

A - PEÇAS ESCRITAS

III – CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS



# ÍNDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>QUANTIFICAÇÃO DAS ACÇÕES</b>                          | <b>9</b>  |
| 1.1      | PESO PRÓPRIO (PP)  | 9         |
| 1.2      | RESTANTE CARGA PERMANENTE (RCP)                          | 9         |
| 1.3      | SOBRECARGAS (SOB)  | 11        |
| 1.4      | ACÇÃO TÉRMICA (T)  | 12        |
| 1.5      | ACÇÃO DO VENTO (W)                                       | 12        |
| 1.5.1    | <i>Vento na direcção X – sentido positivo</i>            | 13        |
| 1.5.2    | <i>Vento na direcção X – sentido negativo</i>            | 15        |
| 1.5.3    | <i>Vento na direcção Y – sentido positivo e negativo</i> | 17        |
| 1.6      | ACÇÃO SÍSMICA (E)  | 20        |
| 1.7      | EQUIPAMENTOS MECÂNICOS (MAQ)                             | 22        |
| 1.7.1    | <i>Cargas Permanentes</i>                                | 22        |
| 1.7.2    | <i>Sobrecargas</i>                                       | 22        |
| 1.8      | IMPULSOS (I)   | 24        |
| 1.8.1    | <i>Impulsos dos combustíveis armazenados</i>             | 24        |
| 1.8.2    | <i>Impulso do terreno no fosso de recepção</i>           | 25        |
| <b>2</b> | <b>DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA</b>             | <b>27</b> |
| 2.1      | DISPENSA DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM                    | 27        |
| 2.2      | ESTADO LIMITE ÚLTIMO                                     | 28        |
| 2.2.1    | <i>Pilares Compostos – Montantes</i>                     | 28        |
| 2.2.2    | <i>Pilares Compostos – Diagonais</i>                     | 32        |
| 2.2.3    | <i>Asnas</i>   | 33        |
| 2.2.4    | <i>Travamentos da Cobertura</i>                          | 34        |
| 2.2.5    | <i>Travamentos dos Alçados</i>                           | 35        |
| 2.2.6    | <i>Viga da Ponte Rolante</i>                             | 36        |
| 2.2.7    | <i>Pilar exterior do Pórtico H</i>                       | 40        |
| 2.2.8    | <i>Pilar do Pórtico I</i>                                | 42        |
| 2.2.9    | <i>Madre dos Alçados</i>                                 | 44        |
| 2.2.10   | <i>Cantoneiras L50x5</i>                                 | 45        |
| 2.2.11   | <i>Restantes elementos</i>                               | 45        |
| 2.3      | ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO                              | 46        |
| 2.4      | LIGAÇÕES METÁLICAS                                       | 46        |
| 2.4.1    | <i>Ligações Soldadas</i>                                 | 46        |
| 2.4.2    | <i>Ligações Aparafusadas</i>                             | 47        |
| <b>3</b> | <b>DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE BETÃO</b>             | <b>49</b> |
| 3.1      | ESTADO LIMITE ÚLTIMO                                     | 49        |

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 3.1.1 | <i>Pilares</i>                      | 49 |
| 3.1.2 | <i>Paredes das Baias</i>            | 51 |
| 3.1.3 | <i>Paredes dos Fossos e Muros</i>   | 53 |
| 3.1.4 | <i>Laje de ensoleiramento</i>       | 54 |
| 3.1.5 | <i>Estacas</i>                      | 60 |
| 3.2   | ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO       | 62 |
| 3.2.1 | <i>Estado Limite de Fendilhação</i> | 62 |
| 3.2.2 | <i>Estado Limite de Deformação</i>  | 64 |

