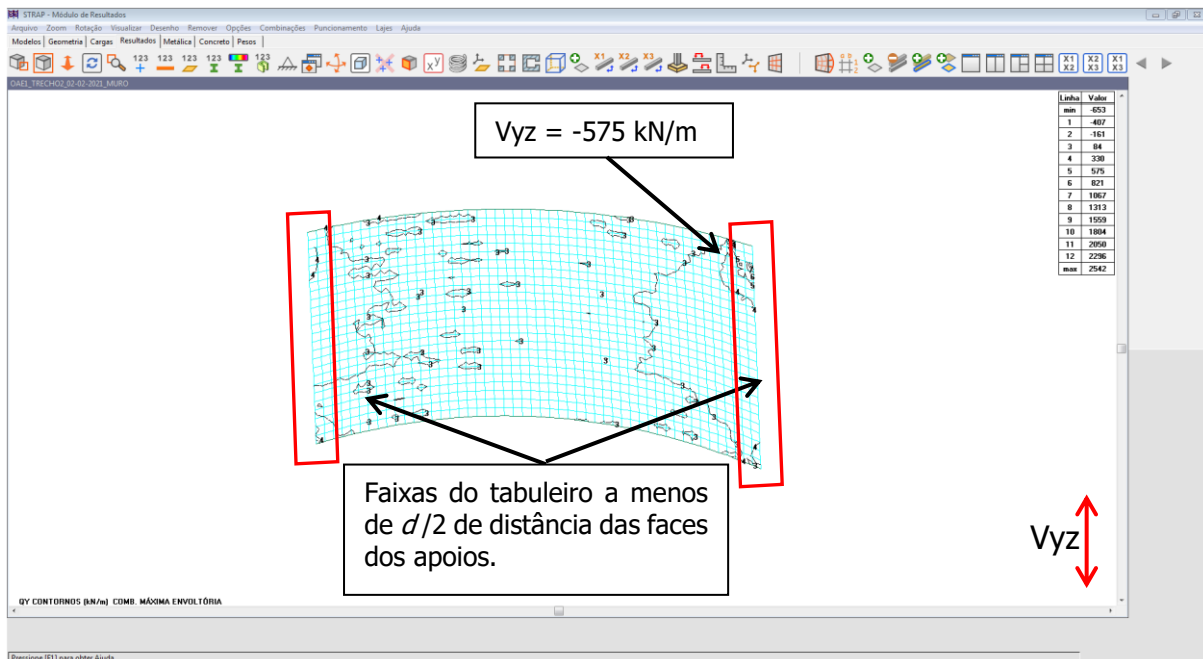


Figura 7.7 – Diag. Cortante Vyz – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

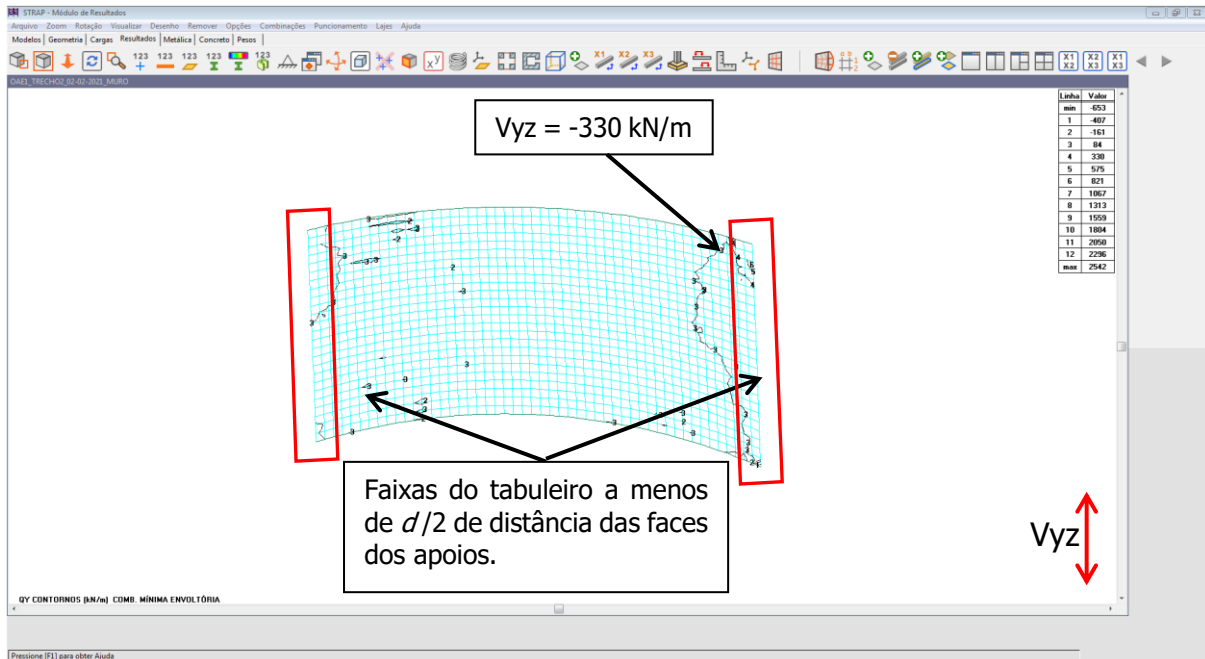


Figura 7.8 – Diag. Cortante V_{yz} – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

7.2. DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO – ELU:

Os elementos estruturais foram dimensionados com base na norma NBR 6118:2014 e serão apresentados por meio de saídas gráficas automatizadas do software STRAP 2020.

7.2.1. DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO AO MOMENTO FLETOR:

- Direção X – Armadura da face superior do Tabuleiro:

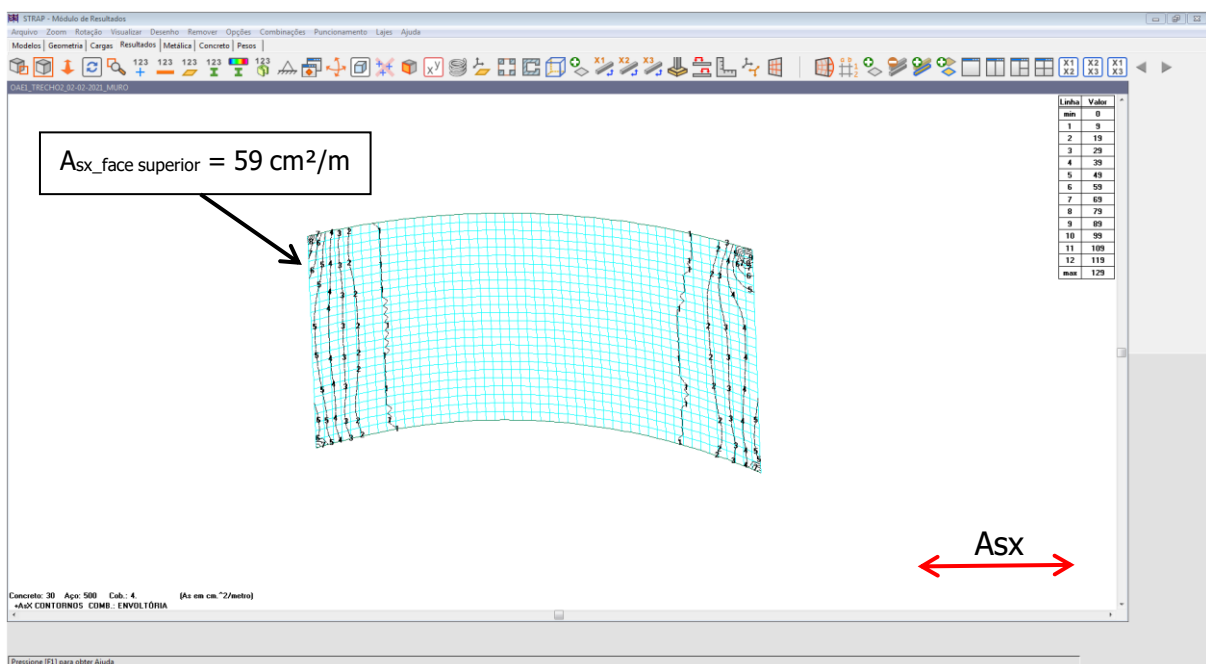


Figura 7.9 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face superior do Tabuleiro (cm²/m)
Armadura de projeto = 65,45 cm²/m – **(OK)**.

- Direção X – Armadura da face inferior do Tabuleiro:

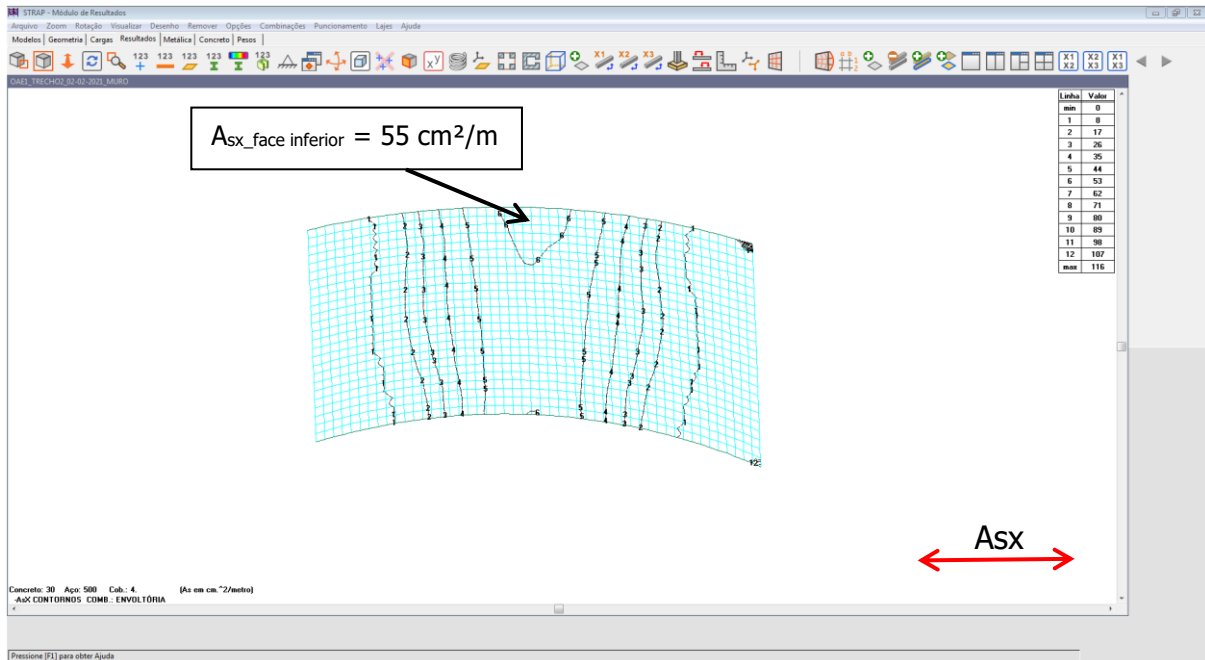


Figura 7.10 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face inferior do Tabuleiro (cm²/m) Armadura de projeto = 57,3 cm²/m – **(OK)**.

- Direção Y – Armadura da face superior do Tabuleiro:

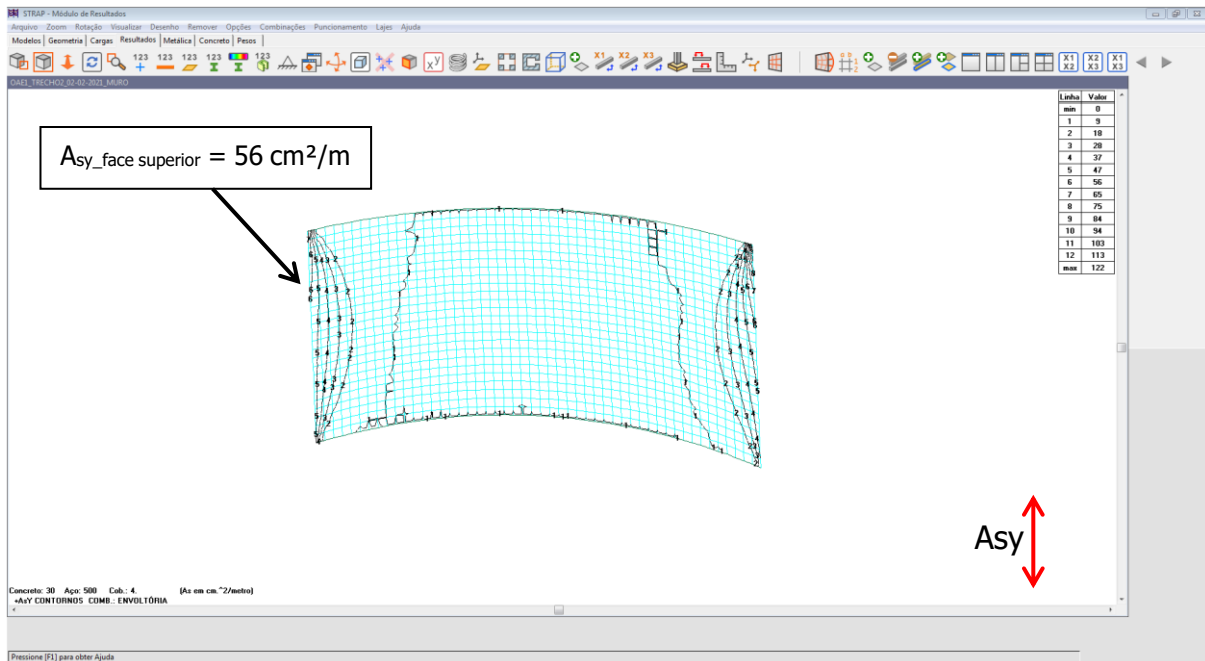


Figura 7.11 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face superior do Tabuleiro (cm²/m) Armadura de projeto = 98,2 cm²/m – **(OK)**.

• **Direção Y – Armadura da face inferior do Tabuleiro:**

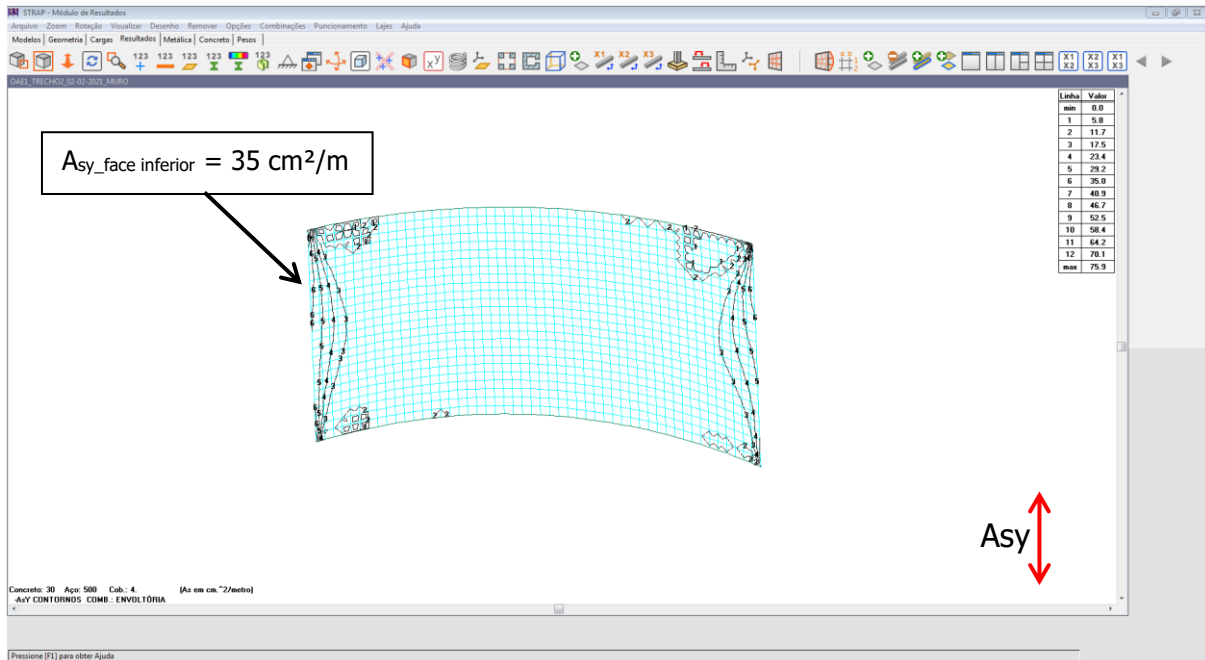


Figura 7.12 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face inferior do Tabuleiro (cm²/m)
Armadura de projeto = 85,6 cm²/m – **(OK)**.

7.2.2. DIMENSIONAMENTO DO TABULEIRO AO ESFORÇO CORTANTE:

$b_w = 100 \text{ cm}, h = 120 \text{ cm}, d' = 3 \text{ cm}$

$V_{max} = 1218,0 \text{ kN/m}$

DADOS	
$V_n =$	1218,0 kN
$\gamma_f =$	1
$f_{ck} =$	30 MPa
$\gamma_c =$	1,4
$b =$	100 cm
$h =$	85 cm
$d' =$	4 cm
$A_{s1} =$	65,45 cm ²
$N_S =$	700,0 kN
VERIFICAÇÃO	
$\tau_{Rd} =$	0,0362 kN/cm ²
$k =$	1,00
$\rho_1 =$	0,0081
$\sigma_{cp} =$	0,08642 kN/cm ²
$V_{Sd} =$	1218,0 kN
$V_c =$	703,8 kN
$V_{Sd} >$	V_{Rd1}
ARMA	

A_{s1} : área da armadura de tração que se estende até não menos que $d+l_{b,nec}$.

N_S : força longitudinal na seção devida à protensão ou carregamento.

Dados	
Fck =	30 MPa
γ_c =	1,4
Aço =	500 MPa
γ_s =	1,15
bw =	100 cm
h =	85 cm
d' =	4 cm
d =	81 cm
Vs =	1218 kN
γ_f =	1
Vsd =	1218 kN
Verificação do concreto	
Vsd =	1218,0 kN
Vrd2 =	4124,1 kN
Vsd =	< Vrd2
Concreto = Biela não romperá	
Armadura	
Vrd3 =	Vc + Vsw
Vc =	703,8 kN
Vsw =	(Asw/s)*0,9*d*Fyw d*(sen α +cos α)
Asw =	16,22 cm ² /m
Asw(min.) =	11,59 cm ² /m
Asw (Final) =	16,22 cm ² /m ←
Espaçamento	
Vsd =	1218,0 kN
0,67*Vrd2 =	2763,1 kN/cm ²
S _{máx} =	30 cm

Armadura de projeto = 20,1 cm²/m – **(OK)**.

7.3. GUARDA-RODAS

Conforme item 5.2.3.4 da Norma NBR-7188:2013, o dispositivo de contenção deve ser dimensionado para uma força horizontal de 100 kN. A força é aplicada em um comprimento de 50 cm e espraída a 45° (item 5.2.3.2 da Norma).

- Seção com $h = 40$ cm (base da peça); $d' = 4$ cm.

$$M_k = \frac{100 \times 0,9}{0,5 + 2 \times 0,9} = 40 \text{ kNm/m}$$

1. Esforços na Laje:		
$M_d =$	4000,0	(kgf.m) : Esforços STRAP (COMBINADO)
$\gamma_f =$	1,5	: coeficiente de momento de cálculo.
$M_d = \gamma_f * M_k$	6000,0	(kgf.m)
2. Características dos Materiais:		
$F_{ck} =$	30,0	(MPa)
$F_{cd} =$	214,29	(kgf/cm ²)
$F_{yk} =$	500,0	(MPa)
$F_{yd} =$	4347,83	(kgf/cm ²)
$F_{ct}^m = 0.3 * (F_{ck})^{2/3}$	2,896	(MPa) : resistência média à tração do concreto.
$F_{ctk}^{sup} = 1.3 * F_{ct}^m$	3,765	(MPa) : resistência superior à tração do concreto.
$F_{ctk}^{sup} =$	37,65	(kgf/cm ²)
3. Dados Geométricos da Seção de Concreto:		
$b =$	100,0	(cm) : cálculo por metro de largura.
$h =$	40,0	(cm) : espessura da laje.
$d' =$	3,0	(cm)
$d = h - d' =$	37,00	(cm) : altura útil da seção de concreto.
$W_0 = b * h^2 / 6 =$	26666,7	(cm ³)
4. Limites para Armadura Simples:		
$x_1 = 0.5 * d =$	18,50	(cm)
$y_1 = 0.8 * x_1 =$	14,80	(cm)
$z_1 = (d - y_1/2)$	29,60	(cm)
$M_1 = 0.85 * (b/100) * y_1 * f_{cd} * z_1 / \gamma_f$	53195,4	(kgf.m) : momento limite para armadura simples.
$M_{min} = [0.8 * W_0 * f_{ctk}^{sup} / \gamma_f] * (10^{-2})$	5355,25	(kgf.m) : momento mínimo.
5. Dimensionamento à Flexão da Seção de Concreto:		
$y =$	0,90	(cm) : $y = d * [1 - [1 - (2 * M_d / (0.85 * (b/100) * d^2 * f_{cd})]^{0.5}]$
$z =$	36,55	(cm) : $z = d * [1 - (0.5 * y/d)]$
$A_s = M_d / [(z/100) * F_{yd}]$	3,78	(cm ² /m) : armadura calculada
$\rho_{min} = 0.15\% . b . h$	0,00150	: taxa de armadura mínima
$A_s^{min} = \rho_{min} * b * h$	6,00	(cm ² /m) : armadura mínima
$A_s = \max(A_s, A_s^{min})$	6,00	(cm ² /m) : armadura adotada

7.4. ESTADOS LIMITES DE ABERTURA DE FISSURAS / FADIGA:

Para a verificação do Estado Limite de Abertura de Fissuras e Estado Limite de Fadiga os esforços considerados foram obtidos a partir das combinações frequentes de serviço C7 e C8 definidas no item 6.