# ÍNDICE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 – Peso Próprio - Betão Armado.....   | 9  |
| Figura 1.2 – Peso Próprio - Elementos Metálicos.....  | 9  |
| Figura 1.3 - VUT+ em elementos tipo frame [°C].....   | 12 |
| Figura 1.4 - VUT- em elementos tipo frame [°C].....   | 12 |
| Figura 1.5 - VUT+ em elementos tipo shell [°C].....   | 12 |
| Figura 1.6 - VUT- em elementos tipo shell [°C].....   | 12 |
| Figura 1.7 - Espectros de Resposta de cálculo.....  | 20 |
| Figura 1.8 - Modo de Vibração 4.....  | 21 |
| Figura 1.9 - Modo de Vibração 5.....  | 21 |
| Figura 1.10 - Modo de Vibração 9.....   | 21 |
| Figura 1.11 - RCP das máquinas [kN/m <sup>2</sup> ].....  | 22 |
| Figura 1.12 - RCP dos carris da ponte rolante [kN/m].....   | 22 |
| Figura 1.13 - SC no ensoleiramento [kN/m <sup>2</sup> ].....  | 22 |
| Figura 1.14 - SC das máquinas [kN/m <sup>2</sup> ].....   | 22 |
| Figura 1.15 – SC de frenagem da grua.....   | 23 |
| Figura 1.16 – SC de lacete da grua.....   | 23 |
| Figura 1.17 - SC vertical da ponte rolante.....   | 23 |
| Figura 1.18 - Gráfico das Pressões numa baia.....   | 24 |
| Figura 1.19 - Gráfico das Pressões num fosso.....   | 24 |
| Figura 1.20 - Impulsos Horizontais num fosso [kN/m <sup>2</sup> ].....                                | 24 |
| Figura 1.21 - Impulsos Horizontais numa baia [kN/m <sup>2</sup> ].....                                | 24 |
| Figura 1.22 - Pressões Verticais (atrato e pressão de fundo) numa baia [kN/m <sup>2</sup> ].....      | 24 |
| Figura 1.23 - Pressões Verticais (atrato e pressão de fundo) num fosso [kN/m <sup>2</sup> ].....      | 24 |
| Figura 1.24 - Impulsos do terreno no fosso - Caso 1.....  | 26 |
| Figura 1.25 - Impulsos do terreno no fosso - Caso 2.....  | 26 |
| Figura 2.1 - Esforço Axial Máximo no Montante com Lcr,z=2,4m e Lcr,y=3,7m.....                        | 28 |
| Figura 2.2 - Esforço Axial Máximo no Montante com Lcr,z=1,2m e Lcr,y=3,7m.....                        | 29 |
| Figura 2.3 - Esforço Axial Máximo no Montante com Lcr,z=0,5m e Lcr,y=11,7m.....                       | 29 |
| Figura 2.5 - Ábacos de Dimensionamento à Compressão de perfis HEA – eixo menor inércia (excerto)..... | 30 |
| Figura 2.4 - Ábacos de Dimensionamento à Compressão de perfis HEA – eixo maior inércia (excerto)..... | 30 |
| Figura 2.6 – Diagrama de Mz no topo dos Pilares.....  | 31 |
| Figura 2.7 – Folha de dimensionamento do SAP2000 do topo do Montante.....                             | 31 |
| Figura 2.8 – Diagrama de esforços axiais no cordão interiores dos pilares mais comprimido.....        | 32 |
| Figura 2.9 - Ábaco de Dimensionamento à Compressão de Cantoneiras (excerto).....                      | 32 |
| Figura 2.10 – Diagrama de esforços axiais do cordão exterior das asnas mais comprimido.....           | 33 |
| Figura 2.11 - Ábaco de Dimensionamento à Compressão de Tubos Quadrados (excerto).....                 | 33 |
| Figura 2.12 – Diagrama de esforços axiais do travamento de cobertura mais comprimido.....             | 34 |
| Figura 2.13 - Ábaco de Dimensionamento à Compressão de Perfis UNP (excerto).....                      | 34 |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Figura 2.14 – Diagrama de esforços axiais do travamento de alçado mais comprimido .....</i>                       | <i>35</i> |