Momentos Fletores (ELFS) – Direção X:

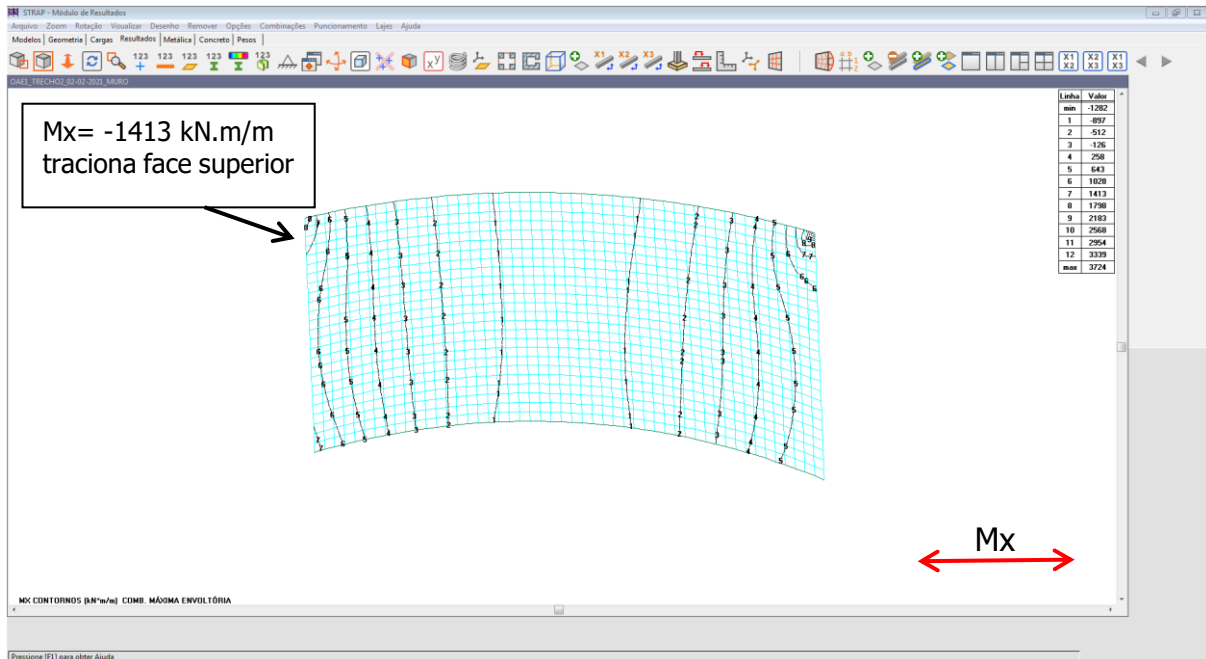


Figura 7.13 – Diag. Momento M_x – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C7 e C8 (kN.m/m)

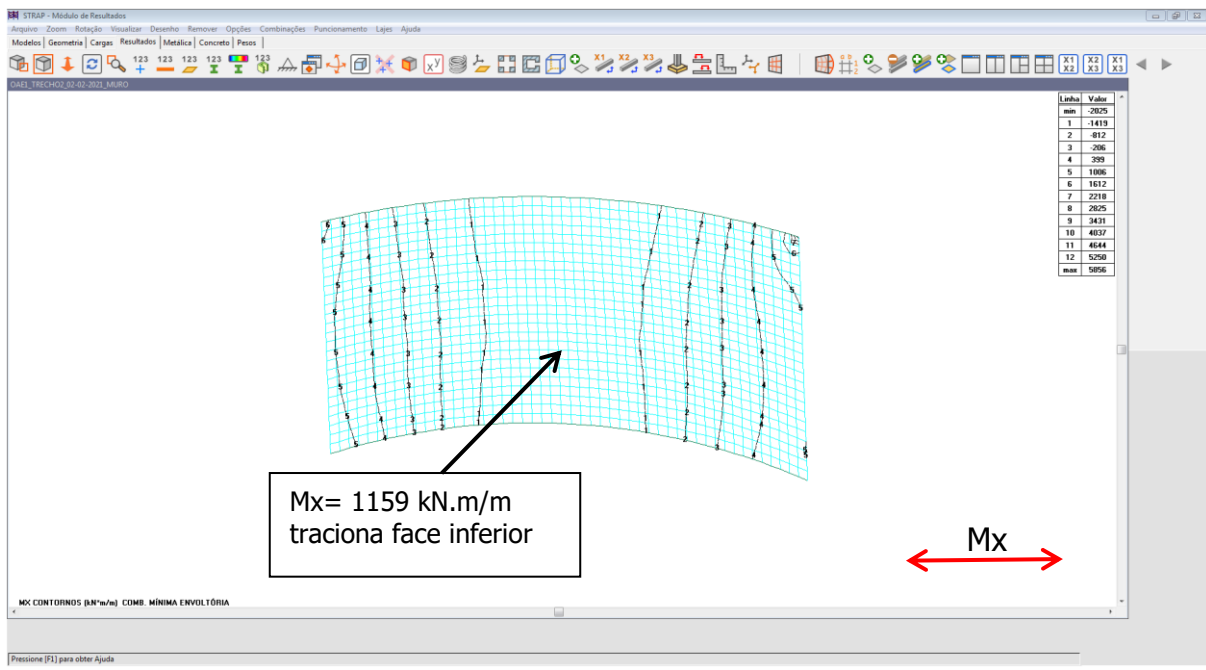


Figura 7.14 – Diag. Mom. M_x – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C7 e C8 (kN.m/m)

Esforços Cortantes (ELFS) – Direção X (V_{xz}):

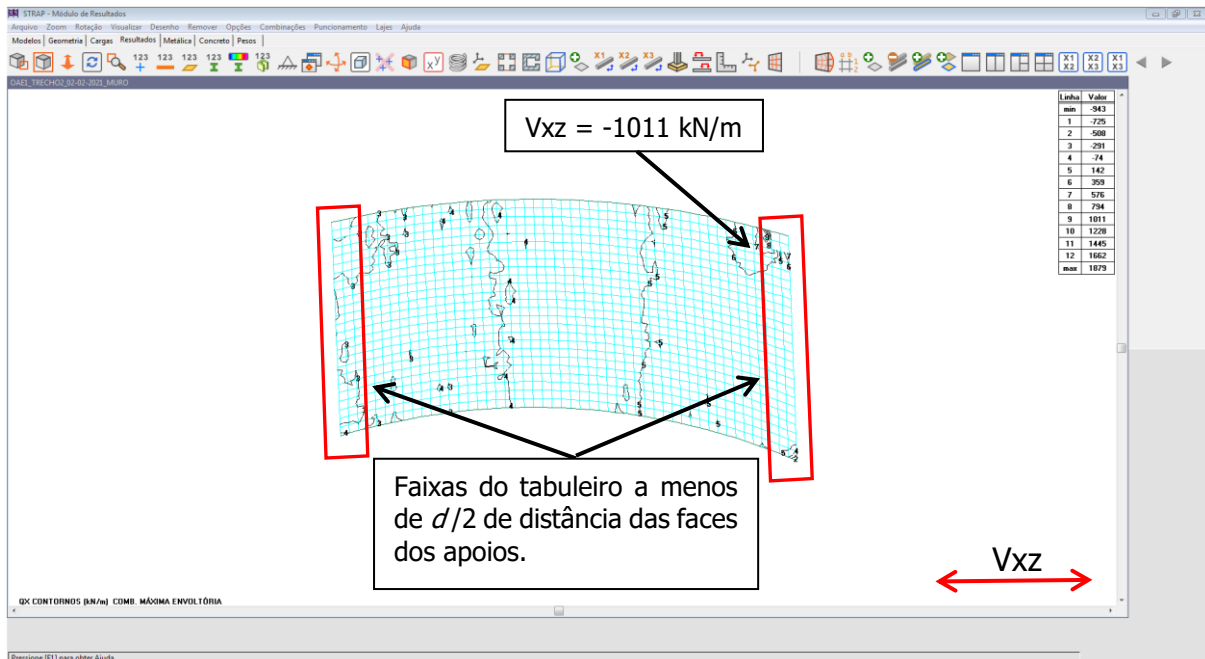


Figura 7.15 – Diag. Cortante V_{xz} – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C7 e C8 (kN/m)

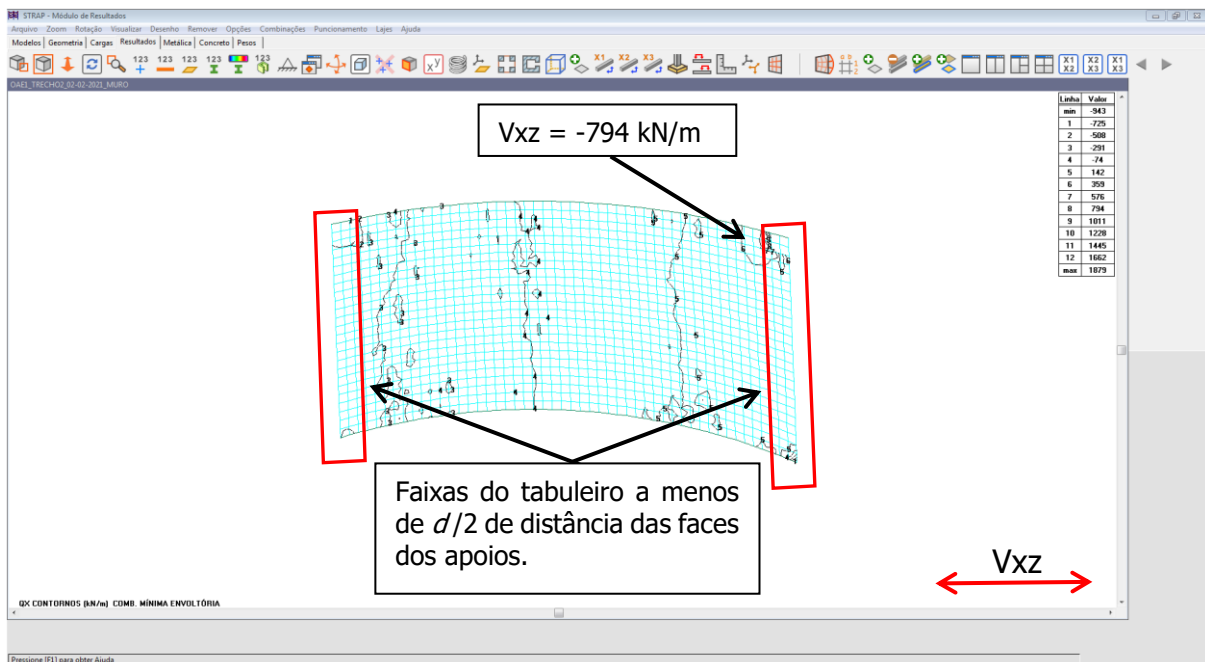


Figura 7.16 – Diag. Cortante V_{xz} – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C7 e C8 (kN/m)

Momentos Fletores (ELFS) – Direção Y:

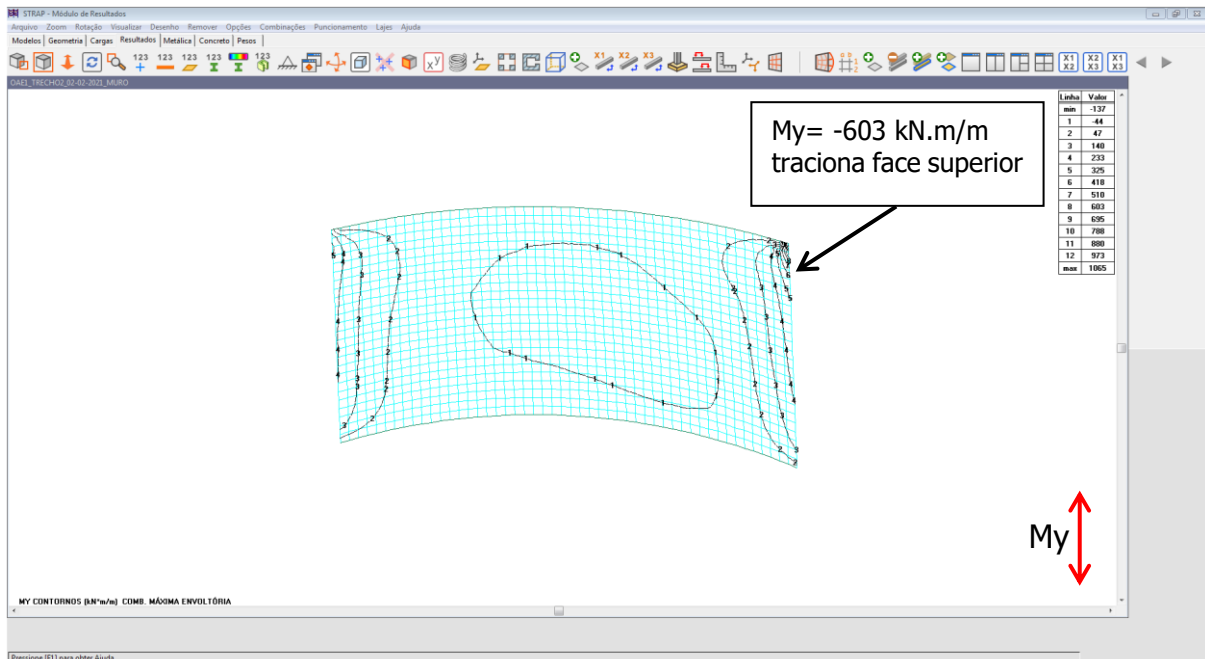


Figura 7.17 – Diag. Mom. M_y – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C7 e C8 (kN.m/m)

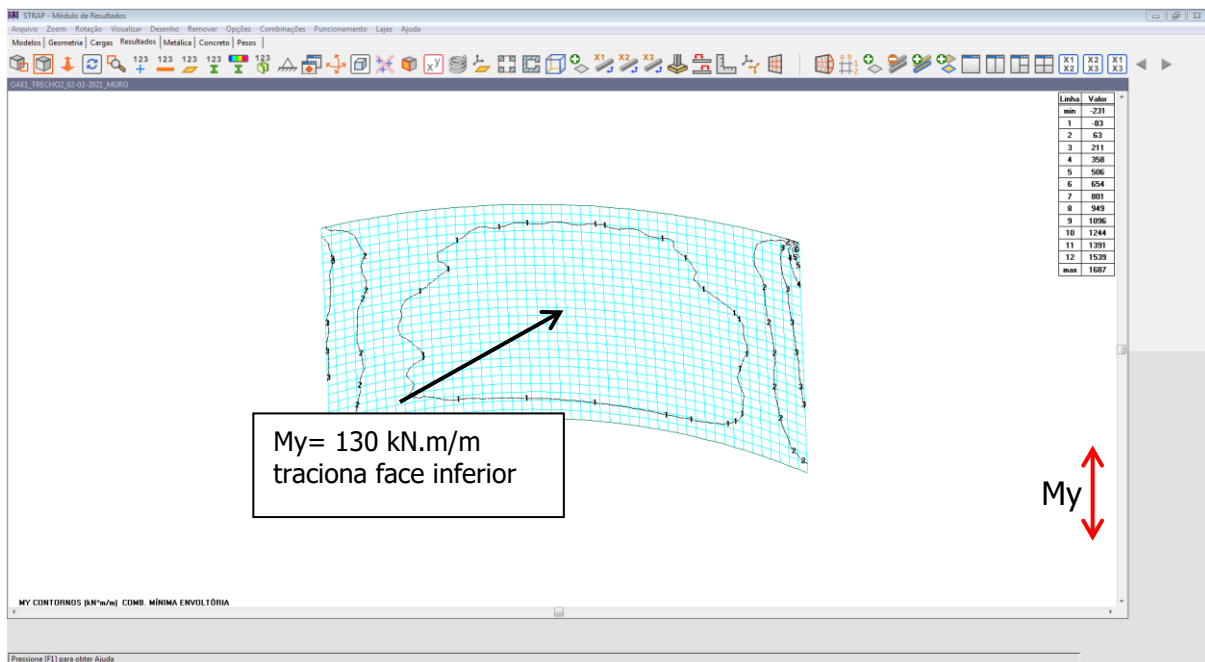


Figura 7.18 – Diag. Mom. M_y – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C7 e C8 (kN.m/m)

Esforços Cortantes (ELFS) – Direção Y (V_{yz}):

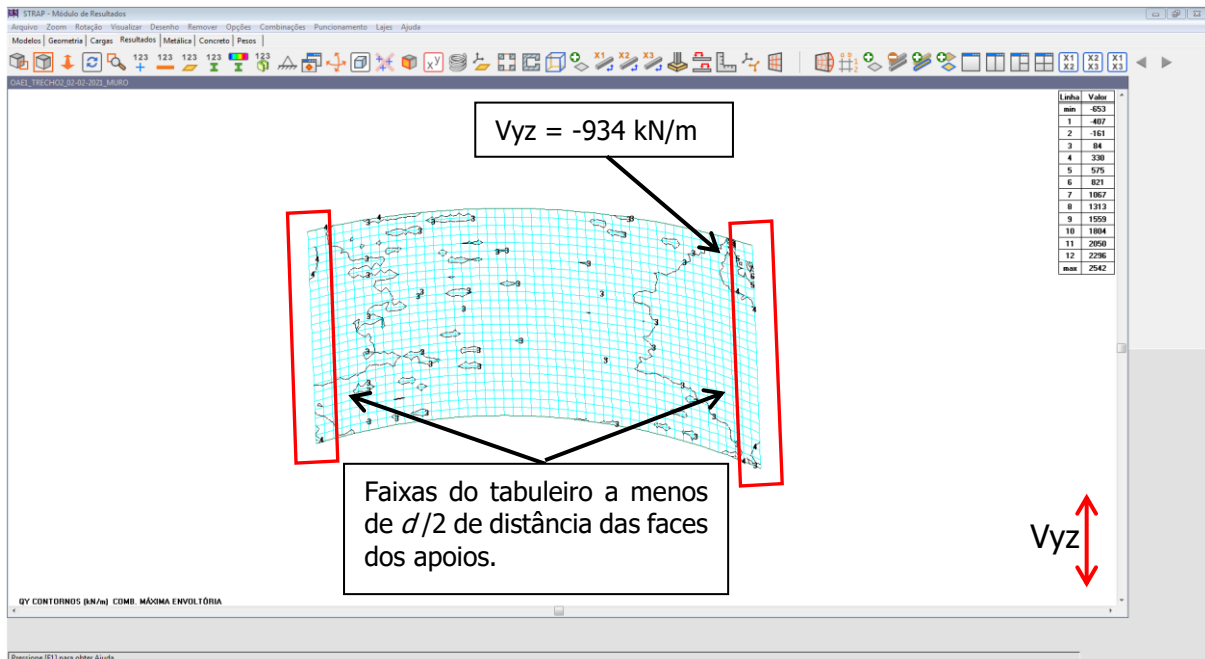


Figura 7.19 – Diag. Cortante V_{yz} – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C7 e C8 (kN/m)

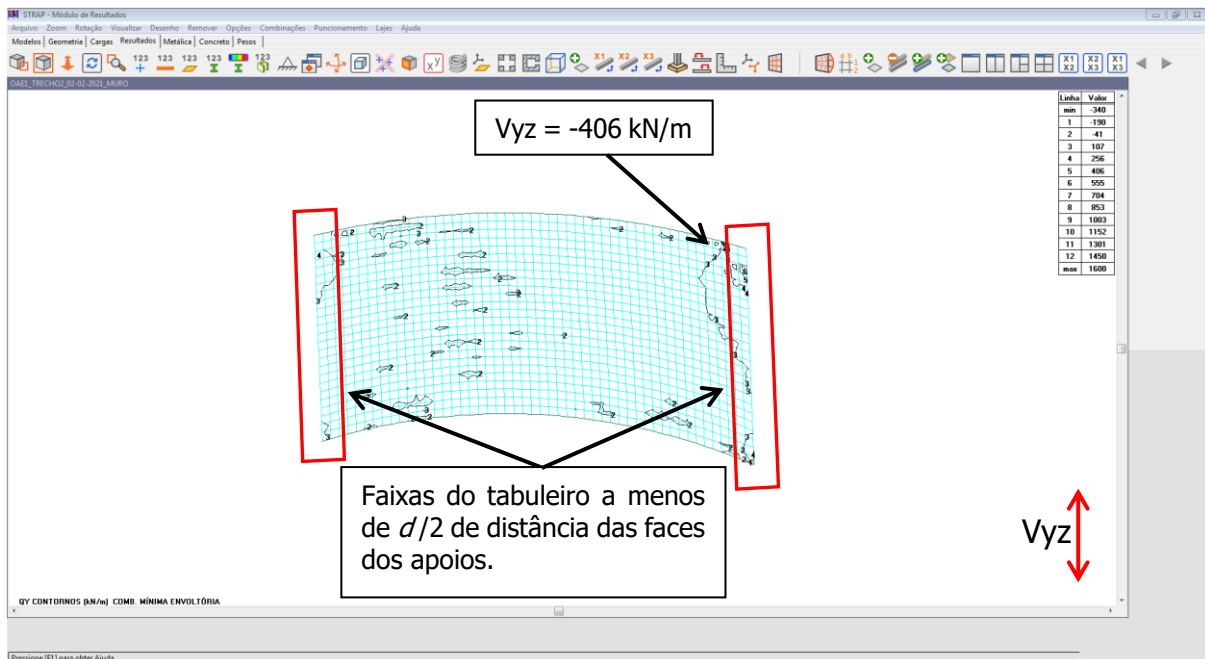


Figura 7.20 – Diag. Cortante V_{yz} – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C7 e C8 (kN/m)

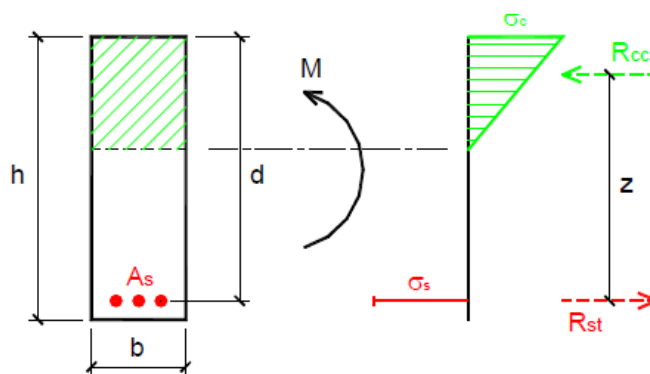
7.4.1. VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE ÚLTIMO DE FADIGA

A verificação do estado limite último de fadiga será realizada de acordo com as prescrições da Seção 23 da norma NBR 6118:2014, a qual apresenta as seguintes disposições:

- Para verificação da fadiga, os esforços solicitantes podem ser calculados no regime elástico;
- O cálculo das tensões produzidas por solicitações normais pode ser realizado no estágio II; e
- Para o cálculo das tensões no estágio II, admite-se $n = 10$ (relação entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto).

A verificação da fadiga na flexão foi realizada por meio do seguinte roteiro:

1. Esforços obtidos no Estado Limite Freqüente de Serviço (ELFS);
2. Cálculo das Tensões na Armadura de Flexão no Estádio II (σ_{Max} e σ_{min}), conforme modelo de cálculo simplificado de Walter Pfeil – Concreto Armado, como segue:



$$z \approx 0,87 \cdot d$$

$$R_{st} = R_{cc} = \frac{M}{z} \Rightarrow \sigma_s = \frac{R_{st}}{A_s} = \frac{M}{z \cdot A_s} \approx \frac{M}{0,87 \cdot d \cdot A_s}$$

3. Cálculo do $\Delta\sigma = \sigma_{Max} - \sigma_{min}$;
4. Efetuar a seguinte verificação: $\gamma_f \times \Delta\sigma \leq \Delta f_{sd_{fad}}$, sendo que os valores de $\Delta f_{sd_{fad}}$ estão dispostos na Tabela 23.2 da NBR 6118:2014. O coeficiente $\gamma_f = 1,0$ para o material aço.
5. Se $\Delta\sigma > \Delta f_{sd_{fad}}$, então se deve calcular o coeficiente para correção da área de aço K_s ($K_s = \Delta\sigma / \Delta f_{sd_{fad}}$).

Para a verificação da fadiga no cisalhamento foi adotado o seguinte roteiro:

1. Cálculo das tensões na armadura de cisalhamento:

$$V_c = 0,6 \times f_{ctd} \times b_w \times d$$

$$f_{ctd} = (f_{ctk_{inf}} \times 10) / 1,4$$

$$f_{ctk_{inf}} = 0,7 \times f_{ct_m}$$

$$f_{ct_m} = 0,3 \times (f_{ck}^{2/3})$$

$$\sigma_{sw} = (V - 0,5 \times V_c) / ((A_{sw} / s) \times 0,9 \times d)$$

2. Observações:

σ_{sw} não pode resultar negativo (compressão)

Se $V < 0,5 \times V_c \rightarrow \sigma_{sw} = 0$

Se V_{max} e V_{min} tiverem sinais contrários:

$\sigma_{sw,max}$ = valor calculo com o maior valor entre modulo de V_{max} e modulo de V_{min}

$$\sigma_{sw,min} = 0$$

3. Efetuar a seguinte verificação: $\gamma_f \times \Delta\sigma \leq \Delta f_{sd_{fad}}$, sendo que os valores de $\Delta f_{sd_{fad}}$ para cisalhamento estão dispostos na Tabela 23.2 da NBR 6118. O coeficiente $\gamma_f = 1,0$ para o material aço.

4. Se $\Delta\sigma > \Delta f_{sd_{fad}}$, então se deve calcular o coeficiente para correção da área de aço K_s ($K_s = \Delta\sigma / \Delta f_{sd_{fad}}$).

• Verificação da fadiga – Flexão na Direção X:

$$b_w = 100 \text{ cm}, h = 85 \text{ cm}, d' = 4 \text{ cm}$$

$$ELFS: \quad M_{X_ELFS \text{ MAX}} = 1413 \text{ kN.m} \quad (\text{traciona face superior})$$

$$M_{X_ELFS \text{ MIN}} = 1028 \text{ kN.m} \quad (\text{traciona face superior})$$

$$As \text{ adotado} = 65,45 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Momento Fletor		Seção					Área de Aço			Verificação da Fadiga					
M_{max} (kgf.cm)	M_{min} (kgf.cm)	b_w (cm)	h (cm)	d' (cm)	d (cm)	z (cm)	A_{s1} (cm ²)	A_{s2} (cm ²)	ϕ (mm)	σ_{max} (Kgf/cm ²)	σ_{min} (Kgf/cm ²)	γ_f	$\Delta\sigma$ (Kgf/cm ²)	$\Delta f_{sd_{fad}}$ (Kgf/cm ²)	K
14130000	10280000	100,00	85,00	4,00	81,00	70,47	65,45	65,45	25	3063,57	2228,84	1,0	834,73 <	1750	1,0

$$b_w = 100 \text{ cm}, h = 85 \text{ cm}, d' = 4 \text{ cm}$$

$$ELFS: \quad M_{X_ELFS \text{ MAX}} = 1159 \text{ kN.m} \quad (\text{traciona face inferior})$$

$$M_{X_ELFS \text{ MIN}} = 1033 \text{ kN.m} \quad (\text{traciona face inferior})$$

$$As \text{ adotado} = 49,10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Momento Fletor		Seção					Área de Aço			Verificação da Fadiga					
M_{max} (kgf.cm)	M_{min} (kgf.cm)	b_w (cm)	h (cm)	d' (cm)	d (cm)	z (cm)	A_{s1} (cm ²)	A_{s2} (cm ²)	ϕ (mm)	σ_{max} (Kgf/cm ²)	σ_{min} (Kgf/cm ²)	γ_f	$\Delta\sigma$ (Kgf/cm ²)	$\Delta f_{sd_{fad}}$ (Kgf/cm ²)	K
11590000	10330000	100,00	85,00	4,00	81,00	70,47	49,10	49,10	25	3349,64	2985,48	1,0	364,15 <	1750	1,0

• Verificação da fadiga – Flexão na Direção Y:

$bw = 100 \text{ cm}, h = 85 \text{ cm}, d' = 4 \text{ cm}$

ELFS: $My_{ELFS \text{ MAX}} = 603 \text{ kN.m}$ (traciona face superior)

$My_{ELFS \text{ MIN}} = 325 \text{ kN.m}$ (traciona face superior)

As adotado = 49,10 cm²/m

Momento Fletor		Seção					Área de Aço			Verificação da Fadiga					
M_{max} (kgf.cm)	M_{min} (kgf.cm)	bw (cm)	h (cm)	d' (cm)	d (cm)	z (cm)	As ₁ (cm ²)	As ₂ (cm ²)	ø (mm)	σ_{max} (Kgf/cm ²)	σ_{min} (Kgf/cm ²)	γ_f	$\Delta\sigma$ (Kgf/cm ²)	$\Delta f_{sd_{fad}}$ (Kgf/cm ²)	K
6030000	3250000	100,00	85,00	4,00	81,00	70,47	49,10	49,10	25	1742,74	939,29	1,0	803,45 <	1750	1,0

$bw = 100 \text{ cm}, h = 85 \text{ cm}, d' = 4 \text{ cm}$

ELFS: $My_{ELFS \text{ MAX}} = 130 \text{ kN.m}$ (traciona face inferior)

$My_{ELFS \text{ MIN}} = 73 \text{ kN.m}$ (traciona face inferior)

As adotado = 49,10 cm²/m

Momento Fletor		Seção					Área de Aço			Verificação da Fadiga					
M_{max} (kgf.cm)	M_{min} (kgf.cm)	bw (cm)	h (cm)	d' (cm)	d (cm)	z (cm)	As ₁ (cm ²)	As ₂ (cm ²)	ø (mm)	σ_{max} (Kgf/cm ²)	σ_{min} (Kgf/cm ²)	γ_f	$\Delta\sigma$ (Kgf/cm ²)	$\Delta f_{sd_{fad}}$ (Kgf/cm ²)	K
1300000	730000	100,00	85,00	4,00	81,00	70,47	49,10	49,10	25	375,71	210,98	1,0	164,74 <	1750	1,0

• Verificação da fadiga – Esforço cortante Vxz:

$bw = 100 \text{ cm}, h = 85 \text{ cm}, d' = 4 \text{ cm}$

ELFS: $Vxz_{ELFS \text{ MAX}} = 1011 \text{ kN}$

$Vxz_{ELFS \text{ MIN}} = 576 \text{ kN}$

As adotado = 20,10 cm²/m

Esforço Cortante		Seção					Área de Aço			Verificação da Fadiga					
V_{max} (kgf)	V_{min} (kgf)	bw (cm)	h (cm)	d' (cm)	d (cm)	As (cm ²)	ø (mm)	s (cm)	Vc (kgf)	σ_{max} (Kgf/cm ²)	σ_{min} (Kgf/cm ²)	γ_f	$\Delta\sigma$ (Kgf/cm ²)	$\Delta f_{sd_{fad}}$ (Kgf/cm ²)	K
101100,00	57600,00	100,00	85,00	4,00	81,00	20,10	8	10	70384	449,79	152,92	1	296,87 <	850	1

• Verificação da fadiga – Esforço Cortante Vyz:

$bw = 100 \text{ cm}, h = 85 \text{ cm}, d' = 4 \text{ cm}$

ELFS: $Vxz_{ELFS \text{ MAX}} = 934 \text{ kN}$

$Vxz_{ELFS \text{ MIN}} = 402 \text{ kN}$

As adotado = 20,10 cm²/m

Esforço Cortante		Seção					Área de Aço			Verificação da Fadiga					
V_{max} (kgf)	V_{min} (kgf)	bw (cm)	h (cm)	d' (cm)	d (cm)	As (cm ²)	ø (mm)	s (cm)	Vc (kgf)	σ_{max} (Kgf/cm ²)	σ_{min} (Kgf/cm ²)	γ_f	$\Delta\sigma$ (Kgf/cm ²)	$\Delta f_{sd_{fad}}$ (Kgf/cm ²)	K
93400,00	40200,00	100,00	85,00	4,00	81,00	20,10	8	10	70384	397,24	34,18	1	363,07 <	850	1

7.4.2. VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE FISSURAÇÃO (ABERTURA DE FISSURA)

Para a verificação do estado limite de fissuração (abertura de fissuras) foi utilizado o seguinte roteiro:

1. Cálculo da taxa de armadura de tração relativa à área A_{cri} do concreto de envolvimento:

$$A_{cri} = bw \times (C_{nom} + \Phi_t + 8\Phi)$$

$$\rho = A_s / A_{cri}$$

2. Verificação do estado limite de descompressão e formação de fissuras:

$$E_{cs} = 0,88 \times 5600 \times (f_{ck}^{1/2})$$

$$E_s = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

$$\alpha_e = E_{cs} / E_s$$

3. Cálculo da profundidade da linha neutra da seção no estágio II.

$$XII = ((\alpha_e \times A_s) / (bw)) \times (-1 + (1 + (2 \times bw \times d) / (\alpha_e \times A_s))^{1/2})$$

4. Cálculo da tensão na armadura em serviço:

$$\sigma_s = M_k / A_s \times (d - x / 3)$$

5. Controle da fissuração pela limitação da abertura estimada. Desta forma, a menor das aberturas, estimada pelas duas formulas apresentadas a seguir, deve ser inferior à abertura máxima de fissuras definida pela Tabela 13.4 da NBR 6118:2014, para que se indique um comportamento satisfatório quanto ao limite de fissuração.

$$w \leq (\Phi / 12,5 \times \eta_i) \times (\sigma_{si} / E_s) \times (3 \times \sigma_{si} / f_{ctm})$$

$$w \leq (\Phi / 12,5 \times \eta_i) \times (\sigma_{si} / E_s) \times ((4 / \rho_{cri}) + 45)$$

Vale ressaltar que em todos os casos verificados nesta análise, sempre a menor das aberturas, estimada por uma das duas formulas apresentadas anteriormente, esteve inferior à abertura máxima de fissuras definida, indicando comportamento satisfatório quanto ao limite de fissuração.

• Verificação abertura de fissuras – Flexão na Direção X:

$b_w = 100 \text{ cm}, h = 85 \text{ cm}, d' = 4 \text{ cm}$

ELFS: $M_{x_ELFS} = 1413 \text{ kN.m}$ (traciona face superior)

$A_s \text{ adotado} = 65,45 \text{ cm}^2/\text{m}$

1. Propriedades Mecânicas e Geométricas:

$f_{ck} =$	30,0	(MPa)	: resistência característica do concreto.
$E_{cs} =$	26991,8	(MPa)	: $E_{cs} = 0.88 \cdot 5600 (f_{ck})^{0.5}$ [MPa]
$E_{cs} =$	269917,7	(kgf/cm ²)	
$b_w =$	100,0	(cm)	: seção transversal retangular ($b_w \times h = 100 \times h$).
$h =$	85,0	(cm)	
$d' =$	4,0	(cm)	: dist. do CG da arm. de tração à fibra mais tracionada.
$d = h - d'$	81,0	(cm)	: altura útil da laje.
$c =$	3,0	(cm)	: cobrimento da armadura.
$\phi_l =$	2,50	(cm)	: diâmetro da armadura longitudinal.
$\phi_t =$	2,50	(cm)	: diâmetro da armadura transversal.
$E_s =$	2,10E+06	(kgf/cm ²)	: módulo de elasticidade do aço.
$A_s =$	65,45	(cm ² /m)	: armadura tracionada.

2. Determinação da Abertura de Fissuras:

$M_k =$	141300,0	(kgf.m/m)	: momento característico máximo.
$\alpha_e = E_s/E_{cs}$	7,78		
$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3}$	2,90	(Mpa)	: resistência à tração média do concreto.
	28,96	(kgf/cm ²)	
$x =$	24,08	(cm)	(Profundidade da linha neutra da seção no Estádio II) : $x = (\alpha_e A_s / b_w) \cdot [-1 + (1 + 2b_w d / (\alpha_e A_s))^{0.5}]$ (Tensão nas barras da arm. sob solicitações de serviço)
$\sigma_{si} =$	2958,44	(kgf/cm ²)	: $\sigma_{si} = M_k / [A_s(d-x/3)]$
$N_c =$	1	(unid.)	: número de camadas da armadura de tração.
$h_{crit} =$	25,50	(cm)	: altura da área crítica $\Rightarrow h_{crit} = c + \phi_t + (N_c - 1)(\phi_t + c) + 8\phi_t$
$A_{crit} = b_w \cdot h_{crit}$	2550,00	(cm ²)	: área crítica do concreto de envolvimento das barras.
$\rho_{crit} = A_s / A_{crit}$	0,026		: taxa de armadura de tração relativa à área crítica.
$\eta_i =$	2,25		: coeficiente de aderência ao concreto do aço empregado. [$\eta_i = 2.25$ (CA-50) e $\eta_i = 1.40$ (CA-60)]
$\omega_1 =$	0,384	(mm)	$\omega_1 = [\phi_t / (12.5\eta_i)] \cdot (\sigma_{si} / E_s) \cdot (3\sigma_{si} / f_{ctm})$
$\omega_2 =$	0,252	(mm)	$\omega_2 = [\phi_t / (12.5\eta_i)] \cdot (\sigma_{si} / E_s) \cdot [(4 / \rho_{crit}) + 45]$
$\omega_k = \min(\omega_1, \omega_2)$	0,252	(mm)	
$\omega_{lim} =$	0,30	(mm)	: $\omega_{lim} = 0.3 \text{ mm}$
	OK!		

$$b_w = 100 \text{ cm}, h = 85 \text{ cm}, d' = 4 \text{ cm}$$

$$\text{ELFS: } M_{X_ELFS} = 927 \text{ kN.m} \quad (\text{traciona face inferior})$$

$$A_s \text{ adotado} = 40,41 \text{ cm}^2/\text{m}$$

1. Propriedades Mecânicas e Geométricas:

$f_{ck} =$	30,0	(MPa)	: resistência característica do concreto.
$E_{cs} =$	26991,8	(MPa)	: $E_{cs} = 0.88 \cdot 5600 (f_{ck})^{0.5}$ [MPa]
$E_{cs} =$	269917,7	(kgf/cm ²)	
$b_w =$	100,0	(cm)	: seção transversal retangular ($b_w \times h = 100 \times h$).
$h =$	85,0	(cm)	
$d' =$	4,0	(cm)	: dist. do CG da arm. de tração à fibra mais tracionada.
$d = h - d'$	81,0	(cm)	: altura útil da laje.
$c =$	3,0	(cm)	: cobrimento da armadura.
$\phi_l =$	2,50	(cm)	: diâmetro da armadura longitudinal.
$\phi_t =$	1,00	(cm)	: diâmetro da armadura transversal.
$E_s =$	2,10E+06	(kgf/cm ²)	: módulo de elasticidade do aço.
$A_s =$	49,10	(cm ² /m)	: armadura tracionada.

2. Determinação da Abertura de Fissuras:

$M_k =$	92700,0	(kgf.m/m)	: momento característico máximo.
$\alpha_e = E_s/E_{cs}$	7,78		
$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3}$	2,90	(Mpa)	: resistência à tração média do concreto.
	28,96	(kgf/cm ²)	
$x =$	21,35	(cm)	(Profundidade da linha neutra da seção no Estádio II) : $x = (\alpha_e A_s / b_w) \cdot [-1 + (1 + 2b_w d / (\alpha_e A_s))^{0.5}]$ (Tensão nas barras da arm. sob solicitações de serviço)
$\sigma_{si} =$	2555,34	(kgf/cm ²)	: $\sigma_{si} = M_k / [A_s(d-x/3)]$
$N_c =$	1	(unid.)	: número de camadas da armadura de tração.
$h_{crit} =$	24,00	(cm)	: altura da área crítica $\Rightarrow h_{crit} = c + \phi_t + (N_c - 1)(\phi_t + c) + 8\phi_t$
$A_{crit} = b_w \cdot h_{crit}$	2400,00	(cm ²)	: área crítica do concreto de envolvimento das barras.
$\rho_{crit} = A_s / A_{crit}$	0,020		: taxa de armadura de tração relativa à área crítica.
$\eta_i =$	2,25		: coeficiente de aderência ao concreto do aço empregado. [$\eta_i = 2.25$ (CA-50) e $\eta_i = 1.40$ (CA-60)]
$\omega_1 =$	0,286	(mm)	$\omega_1 = [\phi_t / (12.5\eta_i)] \cdot (\sigma_{si} / E_s) \cdot (3\sigma_{si} / f_{ctm})$
$\omega_2 =$	0,260	(mm)	$\omega_2 = [\phi_t / (12.5\eta_i)] \cdot (\sigma_{si} / E_s) \cdot [(4 / \rho_{crit}) + 45]$
$\omega_k = \min(\omega_1, \omega_2)$	0,260	(mm)	
$\omega_{lim} =$	0,30	(mm)	: $\omega_{lim} = 0.3 \text{ mm}$
	OK!		

• Verificação abertura de fissuras – Flexão na Direção Y:

$b_w = 100 \text{ cm}, h = 85 \text{ cm}, d' = 4 \text{ cm}$

ELFS: $M_{y_ELFS} = 603 \text{ kN.m}$ (traciona face superior)

$A_s \text{ adotado} = 49,1 \text{ cm}^2/\text{m}$

1. Propriedades Mecânicas e Geométricas:

$f_{ck} =$	30,0	(MPa)	: resistência característica do concreto.
$E_{cs} =$	26991,8	(MPa)	: $E_{cs} = 0.88 \cdot 5600 (f_{ck})^{0.5}$ [MPa]
$E_{cs} =$	269917,7	(kgf/cm ²)	
$b_w =$	100,0	(cm)	: seção transversal retangular ($b_w \times h = 100 \times h$).
$h =$	85,0	(cm)	
$d' =$	4,0	(cm)	: dist. do CG da arm. de tração à fibra mais tracionada.
$d = h - d'$	81,0	(cm)	: altura útil da laje.
$c =$	3,0	(cm)	: cobrimento da armadura.
$\phi_l =$	2,50	(cm)	: diâmetro da armadura longitudinal.
$\phi_t =$	2,50	(cm)	: diâmetro da armadura transversal.
$E_s =$	2,10E+06	(kgf/cm ²)	: módulo de elasticidade do aço.
$A_s =$	49,10	(cm ² /m)	: armadura tracionada.

2. Determinação da Abertura de Fissuras:

$M_k =$	60300,0	(kgf.m/m)	: momento característico máximo.
$\alpha_e = E_s/E_{cs}$	7,78		
$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3}$	2,90	(Mpa)	: resistência à tração média do concreto.
	28,96	(kgf/cm ²)	
$x =$	21,35	(cm)	(Profundidade da linha neutra da seção no Estádio II) : $x = (\alpha_e A_s / b_w) \cdot [-1 + (1 + 2b_w d / (\alpha_e A_s))^{0.5}]$ (Tensão nas barras da arm. sob solicitações de serviço)
$\sigma_{si} =$	1662,21	(kgf/cm ²)	: $\sigma_{si} = M_k / [A_s(d-x/3)]$
$N_c =$	1	(unid.)	: número de camadas da armadura de tração.
$h_{crit} =$	25,50	(cm)	: altura da área crítica $\Rightarrow h_{crit} = c + \phi_t + (N_c - 1)(\phi_t + c) + 8\phi_t$
$A_{crit} = b_w \cdot h_{crit}$	2550,00	(cm ²)	: área crítica do concreto de envolvimento das barras.
$\rho_{crit} = A_s / A_{crit}$	0,019		: taxa de armadura de tração relativa à área crítica.
$\eta_i =$	2,25		: coeficiente de aderência ao concreto do aço empregado. [$\eta_i = 2.25$ (CA-50) e $\eta_i = 1.40$ (CA-60)]
$\omega_1 =$	0,121	(mm)	$\omega_1 = [\phi_t / (12.5\eta_i)] \cdot (\sigma_{si} / E_s) \cdot (3\sigma_{si} / f_{ctm})$
$\omega_2 =$	0,178	(mm)	$\omega_2 = [\phi_t / (12.5\eta_i)] \cdot (\sigma_{si} / E_s) \cdot [(4 / \rho_{crit}) + 45]$
$\omega_k = \min(\omega_1, \omega_2)$	0,121	(mm)	
$\omega_{lim} =$	0,30	(mm)	: $\omega_{lim} = 0.3 \text{ mm}$
	OK!		

$$b_w = 100 \text{ cm}, h = 85 \text{ cm}, d' = 4 \text{ cm}$$

$$\text{ELFS: } M_{y_ELFS} = 130 \text{ kN.m} \quad (\text{traciona face inferior})$$

$$A_s \text{ adotado} = 7,85 \text{ cm}^2/\text{m}$$

1. Propriedades Mecânicas e Geométricas:

$f_{ck} =$	30,0 (MPa)	: resistência característica do concreto.
$E_{cs} =$	26991,8 (MPa)	: $E_{cs} = 0.88 \cdot 5600 (f_{ck})^{0.5}$ [MPa]
$E_{cs} =$	269917,7 (kgf/cm ²)	
$b_w =$	100,0 (cm)	: seção transversal retangular ($b_w \times h = 100 \times h$).
$h =$	85,0 (cm)	
$d' =$	4,0 (cm)	: dist. do CG da arm. de tração à fibra mais tracionada.
$d = h - d'$	81,0 (cm)	: altura útil da laje.
$c =$	3,0 (cm)	: cobrimento da armadura.
$\phi_l =$	1,00 (cm)	: diâmetro da armadura longitudinal.
$\phi_t =$	2,50 (cm)	: diâmetro da armadura transversal.
$E_s =$	2,10E+06 (kgf/cm ²)	: módulo de elasticidade do aço.
$A_s =$	7,85 (cm ² /m)	: armadura tracionada.

2. Determinação da Abertura de Fissuras:

$M_k =$	13000,0 (kgf.m/m)	: momento característico máximo.
$\alpha_e = E_s/E_{cs}$	7,78	
$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3}$	2,90 (Mpa)	: resistência à tração média do concreto.
	28,96 (kgf/cm ²)	
$x =$	9,35 (cm)	(Profundidade da linha neutra da seção no Estádio II) : $x = (\alpha_e A_s / b_w) \cdot [-1 + (1 + 2b_w d / (\alpha_e A_s))^{0.5}]$ (Tensão nas barras da arm. sob solicitações de serviço)
$\sigma_{si} =$	2126,37 (kgf/cm ²)	: $\sigma_{si} = M_k / [A_s(d-x/3)]$
$N_c =$	1 (unid.)	: número de camadas da armadura de tração.
$h_{crit} =$	13,50 (cm)	: altura da área crítica $\Rightarrow h_{crit} = c + \phi_t + (N_c - 1)(\phi_l + c) + 8\phi_l$
$A_{crit} = b_w \cdot h_{crit}$	1350,00 (cm ²)	: área crítica do concreto de envolvimento das barras.
$\rho_{crit} = A_s / A_{crit}$	0,006	: taxa de armadura de tração relativa à área crítica.
$\eta_i =$	2,25	: coeficiente de aderência ao concreto do aço empregado. [$\eta_i = 2.25$ (CA-50) e $\eta_i = 1.40$ (CA-60)]
$\omega_1 =$	0,079 (mm)	$\omega_1 = [\phi_l / (12.5\eta_i)] \cdot (\sigma_{si} / E_s) \cdot (3\sigma_{si} / f_{ctm})$
$\omega_2 =$	0,264 (mm)	$\omega_2 = [\phi_l / (12.5\eta_i)] \cdot (\sigma_{si} / E_s) \cdot [(4 / \rho_{crit}) + 45]$
$\omega_k = \min(\omega_1, \omega_2)$	0,079 (mm)	
$\omega_{lim} =$	0,30 (mm)	: $\omega_{lim} = 0.3 \text{ mm}$
	OK!	

7.5. ESTADO LIMITE DE DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS:

Para a verificação do estado limite de deformações excessivas os esforços considerados foram obtidos a partir das combinações quase permanente de serviço C9 e C10 definidas no item 6.

Momentos Fletores (ELDE) – Direção X:

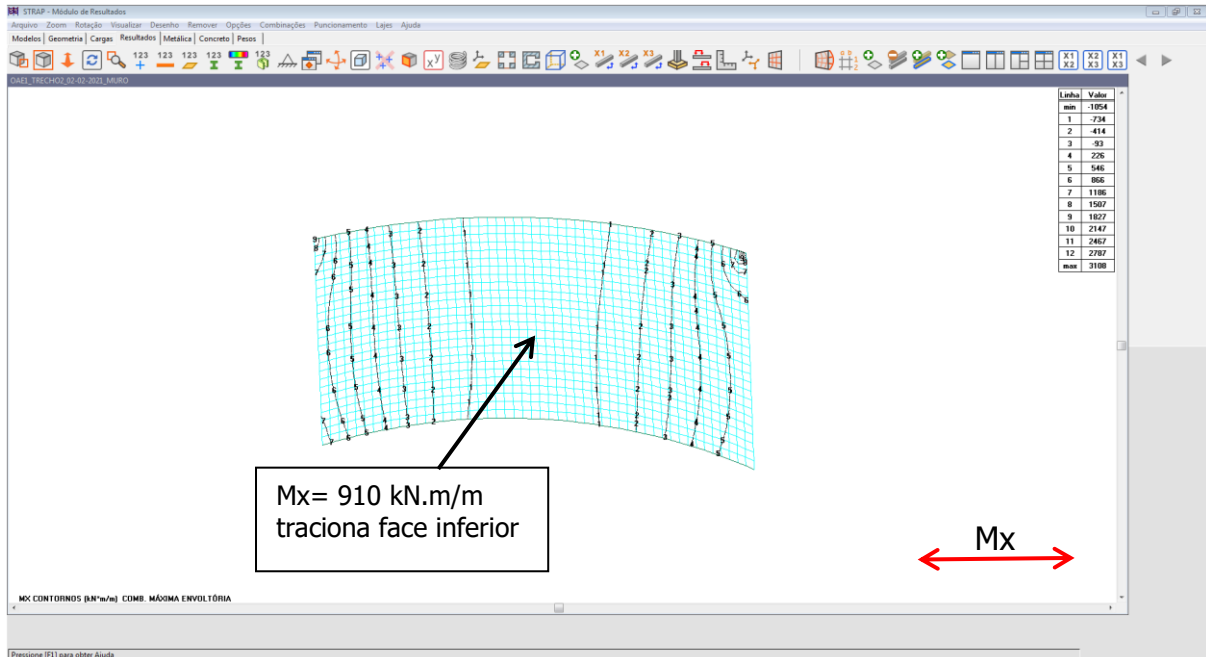


Figura 7.21 – Diag. Momento M_x – Tabuleiro – Envoltória Máxima – Comb. C9 e C10 (kN.m/m)

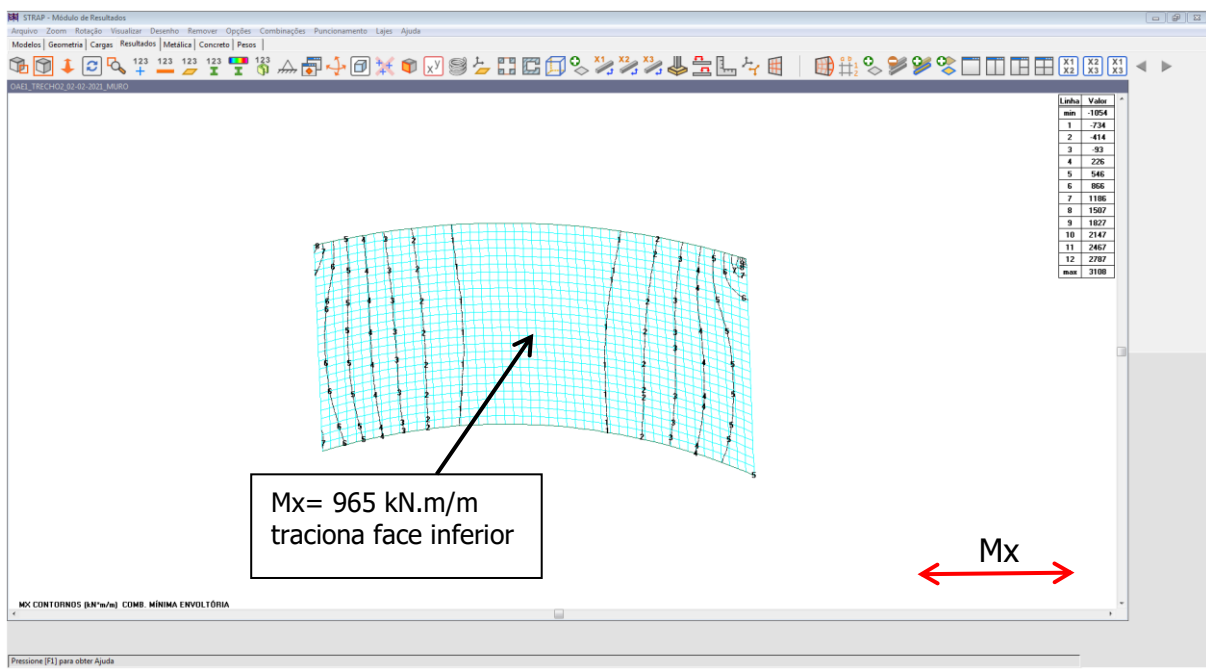


Figura 7.22 – Diag. Momento M_x – Tabuleiro – Envoltória Mínima – Comb. C9 e C10 (kN.m/m)

Os deslocamentos são determinados conforme item 19.3.1 da NBR 6118:2014.