| <i>Figura 2.15 - Ábaco de Dimensionamento à Compressão de Perfis HEB (excerto) .....</i>                             | <i>35</i> |
| <i>Figura 2.16 – Diagrama de My do troço mais desfavorável da viga da ponte rolante .....</i>                        | <i>36</i> |
| <i>Figura 2.17 - Excerto da tabela de cálculo - Secção com flexão composta desviada .....</i>                        | <i>37</i> |
| <i>Figura 2.18 - Resultados da análise de secção da viga da ponte rolante pelo software SemiComp .....</i>           | <i>37</i> |
| <i>Figura 2.19 - Esquema da encurvadura lateral da viga (obtido no LTBeam).....</i>                                  | <i>38</i> |
| <i>Figura 2.20 - Excerto da tabela Excel no dimensionamento da viga da ponte rolante – Encurvadura Lateral... 38</i> | <i>38</i> |
| <i>Figura 2.21 - Momento Crítico através do software LTBeam .....</i>  | <i>39</i> |
| <i>Figura 2.22 - Folha de dimensionamento do SAP2000 da viga da Ponte Rolante .....</i>                              | <i>39</i> |
| <i>Figura 2.23 - Esforços My do SAP do troço mais desfavorável no pilar exterior do pórtico H.....</i>               | <i>40</i> |
| <i>Figura 2.24 – Excerto da tabela de cálculo do dimensionamento do pilar do pórtico H – Coluna-viga .....</i>       | <i>40</i> |
| <i>Figura 2.25 - Resultados da análise de elemento do pilar exterior do pórtico H pelo software SemiComp .....</i>   | <i>41</i> |
| <i>Figura 2.26 - Folha de dimensionamento corrigida do pilar exterior do pórtico H pelo SAP2000.....</i>             | <i>42</i> |
| <i>Figura 2.27 - Esforços da Combinação ELU.Wy2(T-) do pilar do pórtico I.....</i>                                   | <i>43</i> |
| <i>Figura 2.28 - Esforços da Combinação ELU.Wy2(T-) do pilar do pórtico I.....</i>                                   | <i>43</i> |
| <i>Figura 2.29 - Excerto da tabela de cálculo do dimensionamento do pilar do pórtico I – Coluna-viga .....</i>       | <i>44</i> |
| <i>Figura 2.30 - Folha de dimensionamento corrigida do pilar do pórtico I pelo SAP2000 – Comb. ELU.Wy2(T-)44</i>     | <i>44</i> |
| <i>Figura 2.31 - Ábaco de dimensionamento de Ligações Soldadas.....</i>  | <i>47</i> |
| <i>Figura 2.32 - Esquema 3D do encastramento dos pilares do Pórtico I.....</i>                                       | <i>48</i> |
| <i>Figura 2.33 - Verificação da segurança da ligação de encastramento dos pilares do Pórtico I .....</i>             | <i>48</i> |
| <i>Figura 2.34 - Esquema 3D do encastramento dos montantes.....</i>  | <i>48</i> |
| <i>Figura 2.35 - Verificação da segurança da ligação de encastramento dos montantes .....</i>                        | <i>48</i> |
| <i>Figura 3.1 - Ábaco de flexão composta desviada dos pilares com N=-6000 kN.....</i>                                | <i>49</i> |
| <i>Figura 3.2 - Ábaco de flexão composta desviada dos pilares com N=-4000 kN .....</i>                               | <i>49</i> |
| <i>Figura 3.3 - Ábaco de flexão composta desviada dos pilares com N=-2000 kN .....</i>                               | <i>50</i> |