1. Propriedades Mecânicas e Geométricas:

$f_{ck} =$	<table border="1"><tr><td>30,0</td></tr></table> (MPa)	30,0	: resistência característica do concreto.
30,0			
$f_{ck} =$	<table border="1"><tr><td>300,0</td></tr></table> (kgf/cm ²)	300,0	
300,0			
$E_{cs} =$	<table border="1"><tr><td>26991,8</td></tr></table> (MPa)	26991,8	: $E_{cs} = 0.88 * 5600 (f_{ck})^{0.5}$ [MPa]
26991,8			
$E_{cs} =$	<table border="1"><tr><td>269917,7</td></tr></table> (kgf/cm ²)	269917,7	
269917,7			
$b_w =$	<table border="1"><tr><td>100,0</td></tr></table> (cm)	100,0	: seção transversal ($b_w \times h$).
100,0			
$h =$	<table border="1"><tr><td>85,0</td></tr></table> (cm)	85,0	
85,0			
$d' =$	<table border="1"><tr><td>4,0</td></tr></table> (cm)	4,0	: dist. do CG da arm. de tração à fibra mais tracionada.
4,0			
$d = h - d'$	<table border="1"><tr><td>81,0</td></tr></table> (cm)	81,0	: altura útil da viga.
81,0			
$E_s =$	<table border="1"><tr><td>2,10E+06</td></tr></table> (kgf/cm ²)	2,10E+06	: módulo de elasticidade do aço.
2,10E+06			
$A_s =$	<table border="1"><tr><td>49,10</td></tr></table> (cm ²)	49,10	: armadura tracionada.
49,10			

Deslocamento devido às cargas:

2. Determinação da Flecha Imediata (f_i):

$M_a =$	<table border="1"><tr><td>91000,0</td></tr></table> (kgf.m)	91000,0	: momento característico máximo.
91000,0			
$L =$	<table border="1"><tr><td>2500</td></tr></table> (cm)	2500	: vão efetivo ou teórico da peça fletida.
2500			
$\alpha_e = E_s/E_{cs}$	<table border="1"><tr><td>7,78</td></tr></table>	7,78	
7,78			
$I_c = b_w \cdot h^3 / 12$	<table border="1"><tr><td>5,12E+06</td></tr></table> (cm ⁴)	5,12E+06	: inércia da seção não fissurada.
5,12E+06			
$x =$	<table border="1"><tr><td>21,35</td></tr></table> (cm)	21,35	(profundidade da linha neutra da seção no Estádio II) : $x = (\alpha_e A_s / b_w) \cdot [-1 + (1 + 2b_w d / (\alpha_e A_s))^{0.5}]$
21,35			
$z = d - x/3$	<table border="1"><tr><td>73,88</td></tr></table> (cm)	73,88	: braço de alavanca.
73,88			
$I_2 = (E_s/E_c) A_s z (d-x)$	<table border="1"><tr><td>1,68E+06</td></tr></table> (cm ⁴)	1,68E+06	: inércia da seção fissurada no estágio II.
1,68E+06			
$\alpha =$	<table border="1"><tr><td>0,0208</td></tr></table>	0,0208	: coeficiente - esquema estático e carregamento.
0,0208			
$M_f =$	<table border="1"><tr><td>5,23E+08</td></tr></table> (N.mm)	5,23E+08	: $M_f = 0.075 b_w h^2 f_{ck}^{2/3}$ [N.mm]
5,23E+08			
$M_f =$	<table border="1"><tr><td>52317,46</td></tr></table> (kgf.m)	52317,46	(momento de fissuração)
52317,46			
$M_f / M_a =$	<table border="1"><tr><td>0,575</td></tr></table>	0,575	
0,575			
$(EI)_{eq} =$	<table border="1"><tr><td>6,31E+11</td></tr></table> (kgf.cm ²)	6,31E+11	: $(EI)_{eq} = E_{cs} \{ (M_f/M_a)^3 I_c + [1 - (M_f/M_a)^3] I_2 \} \leq E_{cs} I_c$
6,31E+11			
$E_{cs} I_c =$	<table border="1"><tr><td>1,38E+12</td></tr></table> (kgf.cm ²)	1,38E+12	
1,38E+12			
$(EI)_{eq} =$	<table border="1"><tr><td>6,31E+11</td></tr></table> (kgf.cm ²)	6,31E+11	
6,31E+11			
$f_i = \alpha M_a L^2 / (EI)_{eq}$	<table border="1"><tr><td>1,88</td></tr></table> (cm)	1,88	: flecha imediata elástica.
1,88			

3. Determinação da Flecha Total (f_{tot}):

$A'_s =$	<table border="1"><tr><td>0,00</td></tr></table> (cm ²)	0,00	: armadura de compressão.
0,00			
$\rho' = A'_s / b_w d$	<table border="1"><tr><td>0,00000</td></tr></table>	0,00000	: taxa de armadura de compressão.
0,00000			
$t_0 =$	<table border="1"><tr><td>1,0</td></tr></table> (meses)	1,0	
1,0			
$t =$	<table border="1"><tr><td>70,0</td></tr></table> (meses)	70,0	: NBR 6118 - Tabela 17.1
70,0			
$\xi(t_0) =$	<table border="1"><tr><td>0,68</td></tr></table>	0,68	$p/t \leq 70$ meses $\rightarrow \xi(t) = 0.68(0.996^t)^{0.32}$
0,68			
$\xi(t) =$	<table border="1"><tr><td>2,00</td></tr></table>	2,00	$p/t > 70$ meses $\rightarrow \xi(t) = 2.00$
2,00			
$\Delta \xi = \xi(t) - \xi(t_0)$	<table border="1"><tr><td>1,32</td></tr></table>	1,32	
1,32			
$\alpha_f = \Delta \xi / (1 + 50\rho')$	<table border="1"><tr><td>1,32</td></tr></table>	1,32	: fator de fluência.
1,32			
$f_{dif} = \alpha_f \cdot f_i$	<table border="1"><tr><td>2,48</td></tr></table> (cm)	2,48	: flecha diferida (fluência).
2,48			
$f_{tot} = f_i + f_{dif}$	<table border="1"><tr><td>4,36</td></tr></table> (cm)	4,36	: flecha total.
4,36			
$f_{lim} = L/250$	<table border="1"><tr><td>10,00</td></tr></table> (cm)	10,00	: flecha limite.
10,00			

OK!

$$f_{total} \cong 1,88 + 2,48 = 4,36 \text{ cm} < \frac{L}{250} = 10 \text{ cm}$$

7.6. CONTRA-FLECHA:

A contra-flecha deve compensar as deformações devidas às cargas permanentes, sem majoração (coeficientes de ponderação = 1,0), sendo a sua aplicação indicada para o caso de deflexões acima de $L/400$.

Na Figura 7.23 apresenta-se os momentos para determinação de contra-flecha.

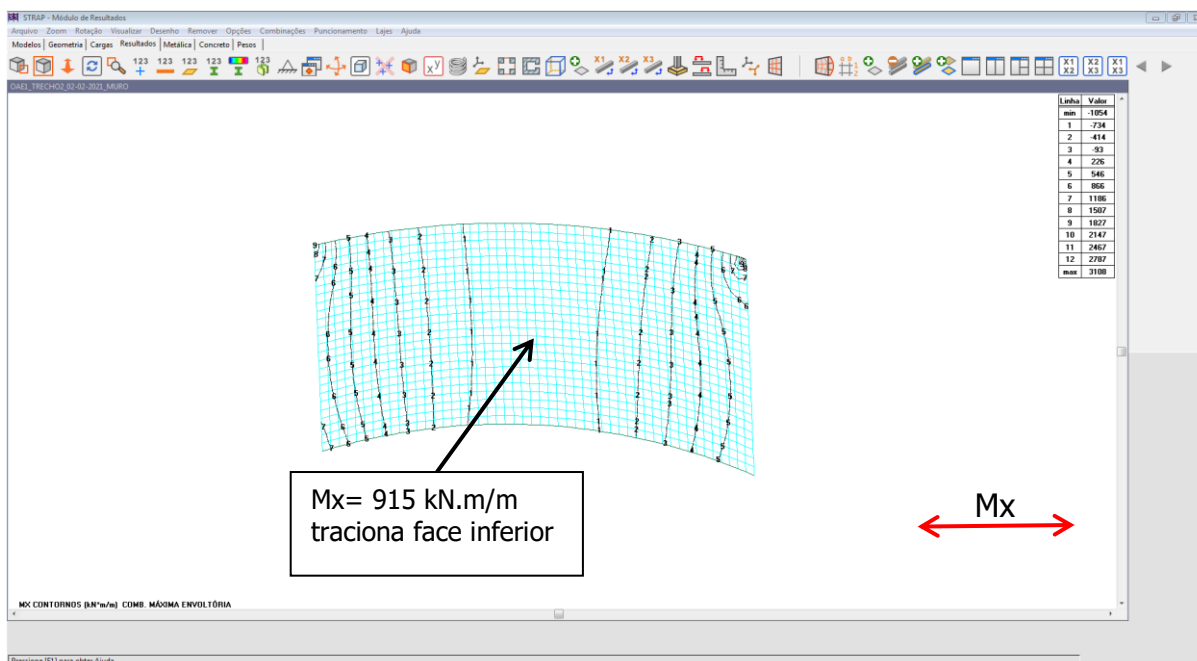


Figura 7.23 – Momento M_x – Tabuleiro – determinação contra-flecha (kN.m/m)

1. Propriedades Mecânicas e Geométricas:

f_{ck} =	30,0 (MPa)	: resistência característica do concreto.
f_{ck} =	300,0 (kgf/cm ²)	
E_{cs} =	26991,8 (MPa)	: $E_{cs} = 0.88 * 5600 (f_{ck})^{0.5}$ [MPa]
E_{cs} =	269917,7 (kgf/cm ²)	
b_w =	100,0 (cm)	: seção transversal ($b_w \times h$).
h =	85,0 (cm)	
d' =	4,0 (cm)	: dist. do CG da arm. de tração à fibra mais tracionada.
$d = h - d'$	81,0 (cm)	: altura útil da viga.
E_s =	2,10E+06 (kgf/cm ²)	: módulo de elasticidade do aço.
A_s =	49,10 (cm ²)	: armadura tracionada.

2. Determinação da Flecha Imediata (f_i):

$M_a =$	91500,0	(kgf.m)	: momento característico máximo.
$L =$	2500	(cm)	: vão efetivo ou teórico da peça fletida.
$\alpha_e = E_s/E_{cs}$	7,78		
$I_c = b_w \cdot h^3 / 12$	5,12E+06	(cm ⁴)	: inércia da seção não fissurada.
			(profundidade da linha neutra da seção no Estádio II)
$x =$	21,35	(cm)	: $x = (\alpha_e A_s / b_w) \cdot [-1 + (1 + 2b_w d / (\alpha_e A_s))^{0,5}]$
$z = d - x/3$	73,88	(cm)	: braço de alavanca.
$I_2 = (E_s/E_c) A_s z(d-x)$	1,68E+06	(cm ⁴)	: inércia da seção fissurada no estágio II.
$\alpha =$	0,0208		: coeficiente - esquema estático e carregamento.
$M_r =$	5,23E+08	(N.mm)	: $M_r = 0.075 b_w h^2 f_{ck}^{2/3}$ [N.mm]
$M_r =$	52317,46	(kgf.m)	(momento de fissuração)
$M_r / M_a =$	0,572		
$(EI)_{eq} =$	6,28E+11	(kgf.cm ²)	: $(EI)_{eq} = E_{cs} \{ (M_r/M_a)^3 I_c + [1 - (M_r/M_a)^3] I_2 \} \leq E_{cs} I_c$
$E_{cs} I_c =$	1,38E+12	(kgf.cm ²)	
$(EI)_{eq} =$	6,28E+11	(kgf.cm ²)	
$f_i = \alpha M_a L^2 / (EI)_{eq}$	1,89	(cm)	: flecha imediata elástica.

3. Determinação da Flecha Total (f_{tot}):

$A'_s =$	0,00	(cm ²)	: armadura de compressão .
$\rho' = A'_s / b_w d$	0,00000		: taxa de armadura de compressão.
$t_0 =$	1,0	(meses)	
$t =$	70,0	(meses)	: NBR 6118 - Tabela 17.1
$\xi(t_0)$	0,68		$p / t \leq 70$ meses $\rightarrow \xi(t) = 0.68(0.996^5)^{t_0^{0,32}}$
$\xi(t)$	2,00		$p / t > 70$ meses $\rightarrow \xi(t) = 2.00$
$\Delta \xi = \xi(t) - \xi(t_0)$	1,32		
$\alpha_f = \Delta \xi / (1 + 50\rho')$	1,32		: fator de fluência.
$f_{dif} = \alpha_f \cdot f_i$	2,51	(cm)	: flecha diferida (fluência).
$f_{tot} = f_i + f_{dif}$	4,40	(cm)	: flecha total.
$f_{lim} = L/250$	10,00	(cm)	: flecha limite.
	OK!		

Para o projeto em questão, aplica-se contraflecha de 6 cm, a qual se encontra em consonância com as recomendações estabelecidas pelo item 13.3 da norma NBR 6118:2014.

7.7. DIAGRAMAS DE ESFORÇOS DOS MUROS ALA – ELU:

Nas Figuras 7.24 a 7.39 apresenta-se os diagramas de esforços atuantes nos muros ala para as Combinações Normais Últimas C1 a C6 definidas no item 6. Para ambas as estruturas, estabeleceu-se a convenção de verificação de esforços pelas vistas em que o tabuleiro da OAE se encontra em segundo plano.

Momentos Fletores (ELU) – Direção X – Muro Ala 01:

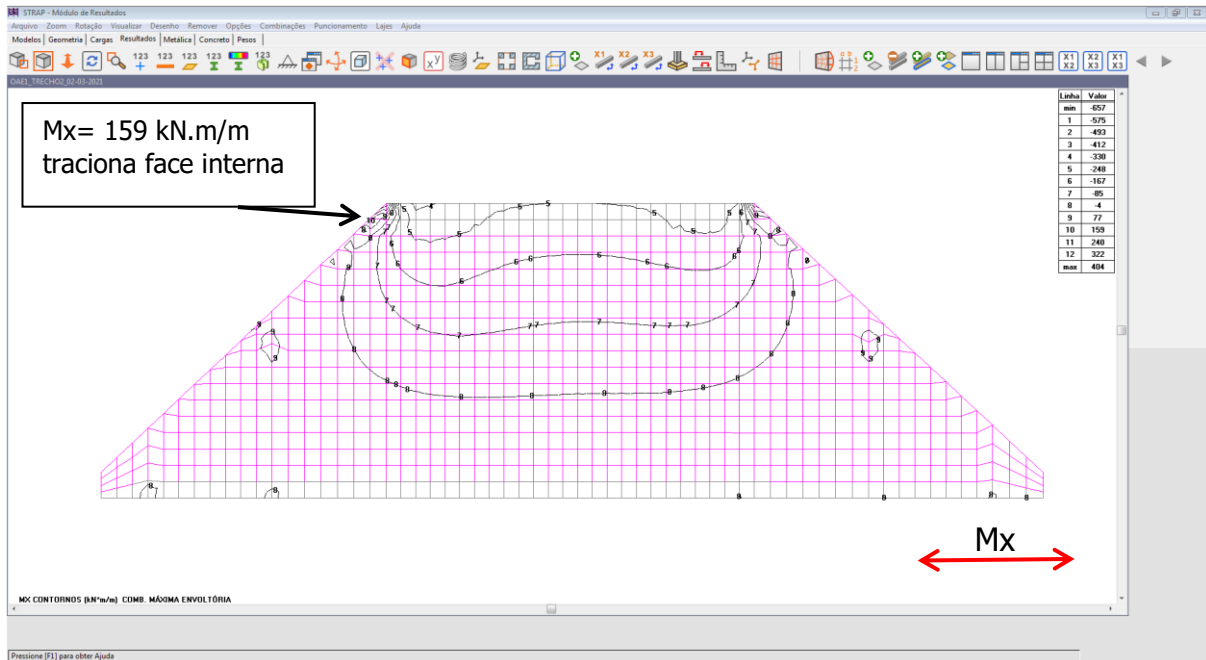


Figura 7.24 – Diag. Mom. M_x – Muro Ala 01 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

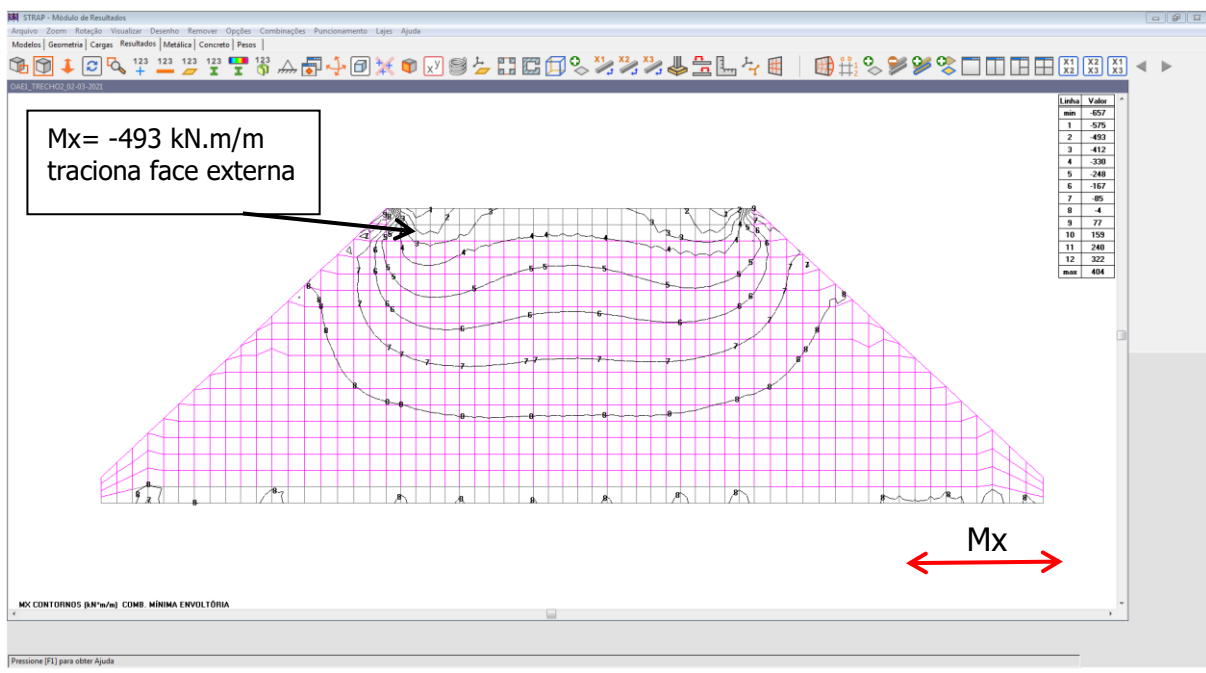


Figura 7.25 – Diag. Mom. M_x – Muro Ala 01 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

Esforços Cortantes (ELU) – Direção X (V_{xz}) – Muro Ala 01:

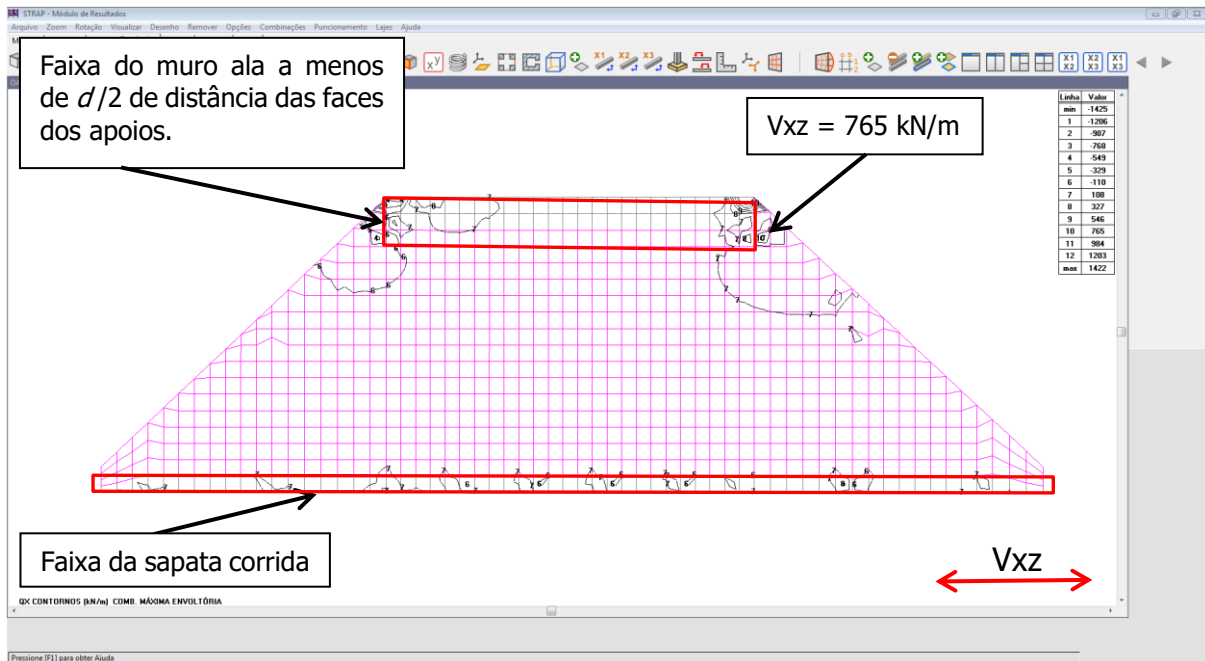


Figura 7.26 – Diag. Cortante V_{xz} – Muro Ala 01 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

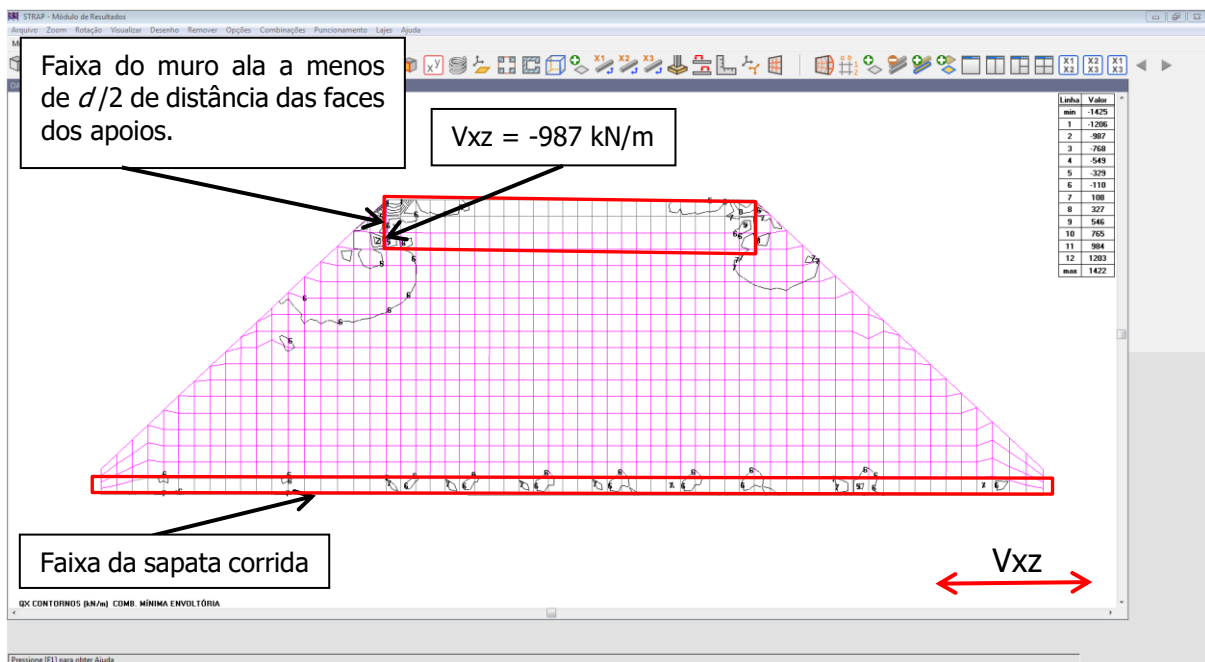


Figura 7.27 – Diag. Cortante V_{xz} – Muro Ala 01 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

Momentos Fletores (ELU) – Direção Y – Muro Ala 01:

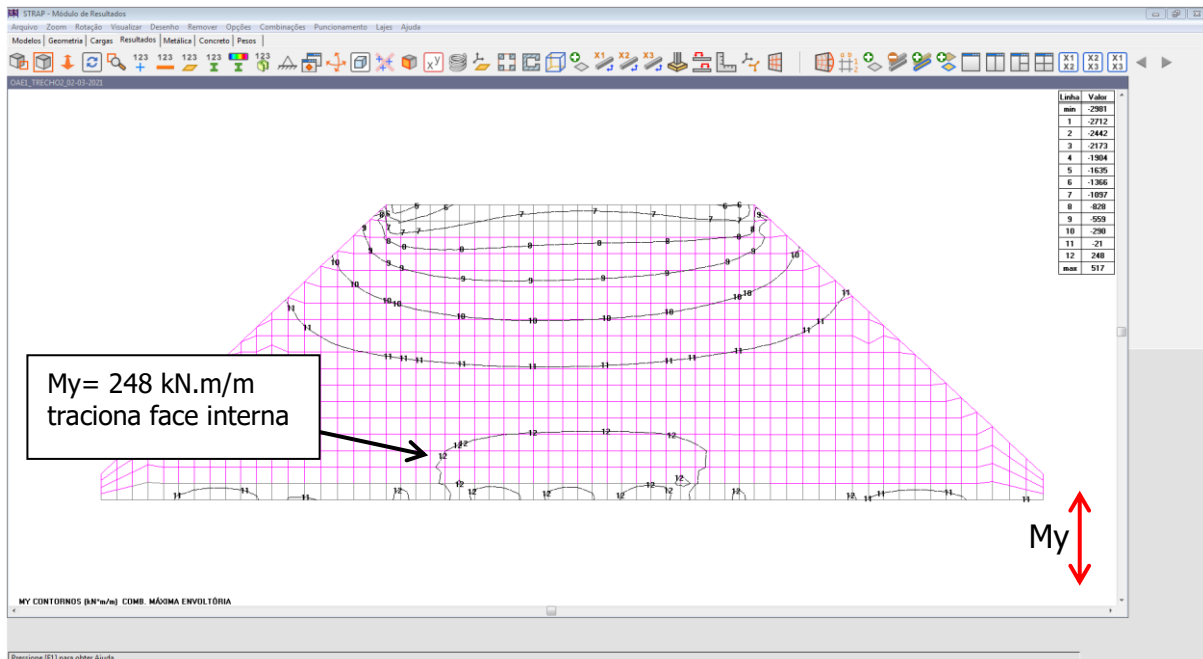


Figura 7.28 – Diag. Mom. M_x – Muro Ala 01 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

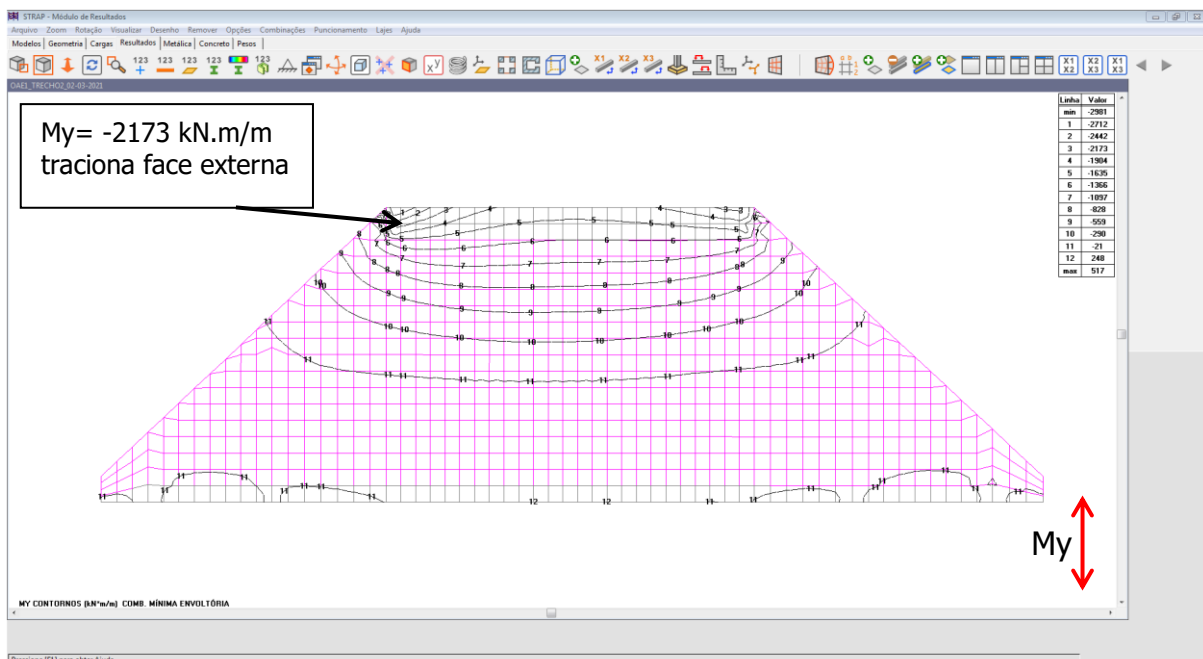


Figura 7.29 – Diag. Mom. M_x – Muro Ala 01 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

Esforços Cortantes (ELU) – Direção Y (Vyz) – Muro Ala 01:

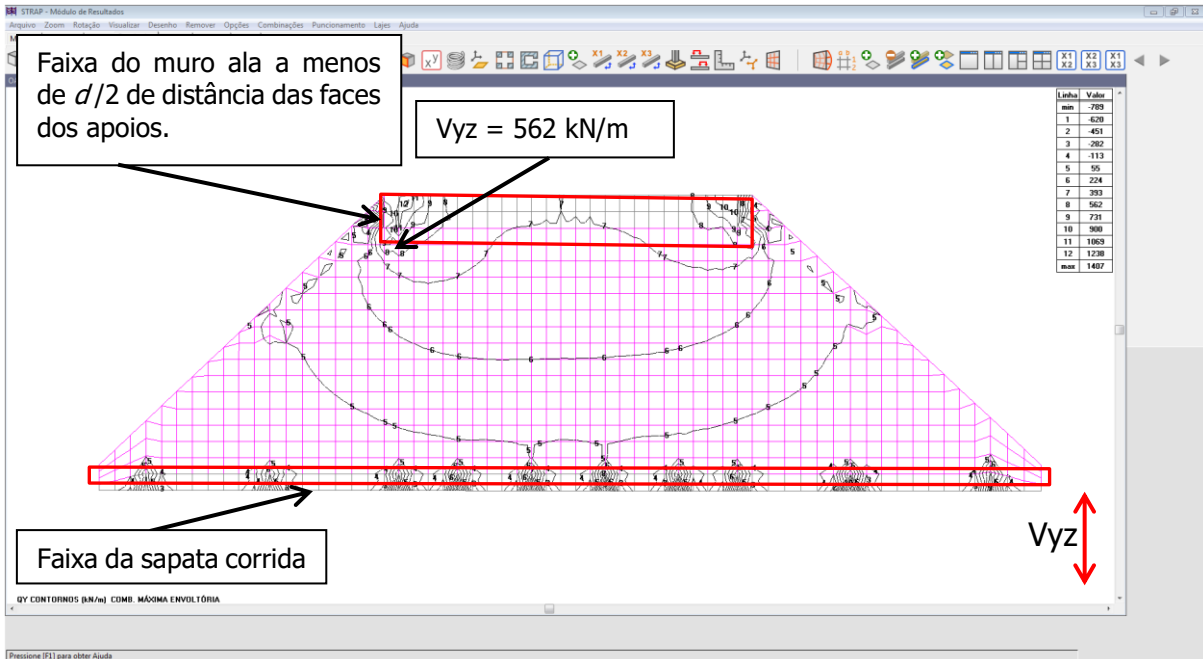


Figura 7.30 – Diag. Cortante Vyz – Muro Ala 01 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

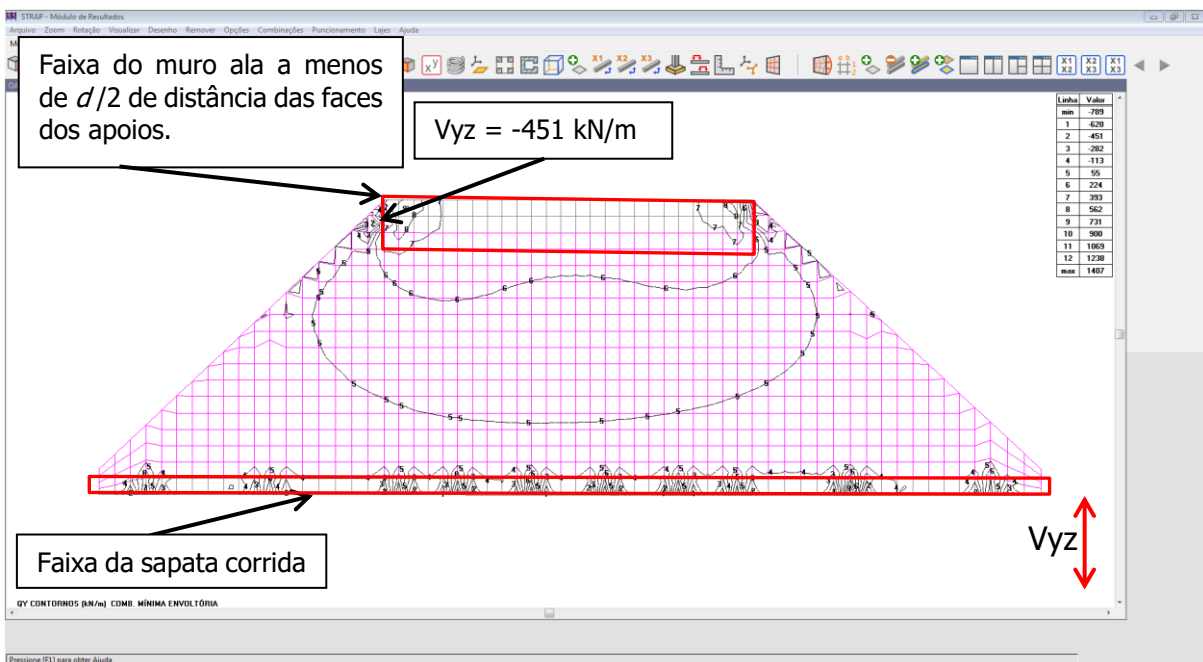


Figura 7.31 – Diag. Cortante Vyz – Muro Ala 01 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

Momentos Fletores (ELU) – Direção X – Muro Ala 02:

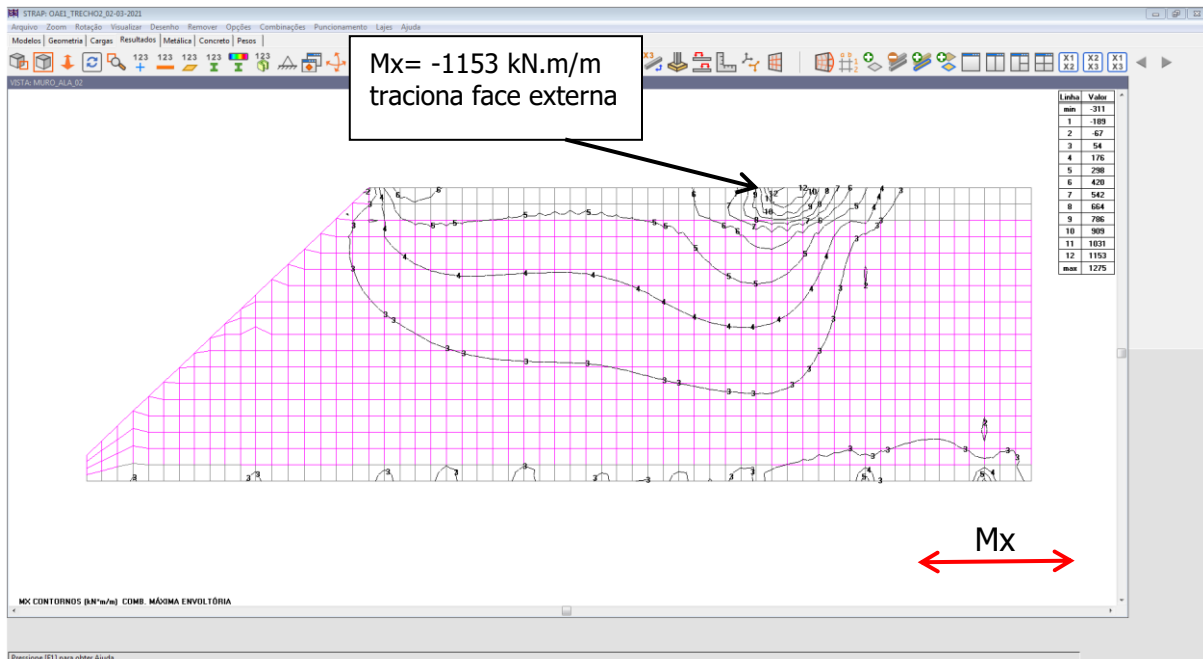


Figura 7.32 – Diag. Mom. M_x – Muro Ala 02 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

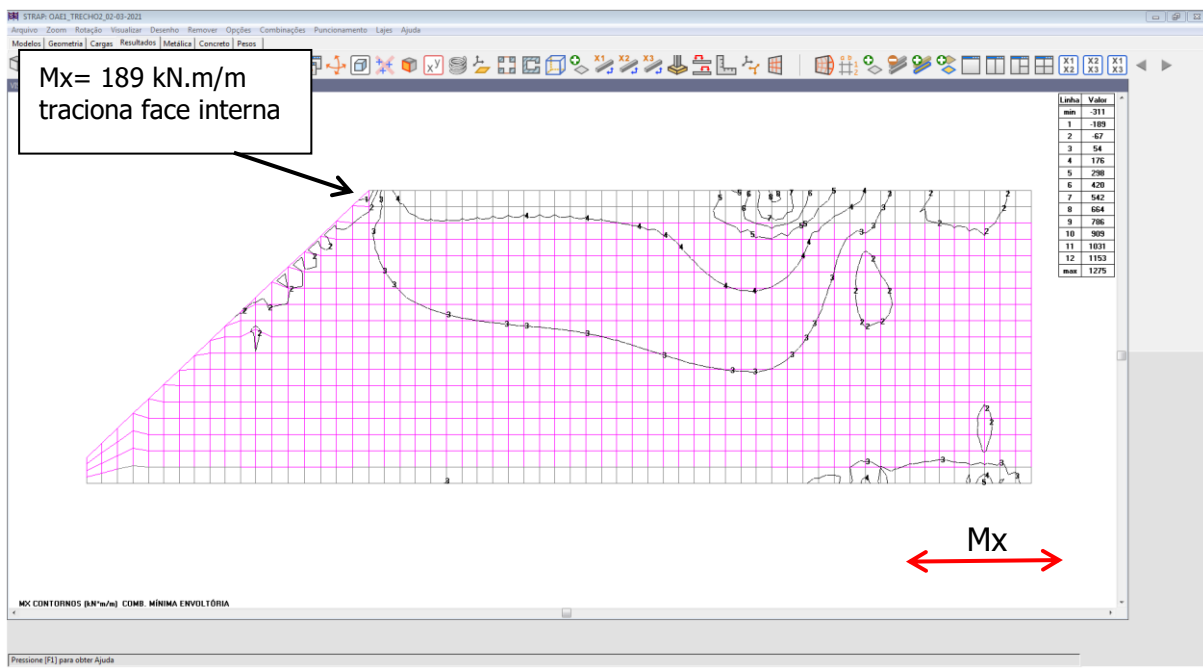


Figura 7.33 – Diag. Mom. M_x – Muro Ala 02 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

Esforços Cortantes (ELU) – Direção X (V_{xz}) – Muro Ala 02:

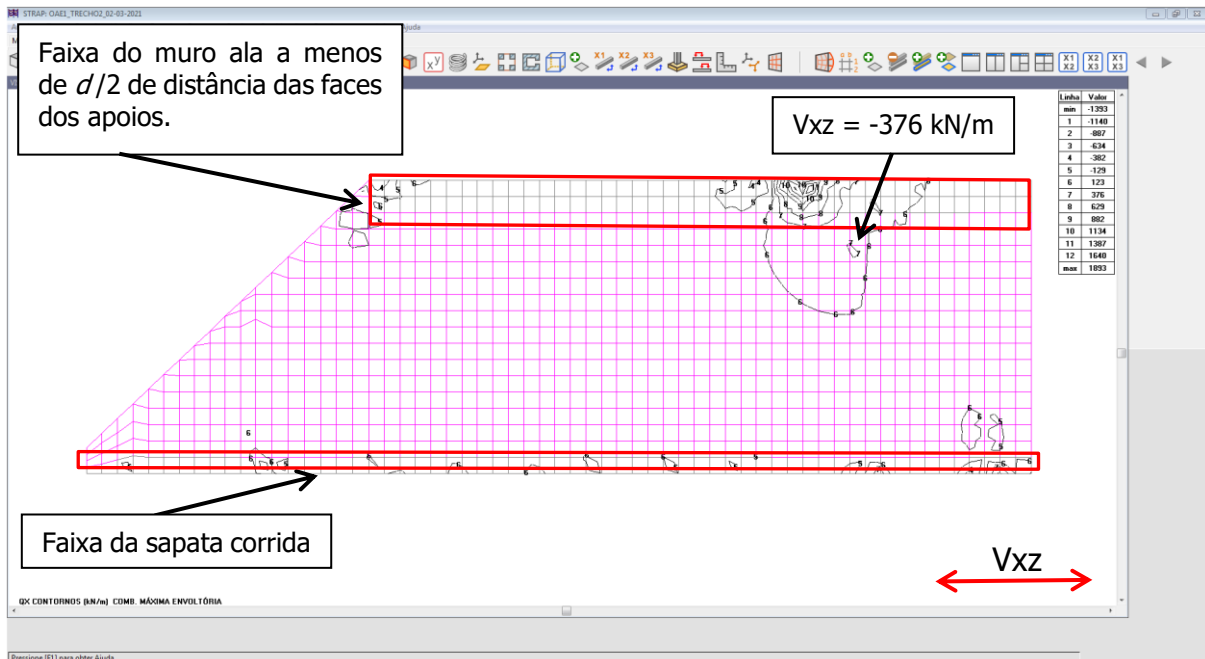


Figura 7.34 – Diag. Cortante V_{xz} – Muro Ala 02 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

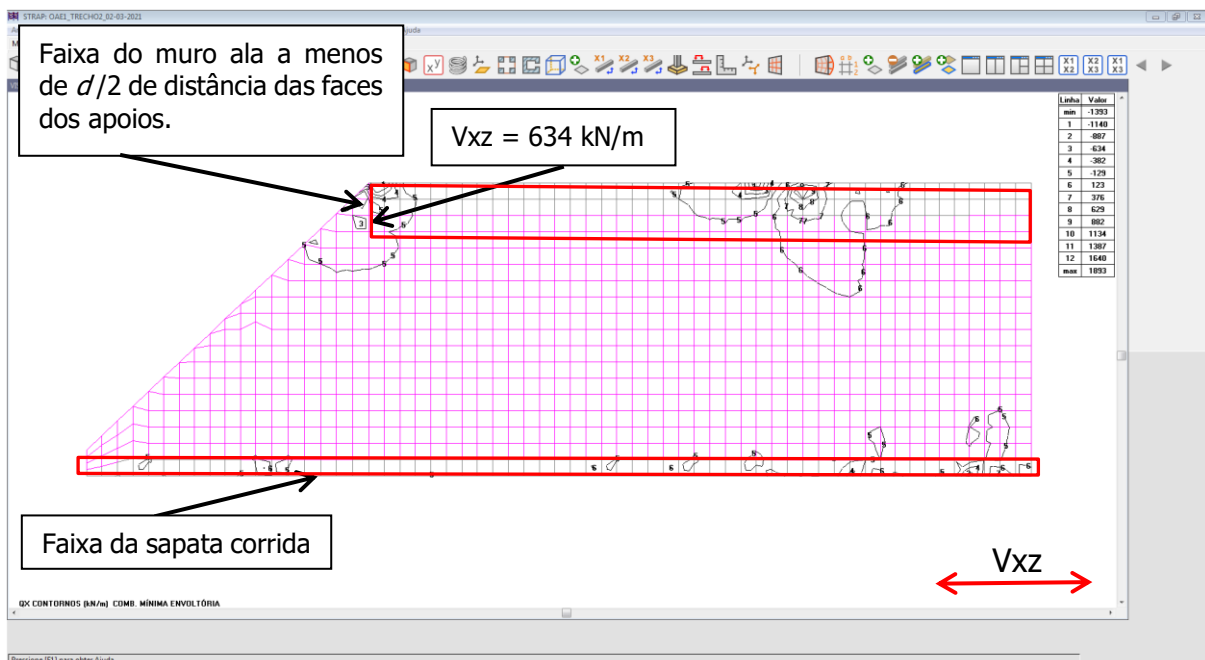


Figura 7.35 – Diag. Cortante V_{xz} – Muro Ala 02 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

Momentos Fletores (ELU) – Direção Y – Muro Ala 02:

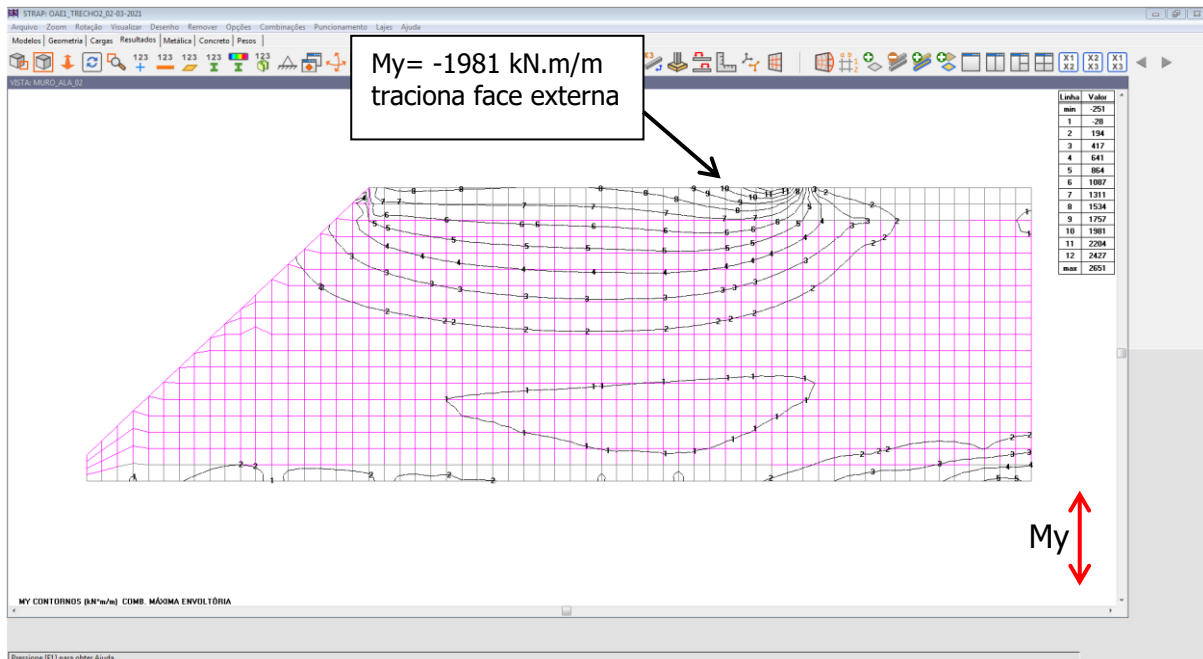


Figura 7.36 – Diag. Mom. My – Muro Ala 02 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

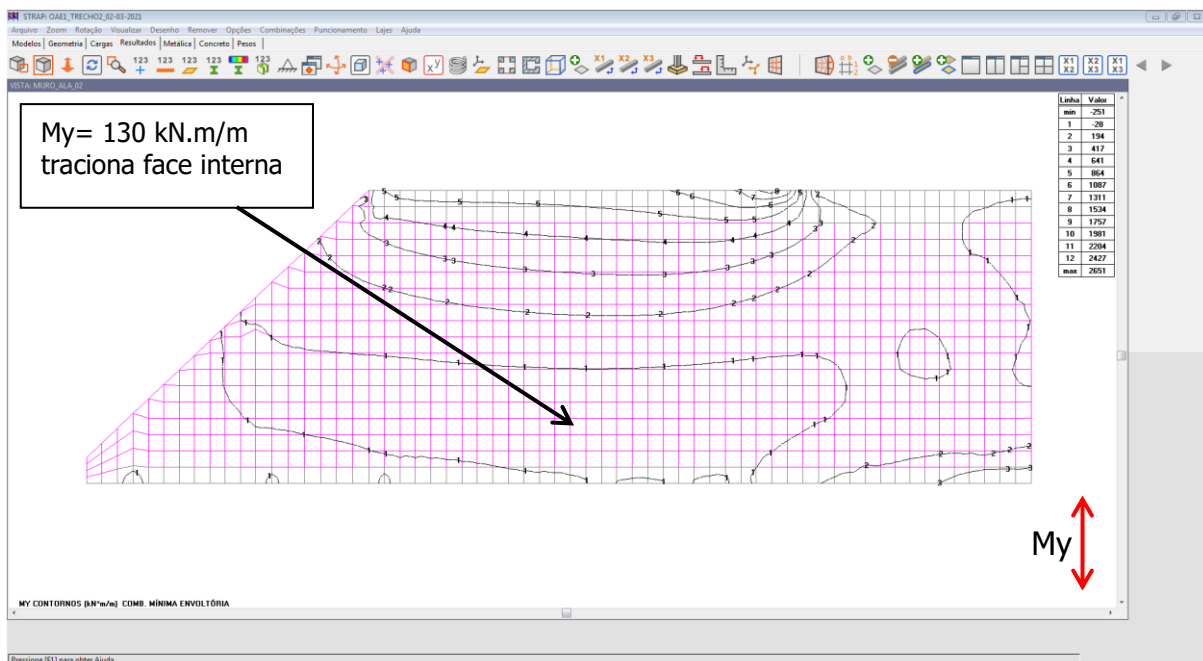


Figura 7.37 – Diag. Mom. My – Muro Ala 02 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN.m/m)

Esforços Cortantes (ELU) – Direção Y (Vyz) – Muro Ala 02:

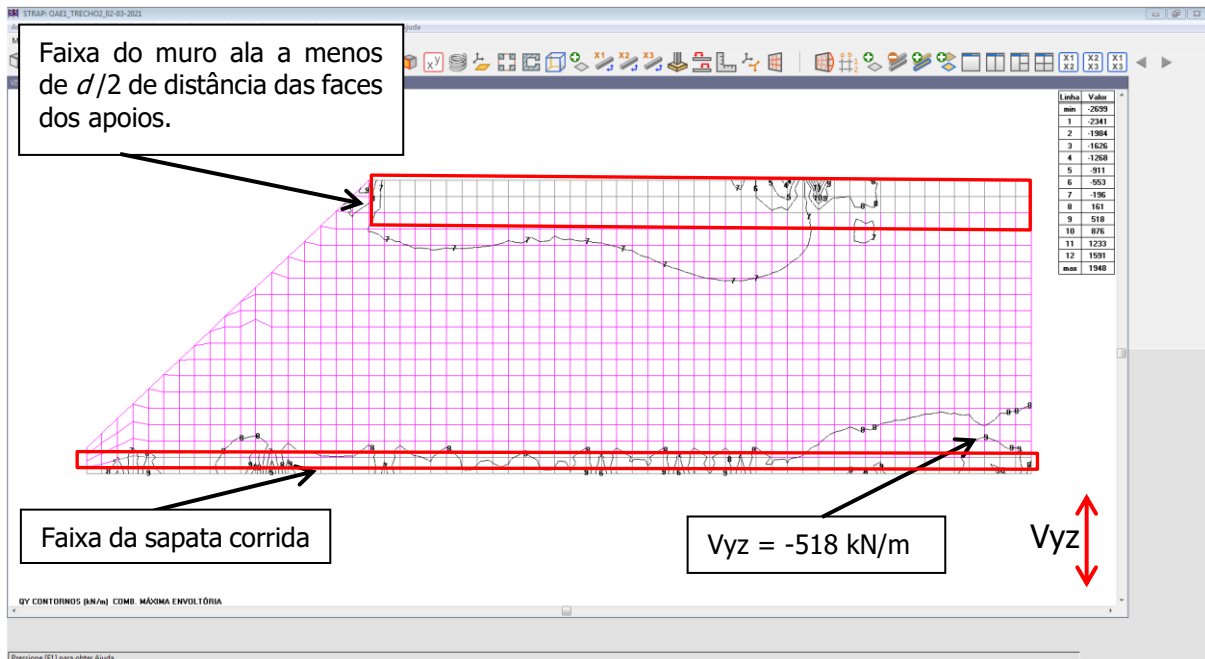


Figura 7.38 – Diag. Cortante V_{yz} – Muro Ala 02 – Envoltória Máxima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

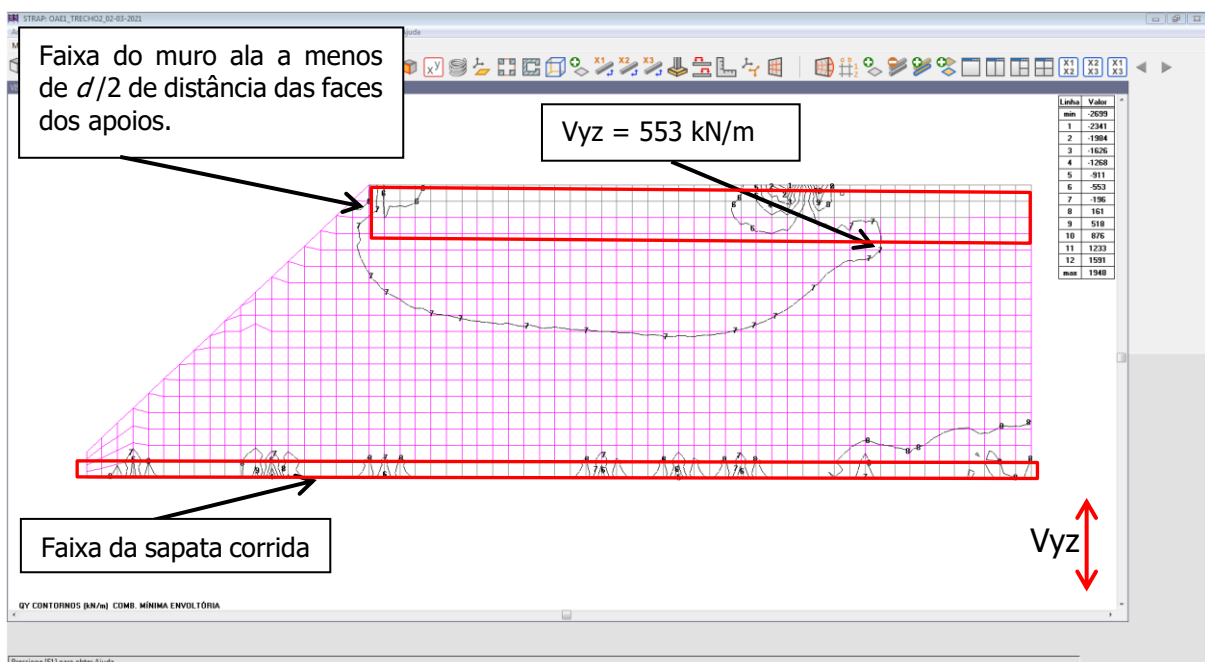


Figura 7.39 – Diag. Cortante V_{yz} – Muro Ala 02 – Envoltória Mínima – Comb. C1 a C6 (kN/m)

7.8. DIMENSIONAMENTO DOS MUROS ALA – ELU:

Os elementos estruturais foram dimensionados com base na norma NBR 6118:2014 e serão apresentados por meio de saídas gráficas automatizadas do software STRAP 2020. As convenções de visualização das estruturas seguem o critério estabelecido para os esforços solicitantes, no qual o tabuleiro da OAE se posiciona em segundo plano.