| <i>Figura 3.4 - Ábaco de flexão composta desviada dos pilares com N=910 kN .....</i>                                 | <i>50</i> |
| <i>Figura 3.5 - Sistema de eixos nas paredes das baias.....</i>  | <i>51</i> |
| <i>Figura 3.6 - F11 max nas paredes (de 0 a 1000 kN/m) .....</i>   | <i>51</i> |
| <i>Figura 3.7 - F11 max nas paredes (de 1000 a 2800 kN/m) .....</i>  | <i>51</i> |
| <i>Figura 3.8 - M11 max nas paredes (de 0 a 500 kNm/m).....</i>  | <i>52</i> |
| <i>Figura 3.9 - M11 min nas paredes (de -400 a 0 kNm/m).....</i>   | <i>52</i> |
| <i>Figura 3.10 - M22 max nas paredes (de 0 a 140 kNm/m).....</i>   | <i>52</i> |
| <i>Figura 3.11 - M22 min nas paredes (de -140 a 0 kNm/m).....</i>  | <i>52</i> |
| <i>Figura 3.12 - M22 max nas paredes (de 0 a 700 kNm/m).....</i>   | <i>52</i> |
| <i>Figura 3.13 - M22 min nas paredes (de -700 a 0 kNm/m).....</i>  | <i>52</i> |
| <i>Figura 3.14 - Ábaco de flexão composta da secção A .....</i>  | <i>53</i> |
| <i>Figura 3.15 - Ábaco de flexão composta da secção B.....</i>   | <i>53</i> |
| <i>Figura 3.16 - Ábaco de flexão composta da secção C.....</i>   | <i>53</i> |
| <i>Figura 3.17 - Eixos locais da laje de ensoleiramento.....</i>   | <i>54</i> |
| <i>Figura 3.18 – F11 max no ensoleiramento (de 0 a 3500 kN/m) .....</i>  | <i>54</i> |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.19 – F22 max no ensoleiramento (de 0 a 3500 kN/m)                         | 55 |
| Figura 3.20 – M12 max no ensoleiramento (de 0 a 450 kNm/m)                         | 55 |
| Figura 3.21 – M12 min no ensoleiramento (de -450 a 0 kNm/m)                        | 55 |
| Figura 3.22 - M11 max no ensoleiramento (de 0 a 1100 kNm/m)                        | 56 |
| Figura 3.23 - M11 min no ensoleiramento (de -600 a 0 kNm/m)                        | 56 |
| Figura 3.24 – M22 max no ensoleiramento (de 0 a 1400 kNm/m e de 1400 a 3000 kNm/m) | 56 |
| Figura 3.25 – M22 min no ensoleiramento (de -1000 a 0 kNm/m)                       | 57 |
| Figura 3.26 - Esquema das armaduras de exemplo no ensoleiramento                   | 57 |
| Figura 3.27 - Ábaco de flexão composta da secção A                                 | 58 |
| Figura 3.28 - Ábaco de flexão composta da secção B                                 | 58 |
| Figura 3.29 - Ábaco de flexão composta da secção C                                 | 58 |
| Figura 3.30 - Ábaco de flexão composta da secção D                                 | 58 |
| Figura 3.31 – V23 min no ensoleiramento (de -700 a -370 kN/m)                      | 59 |
| Figura 3.32 - Ábaco de Flexão composta das estacas (até 5m)                        | 61 |
| Figura 3.33 - Ábaco de Flexão composta das estacas (a partir de 5m)                | 61 |
| Figura 3.34 - Estado Limite de Fendilhação nos Pilares                             | 63 |
| Figura 3.35 - Estado Limite de Fendilhação nas Baias - Secção A                    | 63 |
| Figura 3.36 - Estado Limite de Fendilhação nas Baias - Secção C                    | 63 |
| Figura 3.37 - Estado Limite de Fendilhação no Ensoleiramento - Secção B            | 63 |
| Figura 3.38 - Estado Limite de Fendilhação no Ensoleiramento Secção D              | 63 |
| Figura 3.39 - Estado Limite de Fendilhação nas Estacas (até 5m de profundidade)    | 63 |