7.8.1. DIMENSIONAMENTO DOS MUROS ALA AO MOMENTO FLETOR:

- Direção X – Armadura da face interna – Muro Ala 01:

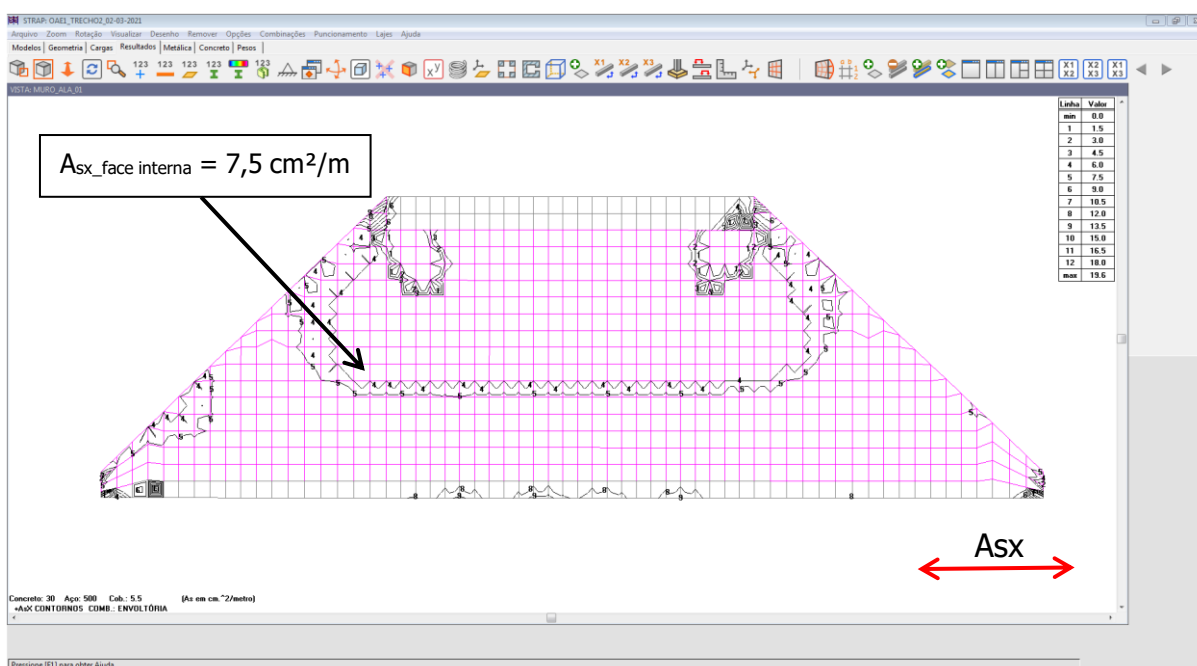


Figura 7.40 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face interna – Muro Ala 01 (cm^2/m)
Armadura de projeto = $12,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ – **(OK)**.

- Direção X – Armadura da face externa – Muro Ala 01:

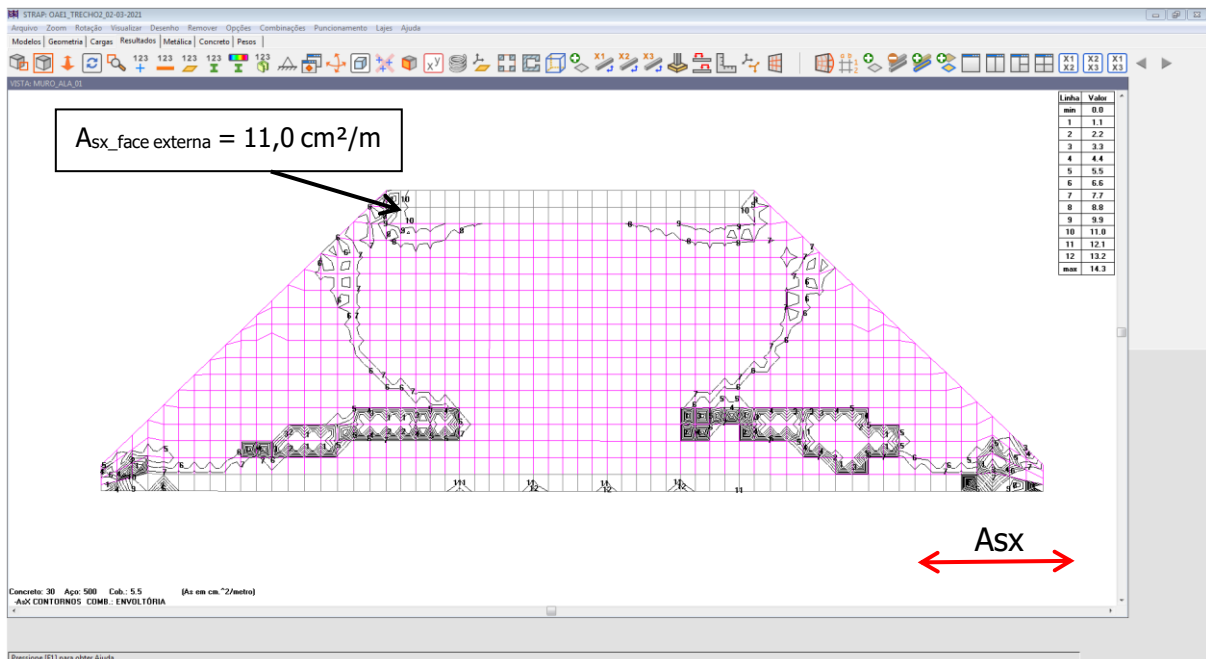


Figura 7.41 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face externa – Muro Ala 01 (cm²/m)
 Armadura de projeto = 20,0 cm²/m – **(OK)**.

- Direção Y – Armadura da face interna – Muro Ala 01:

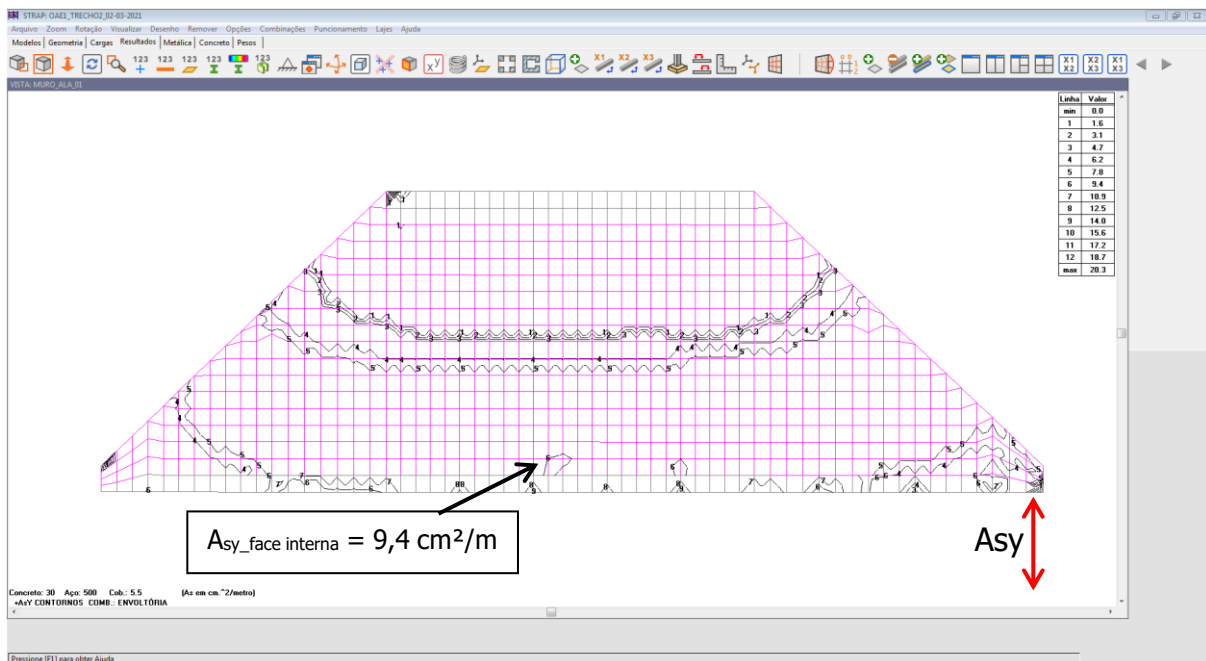


Figura 7.42 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face interna – Muro Ala 01 (cm²/m)
 Armadura de projeto = 12,5 cm²/m – **(OK)**.

- Direção Y – Armadura da face externa – Muro Ala 01:

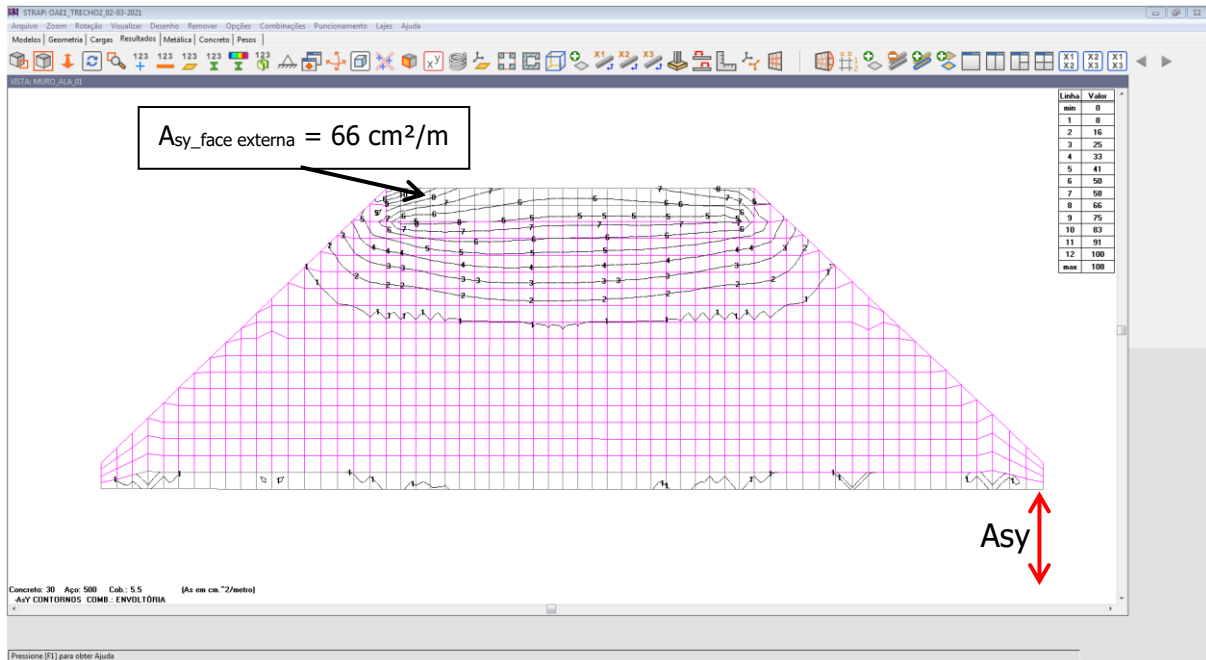


Figura 7.43 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face externa – Muro Ala 01 (cm²/m)
 Armadura de projeto = 66 cm²/m – **(OK)**.

- Direção X – Armadura da face interna – Muro Ala 02:

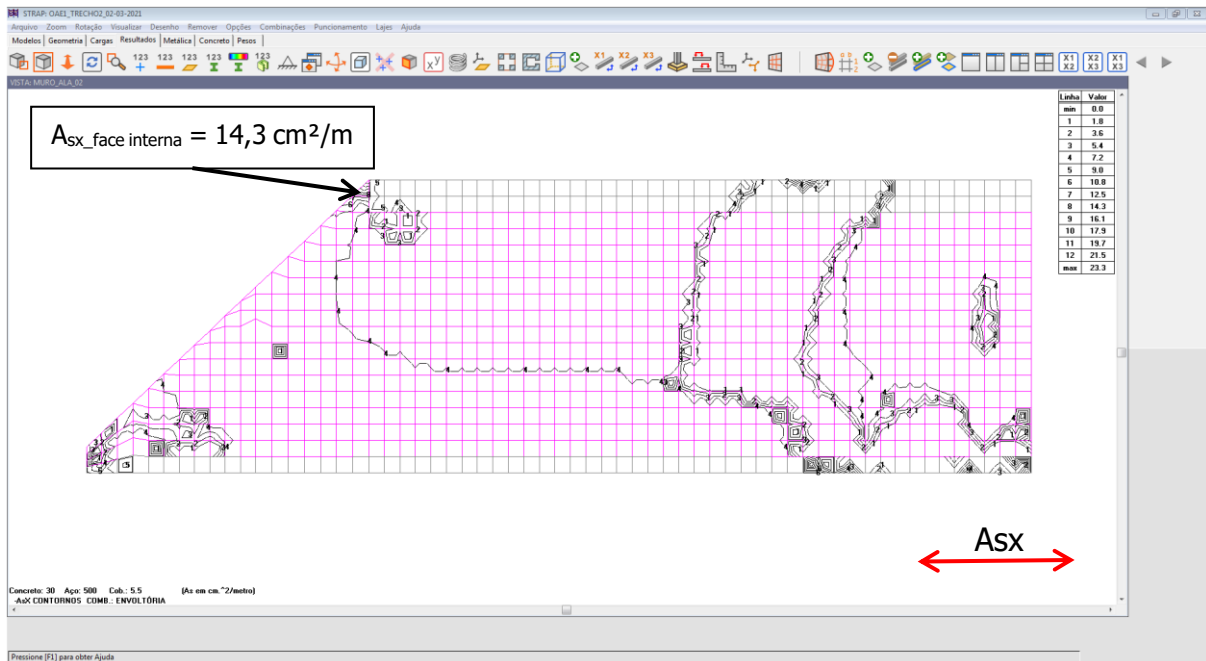


Figura 7.44 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face interna – Muro Ala 02 (cm²/m)
 Armadura de projeto = 33,3 cm²/m – **(OK)**.

- Direção X – Armadura da face externa – Muro Ala 02:

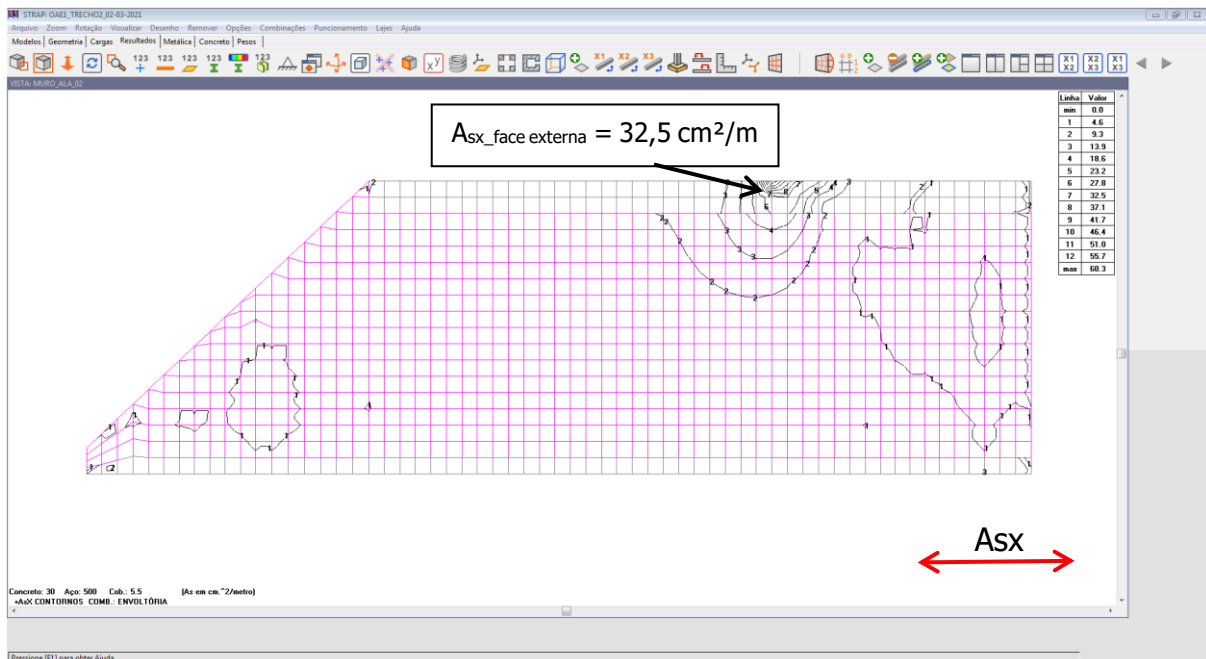


Figura 7.45 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. X face externa – Muro Ala 02 (cm²/m)
Armadura de projeto = 33,3 cm²/m – **(OK)**.

- Direção Y – Armadura da face interna – Muro Ala 02:

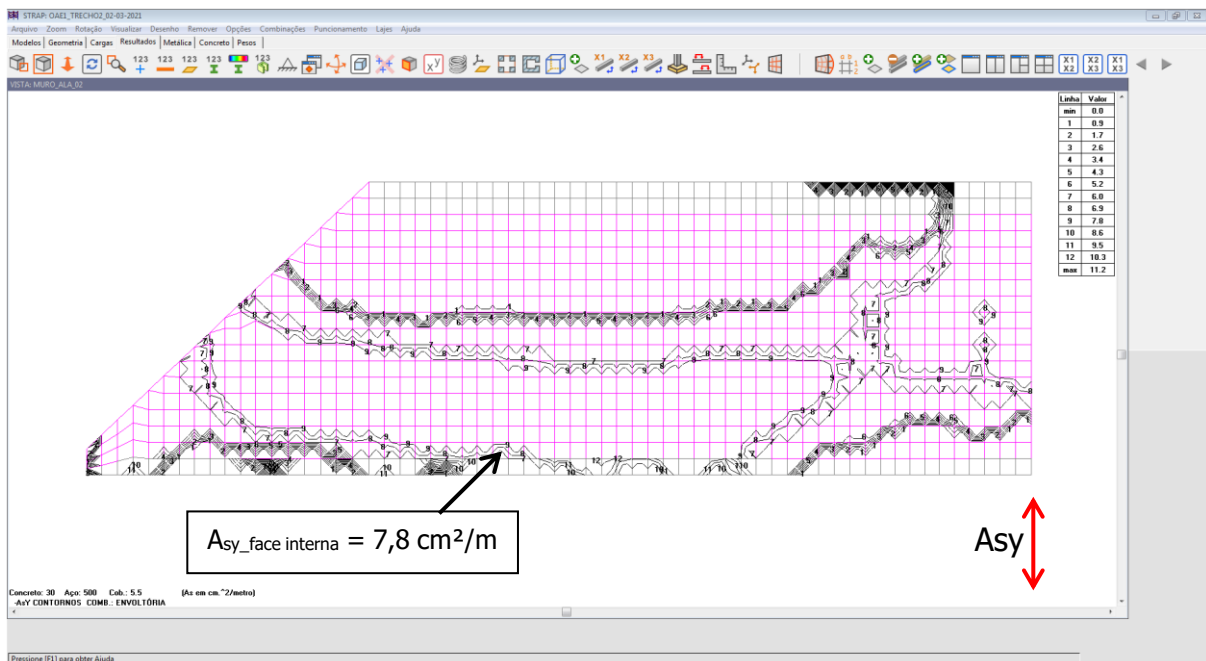


Figura 7.46 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face interna – Muro Ala 02 (cm²/m)
Armadura de projeto = 12,5 cm²/m – **(OK)**.

• Direção Y – Armadura da face externa – Muro Ala 02:

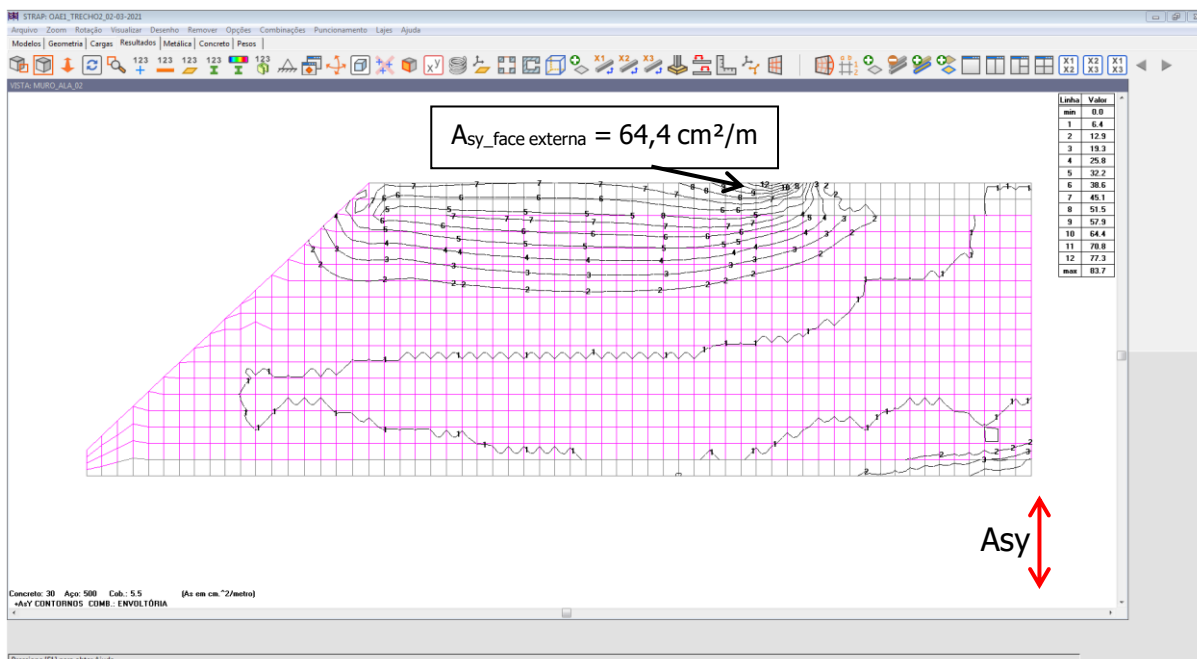


Figura 7.47 – Diag. de Dimensionamento – Armadura dir. Y face externa – Muro Ala 01 (cm²/m)
 Armadura de projeto = 66 cm²/m – **(OK)**.