## ÍNDICE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1.1 – RCP nas Fachadas   | 9  |
| Tabela 1.2 - RCP na Cobertura   | 10 |
| Tabela 1.3 - RCP nas Plataforma e nas Escadas                         | 10 |
| Tabela 1.4 - SC na Cobertura  | 11 |
| Tabela 1.5 - SC na Plataforma e nas Escadas                           | 11 |
| Tabela 1.6 - Wx nas Fachadas  | 13 |
| Tabela 1.7 - Wx na Cobertura  | 14 |
| Tabela 1.8 - Wxx nas Fachadas   | 15 |
| Tabela 1.9 - Wxx na Cobertura   | 16 |
| Tabela 1.10 - Wy e Wyy nas Fachadas                                   | 17 |
| Tabela 1.11 - Wy na Cobertura   | 18 |
| Tabela 1.12 - Wyy na Cobertura  | 19 |
| Tabela 1.13 - Impulsos do terreno no fosso de recepção – Combinação 1 | 25 |
| Tabela 1.14 - Impulsos do terreno no fosso de recepção – Combinação 2 | 25 |
| Tabela 2.1 - Cálculo do $\alpha_{cr}$                                 | 27 |

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Tabela 2.2 - Rácio do Montante mais comprimido .....</i>                             | <i>30</i> |
| <i>Tabela 2.3 - Rácio do Topo de Montante mais esforçado.....</i>                       | <i>31</i> |
| <i>Tabela 2.4 - Rácio do cordão interior dos pilares mais comprimido .....</i>          | <i>32</i> |
| <i>Tabela 2.5 - Rácio do cordão exterior das asnas mais comprimido .....</i>            | <i>33</i> |
| <i>Tabela 2.6 - Rácio do travamento de cobertura mais comprimido.....</i>               | <i>34</i> |
| <i>Tabela 2.7 - Rácio do travamento de alçado mais comprimido.....</i>                  | <i>35</i> |
| <i>Tabela 2.8 - Rácios da secção da viga da ponte rolante.....</i>                      | <i>38</i> |
| <i>Tabela 2.9 - Rácios da encurvadura da viga da Ponte Rolante.....</i>                 | <i>39</i> |
| <i>Tabela 2.10 - Rácios do dimensionamento do pilar exterior do pórtico H.....</i>      | <i>42</i> |
| <i>Tabela 2.11 - Rácios do dimensionamento do pilar do pórtico I.....</i>               | <i>44</i> |
| <i>Tabela 2.12 - Rácios das Madres de Fachada.....</i>                                  | <i>45</i> |
| <i>Tabela 2.13 - Verificação ao EL de deformação dos elementos metálicos.....</i>       | <i>46</i> |
| <i>Tabela 2.14 - Ligações Soldadas .....</i>  | <i>46</i> |
| <i>Tabela 3.1 - Armaduras transversais dos pilares .....</i>                            | <i>50</i> |
| <i>Tabela 3.2 - Armadura de esforços transverso do ensoleiramento.....</i>              | <i>59</i> |
| <i>Tabela 3.3 - Verificações da resistência do betão ao punçoamento .....</i>           | <i>60</i> |
| <i>Tabela 3.4 - Cintas Helicoidais das Estacas.....</i>                                 | <i>61</i> |
| <i>Tabela 3.5 - Dados dos diferentes extractos na segurança ao ELU-GEO.....</i>         | <i>62</i> |
| <i>Tabela 3.6 - Segurança ao ELU-GEO .....</i>  | <i>62</i> |
| <i>Tabela 3.7 - Verificação ao EL de deformação dos elementos de betão armado .....</i> | <i>64</i> |