7.8.2. DIMENSIONAMENTO DOS MUROS ALA AO ESFORÇO CORTANTE - ELU:

Muro Ala 01 { $b_w = 100 \text{ cm}, h = 60 \text{ cm}, d' = 5,5 \text{ cm}$
 $V_{max} = 987,0 \text{ kN/m}$

DADOS	
$V_n =$	987,0 kN
$\gamma_f =$	1
$f_{ck} =$	30 MPa
$\gamma_c =$	1,4
$b =$	100 cm
$h =$	60 cm
$d' =$	5,5 cm
$A_{s1} =$	12,5 cm ²
$N_S =$	0,0 kN
VERIFICAÇÃO	
$\tau_{Rd} =$	0,0362 kN/cm ²
$k =$	1,06
$\rho_1 =$	0,0023
$\sigma_{cp} =$	0,00000 kN/cm ²
$V_{Sd} =$	987,0 kN
$VRd1 =$	268,9 kN
V_{Sd}	> V_{Rd1}
ARMA	

A_{s1} : área da armadura de tração que se estende até não menos que $d+l_{b,nec}$.

N_S : força longitudinal na seção devida à protensão ou carregamento.

Dados	
Fck =	30 MPa
γ_c =	1,4
Aço =	500 MPa
γ_s =	1,15
bw =	100 cm
h =	60 cm
d' =	5,5 cm
d =	54,5 cm
Vs =	987 kN
γ_f =	1
Vsd =	987 kN
Verificação do concreto	
Vsd =	987,0 kN
Vrd2 =	2774,8 kN
Vsd =	< Vrd2
Concreto =	Bielas não romperá
Armadura	
Vrd3 =	Vc + Vsw
Vc =	473,6 kN
Vsw =	(Asw/s)*0,9*d*Fyw d*(sen α +cos α)
Asw =	24,08 cm ² /m
Asw(min.) =	11,59 cm ² /m
Asw (Final) =	24,08 cm²/m ←
Espaçamento	
Vsd =	987,0 kN
0,67*Vrd2 =	1859,1 kN/cm ²
Smáx =	30 cm

Armadura de projeto = 30,0 cm²/m – (OK).

Muro Ala 02 { bw = 100 cm, h= 60 cm, d'= 5,5 cm
Vmax = 634,0 kN/m

DADOS	
Vn =	634,0 kN
γ_f =	1
fck =	30 MPa
γ_c =	1,4
b =	100 cm
h =	60 cm
d' =	5,5 cm
As1 =	12,5 cm ²
Ns =	0,0 kN
VERIFICAÇÃO	
τ_{Rd} =	0,0362 kN/cm ²
k =	1,06
ρ_1 =	0,0023
σ_{cp} =	0,00000 kN/cm ²
Vsd =	634,0 kN
VRd1 =	268,9 kN
Vsd >	VRd1
ARMA	

As1: área da armadura de tração que se estende até não menos que d+I_{b,nec}.

Ns: força longitudinal na seção devida à protensão ou carregamento.

Dados	
Fck =	30 MPa
γ_c =	1,4
Aço =	500 MPa
γ_s =	1,15
bw =	100 cm
h =	60 cm
d' =	5,5 cm
d =	54,5 cm
Vs =	634 kN
γ_f =	1
Vsd =	634 kN
Verificação do concreto	
Vsd =	634,0 kN
Vrd2 =	2774,8 kN
Vsd =	< Vrd2
Concreto =	<i>Biela não romperá</i>
Armadura	
Vrd3 =	Vc + Vsw
Vc =	473,6 kN
Vsw =	(Asw/s)*0,9*d*Fyw d*(sen α +cos α)
Asw =	7,52 cm ² /m
Asw(min.) =	11,59 cm ² /m
Asw (Final) =	11,59 cm²/m ←
Espaçamento	
Vsd =	634,0 kN
0,67*Vrd2 =	1859,1 kN/cm ²
Smáx =	30 cm

Armadura de projeto = 30,0 cm²/m – **(OK)**.

8. VERIFICAÇÃO – ESTACAS

8.1. ESTACAS: DETERMINAÇÃO TEÓRICA DA CAPACIDADE DE CARGA

A carga admissível no ELU deve atender:

$$a) \text{ Limite de ruptura do elemento estrutural } N_d = \frac{(0,85 \cdot f_{ck}) A_c}{\gamma_c} + \frac{(A_s \cdot f_{yk})}{\gamma_s};$$

Sendo $f_{ck} = 20MPa$; $\gamma_c = 1,6$; $\gamma_s = 1,15$ - Tabela 4 / NBR 6122:2010.

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA ESTACA-RAIZ (kN)										
Diâmetro da estaca (cm)		10	12	15	16	20	25	31	41	50
Armação de aço CA50A (mm)										
1 φ 16 ou 4 φ 8		100	100	150	150	250	400	600		
1 φ 25 ou 4 φ 12,5		150	150	200	250	300	450	650		
3 φ 16 ou 5 φ 12,5			200	250	250	350	500	700	1.100	1.600
4 φ 16			250	300	300	400	500	750	1.150	1.650
5 φ 16				350	350	450	550	750	1.200	1.700
6 φ 16 ou 4 φ 20					400	500	600	800	1.250	1.750
7 φ 16 ou 5 φ 20					450	550	650	850	1.300	1.800
6 φ 20 ou 5 φ 22						600	750	950	1.400	1.900
7 φ 20 ou 6 φ 22							800	1.050	1.500	1.950
8 φ 20										2.000
Estribos	Aço (mm)			5,0	5,0	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
	Espaçamento (cm)			20	20	20	20	20	20	20
	Diâmetro (cm)	6,7	6,7	8,3	8,3	9,9	14,0	19,0	25,0	34

Tabela extraída do artigo Reavaliação do Dimensionamento Estrutural da Estaca-Raiz Face às Exigências do Ensaio MB-3462 da ABNT, de Urbano Alonso, publicado na revista Solos & Rochas, vol.16-D páginas 41 a 44-D, abril de 1993.

Figura 8.1 – Limite de ruptura do elemento estrutural (kN).

Limite de ruptura adotado em projeto = 1300 kN.

b) Limite de ruptura do maciço de solo / rocha

Na verificação das estacas raiz, utiliza-se o método teórico de DAVID CABRAL, com base nos valores N de ensaio SPT, para previsão da sua capacidade de carga.

A carga admissível considerada é a carga de ruptura dividida por 2 ou 1,25*(resistência do atrito lateral) – limitação imposta à resistência de ponta para estacas escavadas conforme item 8.2.1.2 NBR 6122:2010.

Entretanto, pelo fato de não terem sido disponibilizados laudos de sondagem das regiões de construção das OAEs do Trecho 02 até o momento presente, prossegue-se a execução básica do seu dimensionamento com as seguintes considerações:

- No projeto de fundações especifica-se que as estacas devem ser escavadas no mínimo 8 metros em $SPT \geq 50$, conforme a indicação dos cálculos mostrados abaixo. A determinação da capacidade de carga será feita de forma similar à estaca raiz embutida em rocha. Segundo David Cabral, deve-se contar apenas com a capacidade do trecho embutido acrescido do comprimento da estaca em solo com $SPT \geq 10$.

SOLO	Cota (m)	SPT	B ₀	B ₁	B ₂	Q _i (tf)	Σ Q _i (tf)	Q _p (tf)	Q _r (tf)	Q _{adm} (tf)
E S C A V A Ç Ã O	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									
	9									
Solo	.	N. I.								
Solo	.	N. I.								
Solo	.	N. I.								
Solo	.	N. I.								
Solo	.	N. I.								
Solo	➤ +1	50	0,81	8,0	2,8	25,76	25,8	66,0	91,8	45,9
Solo	➤ +2	50	0,81	8,0	2,8	25,76	51,5	66,0	117,5	58,8
Solo	➤ +3	50	0,81	8,0	2,8	25,76	77,3	66,0	143,3	71,6
Solo	➤ +4	50	0,81	8,0	2,8	25,76	103,0	66,0	169,1	84,5
Solo	➤ +5	50	0,81	8,0	2,8	25,76	128,8	66,0	194,8	97,4
Solo	➤ +6	50	0,81	8,0	2,8	25,76	154,6	66,0	220,6	110,3
Solo	➤ +7	50	0,81	8,0	2,8	25,76	180,3	66,0	246,3	123,2
Solo	➤ +8	51	0,81	8,0	2,8	25,76	206,1	66,0	272,1	136,1

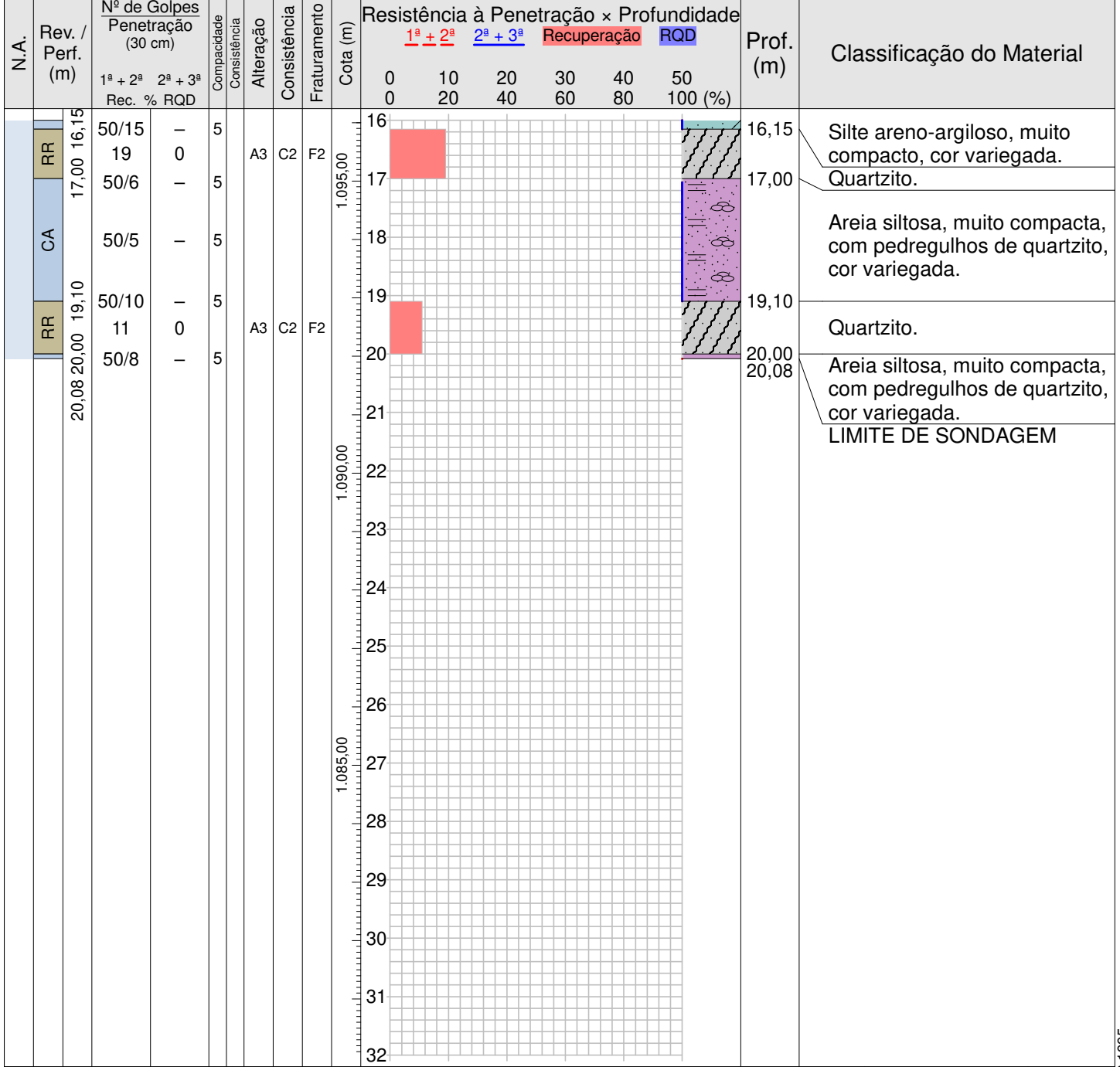
- Alternativamente, determina-se que as estacas projetadas devem ser escavadas no mínimo 3 metros em rocha sã. Os cálculos introduzidos a seguir demonstram a origem do critério adotado.

SOLO	Cota	SPT	B ₀	B ₁	B ₂	QI (tf)	Σ QI (tf)	Q _p (tf)	Q _r (tf)	Q _{adm} (tf)
	(m)									
E S C A V A Ç Ã O	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									
	9									
	Solo		N. I.							
Solo		N. I.								
Solo		N. I.								
Solo		N. I.								
Solo		N. I.								
Rocha	+1					97,39	97,4	30,19	127,58	63,8
Rocha	+2					97,39	194,8	30,19	224,97	112,5
Rocha	+3					97,39	292,2	30,19	322,36	161,2

A determinação da profundidade de assentamento definitivo das estacas raiz para as OAEs de projeto, e assim o devido dimensionamento das fundações propostas serão realizados após a apresentação das informações geotécnicas mencionadas.

Ø Amostrador Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Externo: 2" Interno: 1 3/8"	Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf Escala vertical: 1:100 Sistema: Manual	Cota da boca do furo: 1.112,043 m Revestimento: 12,00 m Nível d'água: 7,03 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
					Início	10 min	20 min
				-	-	-	-

Perfuração: CA-Circulação de Água RR-Rotativa



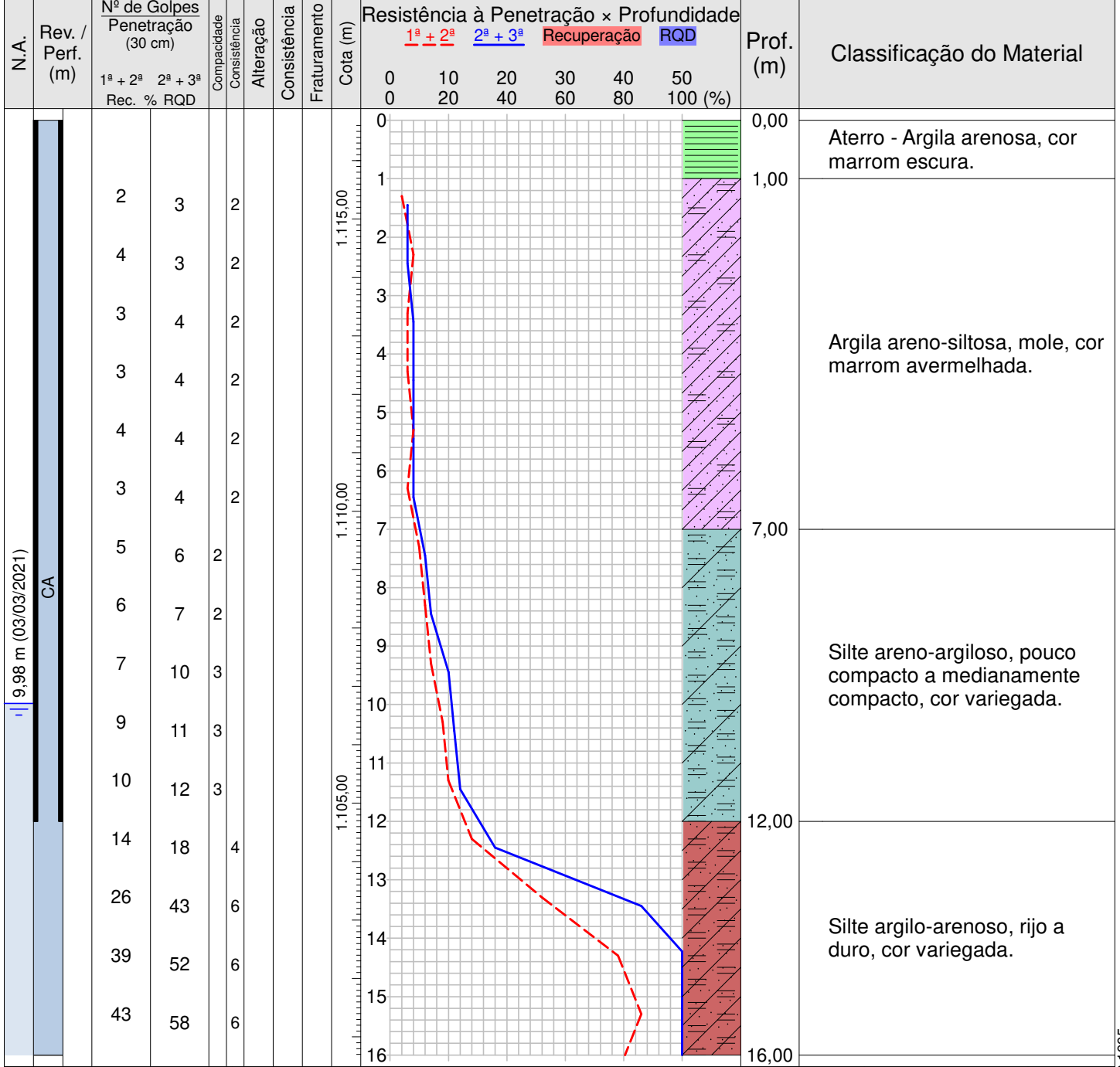
Compacidade/Consistência	1	2	3	4	5	6
Areias ou siltes arenosos	Fofa(o)	Pouco compacta(o)	Medianamente compacta(o)	Compacta(o)	Muito compacta(o)	—
Argilas ou siltes argilosos	Muito mole	Mole	Média(o)	Rija(o)	Muito rija(o)	Dura(o)

RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)	Alteração: A0 - São ou quase são A1 - Pouco alterada A2 - Medianamente alterada A3 - Muito alterada A4 - Extremamente alterada	Consistência: C0 - Muito consistente C1 - Consistente C2 - Medianamente consistente C3 - Pouco consistente C4 - Friável	Fratramento: F0 - Maciça F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada	Rotativa Ø Furo: BW Inclinação: 0°
---	--	---	--	---

CONFORME NBR 6484:2020/NBR 6502:1995

Ø Amostrador Externo: 2" Interno: 1½"	Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf Escala vertical: 1:100	Cota da boca do furo: 1.116,688 m Revestimento: 12,00 m Sistema: Manual	Ensaio de Avanço por Circulação de Água Nível d'água: 9,98 m	Início	10 min	20 min	30 min
				-	-	-	-

Perfuração: CA-Circulação de Água RR-Rotativa

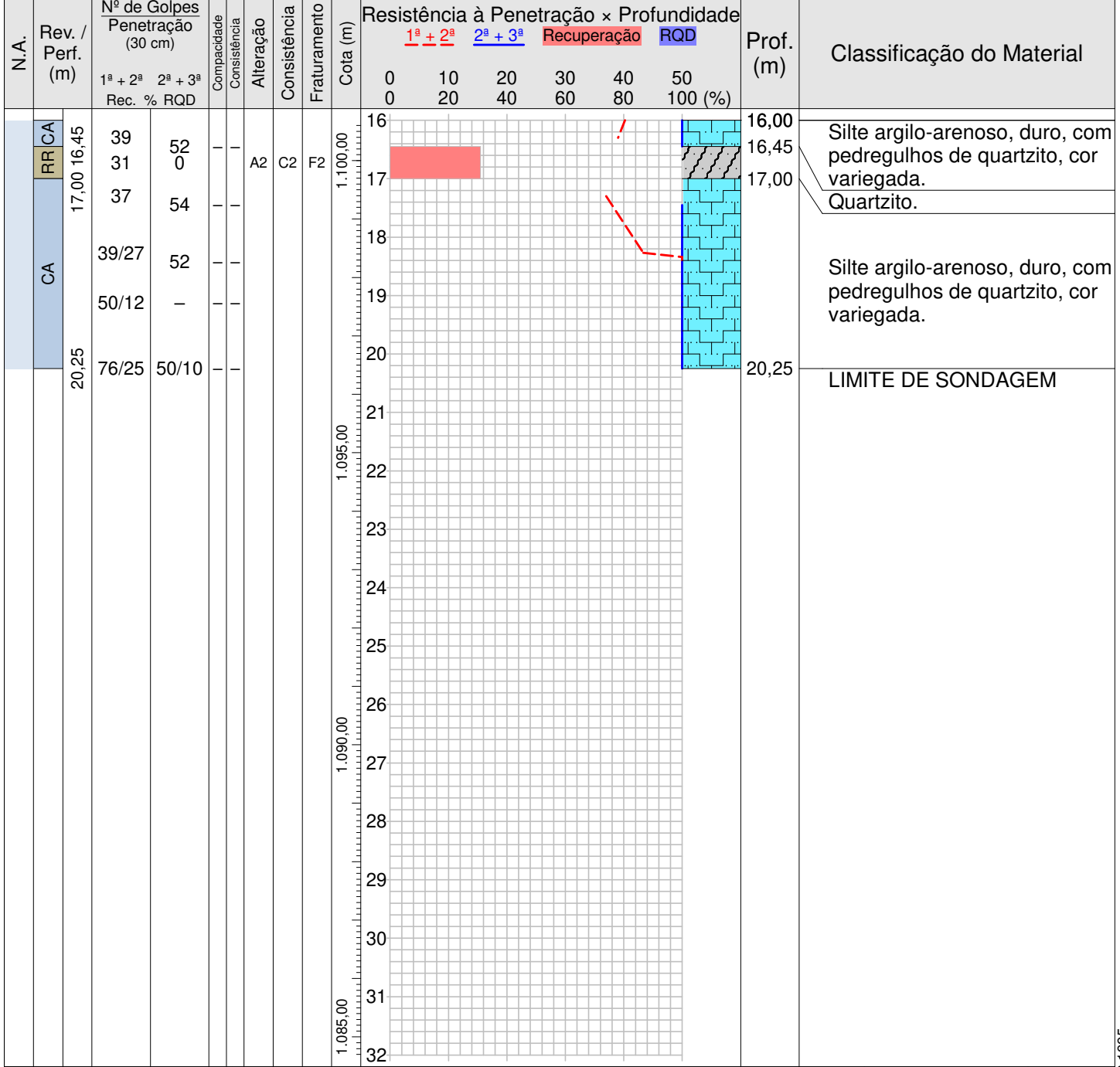


Compacidade/Consistência Areias ou siltes arenosos Argilas ou siltes argilosos	1 Fofa(o) Muito mole	2 Pouco compacta(o) Mole	3 Medianamente compacta(o) Média(o)	4 Compacta(o) Rija(o)	5 Muito compacta(o) Muito rija(o)	6 — Dura(o)
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)	Alteração: A0 - São ou quase são A1 - Pouco alterada A2 - Medianamente alterada A3 - Muito alterada A4 - Extremamente alterada	Consistência: C0 - Muito consistente C1 - Consistente C2 - Medianamente consistente C3 - Pouco consistente C4 - Friável	Fraturamento: F0 - Maciça F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada	Rotativa Ø Furo: BW Inclinação: 0°		

CONFORME NBR 6484:2020/NBR 6502:1995

Ø Amostrador Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Externo: 2" Interno: 1 3/8"	Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf Escala vertical: 1:100 Sistema: Manual	Cota da boca do furo: 1.116,688 m Revestimento: 12,00 m Nível d'água: 9,98 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
					Início	10 min	20 min
				-	-	-	-

Perfuração: CA-Circulação de Água RR-Rotativa



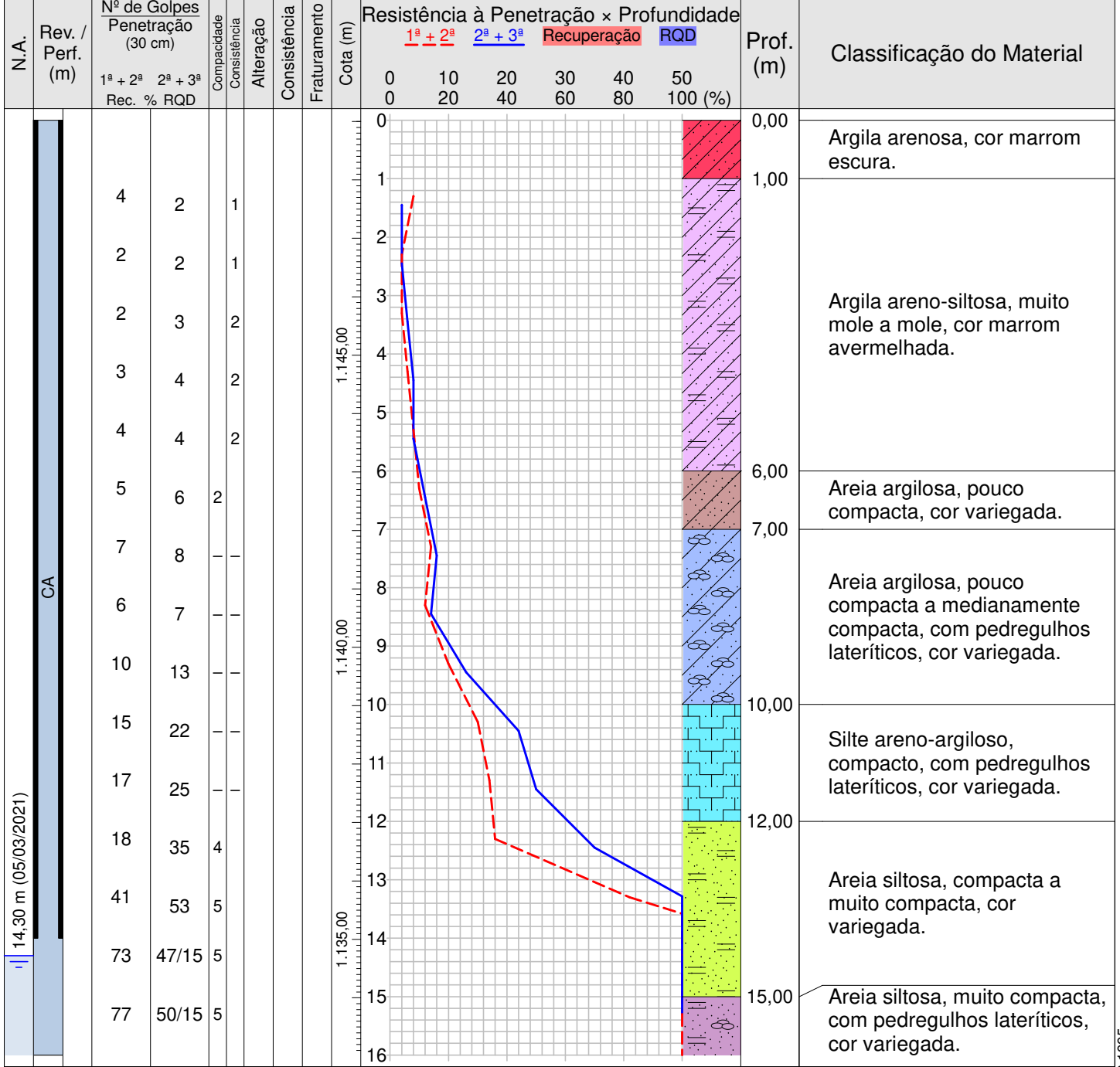
Compacidade/Consistência	1	2	3	4	5	6
Areias ou siltes arenosos	Fofa(o)	Pouco compacta(o)	Medianamente compacta(o)	Compacta(o)	Muito compacta(o)	—
Argilas ou siltes argilosos	Muito mole	Mole	Média(o)	Rija(o)	Muito rija(o)	Dura(o)

RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)	Alteração: A0 - São ou quase são A1 - Pouco alterada A2 - Medianamente alterada A3 - Muito alterada A4 - Extremamente alterada	Consistência: C0 - Muito consistente C1 - Consistente C2 - Medianamente consistente C3 - Pouco consistente C4 - Friável	Fraturamento: F0 - Maciça F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada	Rotativa Ø Furo: BW Inclinação: 0°
---	--	---	---	---

CONFORME NBR 6484:2020/NBR 6502:1995

Ø Amostrador Externo: 2" Interno: 1 1/2" Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf Escala vertical: 1:100 Sistema: Manual	Cota da boca do furo: 1.149,016 m Revestimento: 14,00 m Nível d'água: 14,30 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
			Início	10 min	20 min	30 min
			-	-	-	-

Perfuração: CA - Circulação de Água

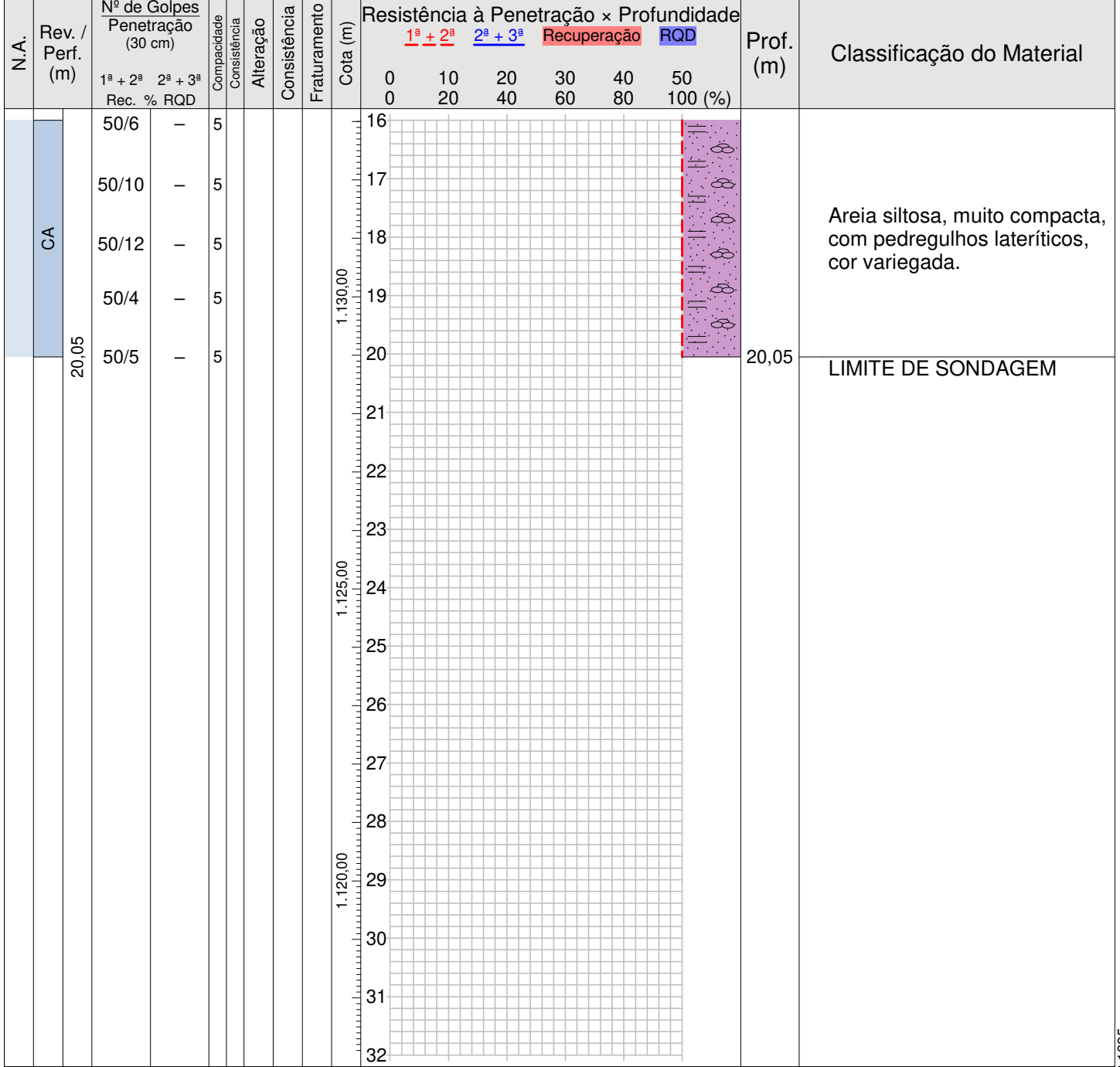


Compacidade/Consistência	1	2	3	4	5	6
Areias ou siltes arenosos	Fofa(o)	Pouco compacta(o)	Medianamente compacta(o)	Compacta(o)	Muito compacta(o)	—
Argilas ou siltes argilosos	Muito mole	Mole	Média(o)	Rija(o)	Muito rija(o)	Dura(o)
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)	Alteração: A0 - São ou quase são A1 - Pouco alterada A2 - Medianamente alterada A3 - Muito alterada A4 - Extremamente alterada	Consistência: C0 - Muito consistente C1 - Consistente C2 - Medianamente consistente C3 - Pouco consistente C4 - Friável	Fraturamento: F0 - Maciça F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada	Rotativa Ø Furo: BW Inclinação: 0°		

CONFORME NBR 6484:2020/NBR 6502:1995

Ø Amostrador Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Externo: 2" Interno: 1 3/8"	Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf Escala vertical: 1:100 Sistema: Manual	Cota da boca do furo: 1.149,016 m Revestimento: 14,00 m Nível d'água: 14,30 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
					Início	10 min	20 min
				-	-	-	-

Perfuração: CA - Circulação de Água

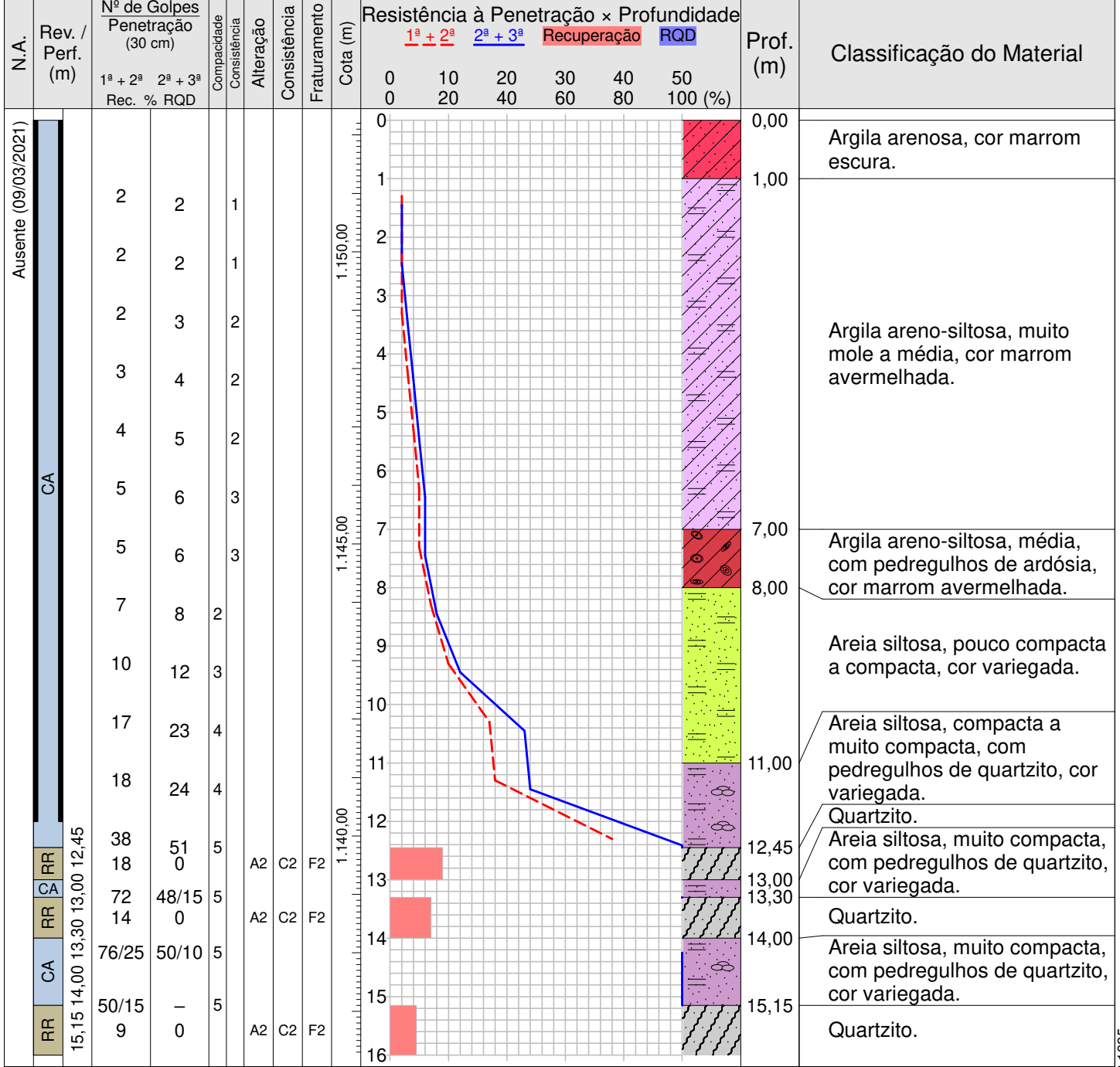


Compacidade/Consistência	1	2	3	4	5	6
Areias ou siltes arenosos	Fofa(o)	Pouco compacta(o)	Medianamente compacta(o)	Compacta(o)	Muito compacta(o)	—
Argilas ou siltes argilosos	Muito mole	Mole	Média(o)	Rija(o)	Muito rija(o)	Dura(o)
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)	Alteração: A0 - São ou quase são A1 - Pouco alterada A2 - Medianamente alterada A3 - Muito alterada A4 - Extremamente alterada	Consistência: C0 - Muito consistente C1 - Consistente C2 - Medianamente consistente C3 - Pouco consistente C4 - Friável	Fraturamento: F0 - Maciça F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada	Rotativa Ø Furo: BW Inclinação: 0°		

CONFORME NBR 6484:2020/NBR 6502:1995

Ø Amostrador Externo: 2" Interno: 1 1/2" Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf Escala vertical: 1:100 Sistema: Manual	Cota da boca do furo: 1.152,246 m Revestimento: 12,00 m Nível d'água: Ausente	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
			Início	10 min	20 min	30 min
			-	-	-	-

Perfuração: CA - Circulação de Água RR - Rotativa

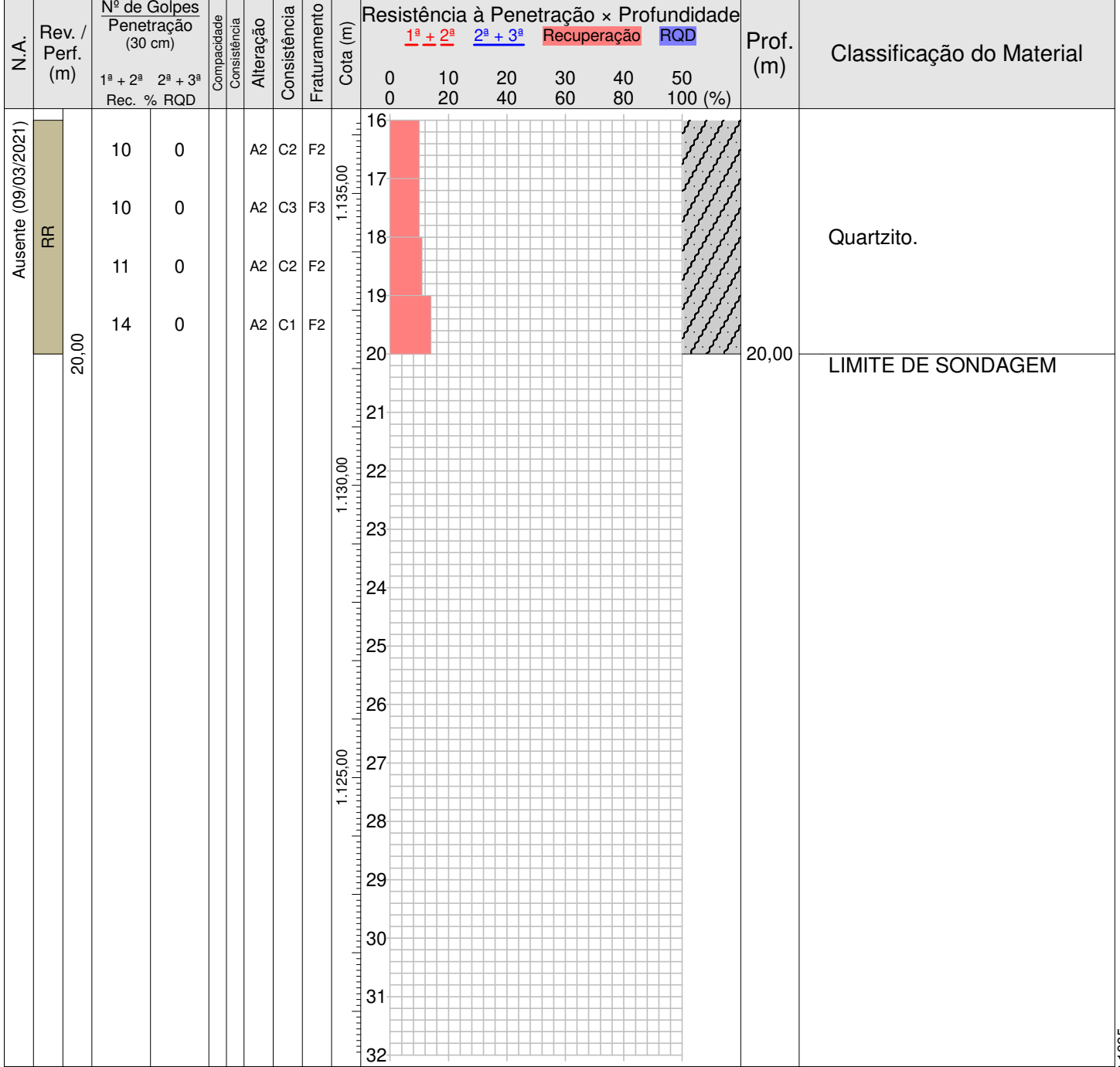


Compacidade/Consistência	1	2	3	4	5	6
Areias ou siltes arenosos	Fofa(o)	Pouco compacta(o)	Medianamente compacta(o)	Compacta(o)	Muito compacta(o)	—
Argilas ou siltes argilosos	Muito mole	Mole	Média(o)	Rija(o)	Muito rija(o)	Dura(o)
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)	Alteração: A0 - São ou quase são A1 - Pouco alterada A2 - Medianamente alterada A3 - Muito alterada A4 - Extremamente alterada	Consistência: C0 - Muito consistente C1 - Consistente C2 - Medianamente consistente C3 - Pouco consistente C4 - Friável	Fratramento: F0 - Maciça F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada	Rotativa Ø Furo: BW Inclinação: 0°		

CONFORME NBR 6484:2020/NBR 6502:1995

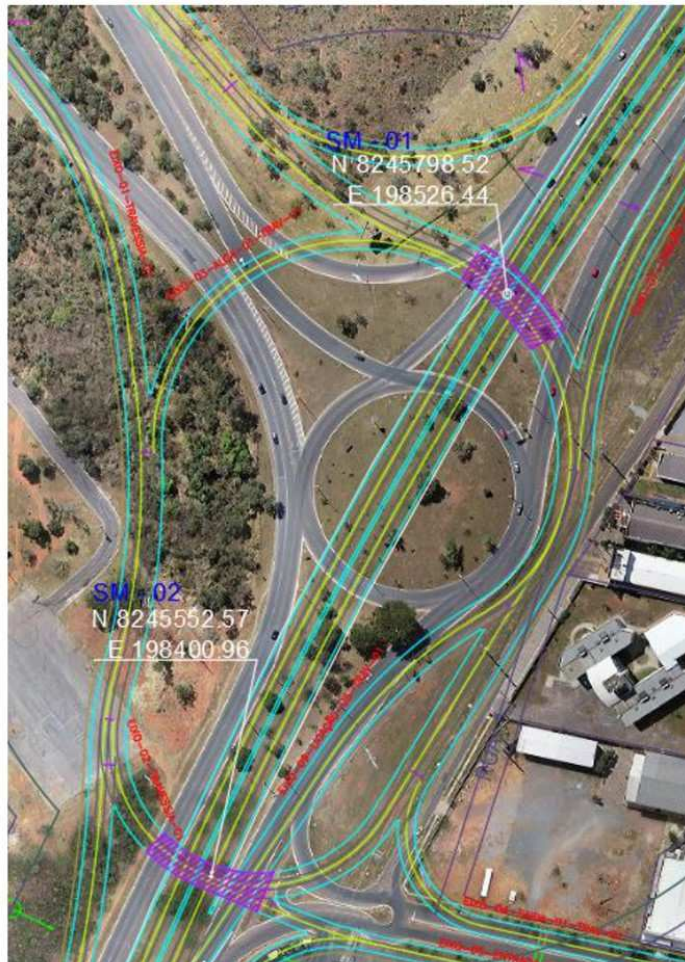
Ø Amostrador Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Externo: 2" Interno: 1 3/8"	Altura de queda: 75 cm Peso: 65 kgf Escala vertical: 1:100 Sistema: Manual	Cota da boca do furo: 1.152,246 m Revestimento: 12,00 m Nível d'água: Ausente	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
					Início	10 min	20 min
				-	-	-	-

Perfuração: CA-Circulação de Água RR-Rotativa



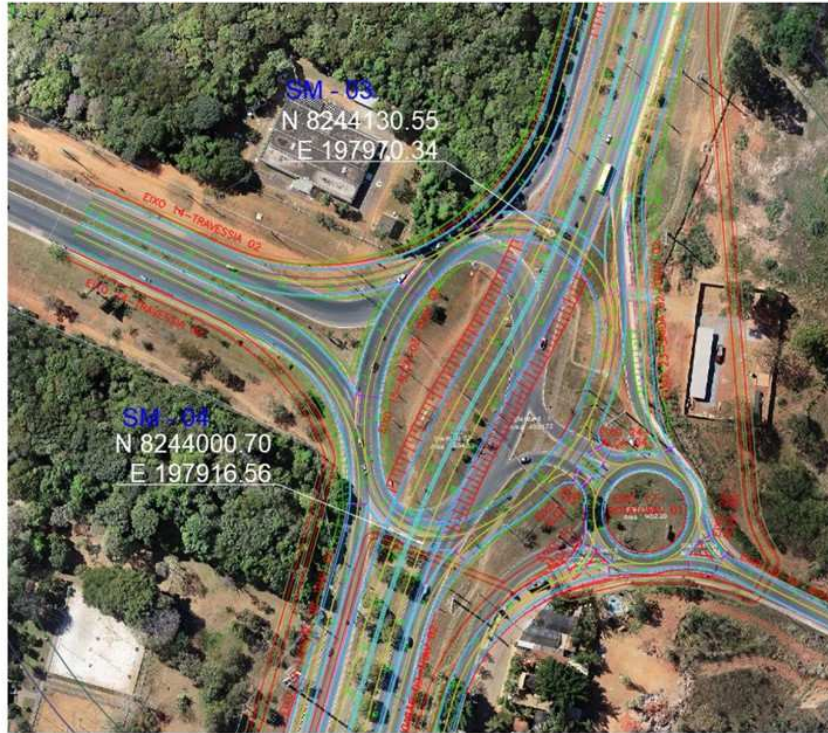
Compacidade/Consistência	1	2	3	4	5	6
Areias ou siltes arenosos	Fofa(o)	Pouco compacta(o)	Medianamente compacta(o)	Compacta(o)	Muito compacta(o)	—
Argilas ou siltes argilosos	Muito mole	Mole	Média(o)	Rija(o)	Muito rija(o)	Dura(o)
RQD (%): 0 a 24 - Muito pobre (MP) 25 a 49 - Pobre (P) 50 a 74 - Regular (R) 75 a 89 - Boa (B) 90 a 100 - Excelente (E)	Alteração: A0 - São ou quase são A1 - Pouco alterada A2 - Medianamente alterada A3 - Muito alterada A4 - Extremamente alterada	Consistência: C0 - Muito consistente C1 - Consistente C2 - Medianamente consistente C3 - Pouco consistente C4 - Friável	Fraturamento: F0 - Maciça F1 - Pouco fraturada F2 - Medianamente fraturada F3 - Muito fraturada F4 - Extremamente fraturada	Rotativa Ø Furo: BW Inclinação: 0°		

CONFORME NBR 6484:2020/NBR 6502:1995



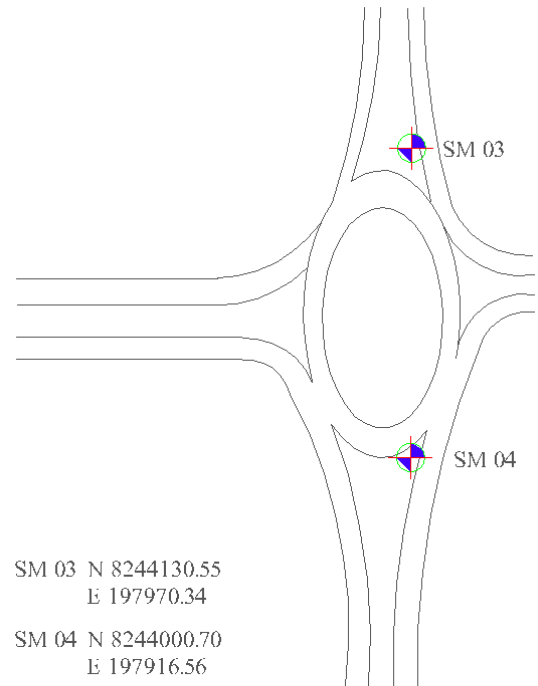
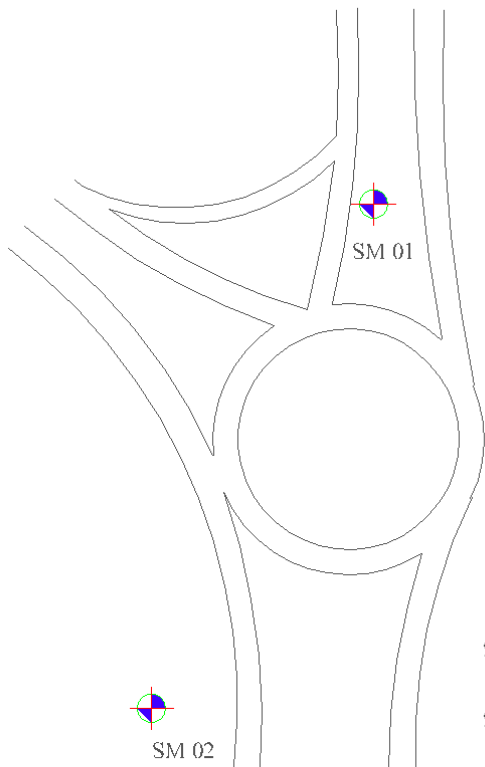
COORDENADAS SONDAGENS ROTATIVAS – TRECHO 01

© 2021 Sonda Engenharia Ltda.



COORDENADAS SONDAGENS ROTATIVAS – TRECHO 02

© 2021 Sonda Engenharia Ltda.



SM 01 N 8245798.52
E 198526.44

SM 03 N 8244130.55
E 197970.34

SM 02 N 8245552.57
E 198400.96

SM 04 N 8244000.70
E 197916.56