# 1 QUANTIFICAÇÃO DAS ACCÕES

## 1.1 Peso Próprio (PP)

A quantificação do peso próprio foi considerada através da função peso volúmico dos materiais definidos previamente no programa de cálculo automático, como demonstrado na Figura 1.1 para o betão armado e na Figura 1.2, para os elementos metálicos.

General Data  
 Material Name and Display Color: C25/30  
 Material Type: Concrete  
 Material Notes: Modify/Show Notes...  
 Weight and Mass  
 Weight per Unit Volume: 25  
 Mass per Unit Volume: 2,5493  
 Units: KN, m, C

Figura 1.1 – Peso Próprio - Betão Armado

General Data  
 Material Name and Display Color: S235  
 Material Type: Steel  
 Material Notes: Modify/Show Notes...  
 Weight and Mass  
 Weight per Unit Volume: 77  
 Mass per Unit Volume: 7,8518  
 Units: KN, m, C

Figura 1.2 – Peso Próprio - Elementos Metálicos

## 1.2 Restante carga permanente (RCP)

Tabela 1.1 – RCP nas Fachadas

| RCP nas Fachadas [kN/m] |                 |      |      |      |                 |      |      |      |               |      |       |      |
|-------------------------|-----------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|---------------|------|-------|------|
| Zona                    | Fachadas Longas |      |      | g    | Fachadas Curtas |      |      | g    | Fachada I     |      |       | g    |
|                         | Madre           | h    | H    | kN/m | Madre           | h    | H    | kN/m | Madre         | h    | H     | kN/m |
| Superior                | 1               | 0,27 | 1,1  | 0,11 | 1<br>(canto)    | 0,1  | 0,95 | 0,10 | 1<br>(canto)  | 0,07 | 0,42  | 0,04 |
|                         |                 | 1,7  |      |      |                 | 1,7  |      |      |               | 0,7  |       |      |
|                         | 2               | 1,7  | 1,7  | 0,17 | 1<br>(centro)   | 1,34 | 2,19 | 0,22 | 1<br>(centro) | 1,32 | 1,67  | 0,17 |
|                         |                 | 1,7  |      |      |                 | 1,7  |      |      |               | 0,7  |       |      |
|                         | 3               | 1,7  | 1,7  | 0,17 | 2               | 1,7  | 1,8  | 0,18 | 2             | 0,25 | 0,6   | 0,06 |
|                         |                 | 1,7  |      |      |                 | 1,9  |      |      |               |      |       |      |
|                         | 4               | 1,7  | 1,7  | 0,17 | 3               | 1,9  | 1,9  | 0,19 | 4             | 1,9  | 1,9   | 0,19 |
|                         |                 | 1,7  |      |      |                 | 1,9  |      |      |               |      |       |      |
| 5                       | 2               | 2    | 0,20 | 5    | 1,9             | 1,9  | 0,19 | 6    | 1,9           | 1,9  | 0,19  |      |
|                         | 2               |      |      |      | 1,9             |      |      |      |               |      |       |      |
| 6                       | 2               | 2    | 0,20 | 6    | 1,9             | 1,9  | 0,19 | 7    | 1,9           | 1,9  | 0,19  |      |
|                         | 2               |      |      |      | 1,9             |      |      |      |               |      |       |      |
| 7                       | 2               | 2    | 0,20 | 7    | 1,9             | 1,9  | 0,19 | 8    | 1,9           | 1,9  | 0,19  |      |
|                         | 2               |      |      |      | 1,9             |      |      |      |               |      |       |      |
| Inferior                | 9               | 2    | 1,2  | 0,12 | 8               | 1,9  | 1,9  | 0,19 | 9             | 1,9  | 1,184 | 0,12 |
|                         |                 | 0,23 |      |      |                 | 1,9  |      |      |               |      |       |      |
|                         |                 |      |      |      |                 | 9    | 0,23 |      |               |      |       |      |

Tabela 1.2 - RCP na Cobertura

| <b>RCP na Cobertura [kN/m]</b> |              |          |          |             |
|--------------------------------|--------------|----------|----------|-------------|
|                                |              |          |          | <b>g</b>    |
| <b>Zona</b>                    | <b>Madre</b> | <b>h</b> | <b>H</b> | <b>kN/m</b> |
| Pórtico 7                      | 1            | 0,43     | 1,45     | 0,15        |
|                                |              | 2,04     |          |             |
|                                | 2            | 2,19     | 2,115    | 0,21        |
|                                |              | 2,19     |          |             |
|                                | 3            | 2,19     | 2,19     | 0,22        |
|                                |              | 2,19     |          |             |
|                                | 4            | 1,87     | 2,03     | 0,20        |
|                                |              | 0,16     |          |             |
|                                | 5            | 0,16     | 1,095    | 0,11        |
|                                |              | 1,87     |          |             |
| 6                              | 1,87         | 2,03     | 0,20     |             |
|                                | 2,19         |          |          |             |
| 7                              | 2,19         | 2,19     | 0,22     |             |
|                                | 2,19         |          |          |             |
| 8                              | 2,19         | 2,115    | 0,21     |             |
|                                | 2,04         |          |          |             |
| Pórtico 1                      | 10           | 0,43     | 1,45     | 0,15        |

Tabela 1.3 - RCP nas Plataformas e nas Escadas

| <b>RCP na Plataforma 11,80m</b> |               |                    |                 | <b>RCP nas Escadas</b> |                    |                 |
|---------------------------------|---------------|--------------------|-----------------|------------------------|--------------------|-----------------|
|                                 | <b>secção</b> | <b>espaçamento</b> | <b>g (kN/m)</b> | <b>secção</b>          | <b>espaçamento</b> | <b>g (kN/m)</b> |
| <b>ao longo de X</b>            | corrente      | 0,75               | 0,19            | ext patim              | 0,5                | 0,25            |
|                                 | ao fundo      | 1                  | 0,31            | int patim              | 0,625              | 0,31            |
| <b>ao longo de Y</b>            |               | 1,165              | 0,29            |                        |                    |                 |
|                                 | triângulo     | 1,5                | 0,75            |                        |                    |                 |

### 1.3 Sobrecargas (SOB)

Tabela 1.4 - SC na Cobertura

| SC na Cobertura [kN/m] |       |       |       |      |
|------------------------|-------|-------|-------|------|
| Zona                   | Madre | h     | H     | g    |
|                        |       |       |       | kN/m |
| Pórtico 7              | 1     | 0,43  | 1,45  | 0,58 |
|                        |       | 2,04  |       |      |
|                        | 2     | 2,19  | 2,115 | 0,85 |
|                        |       | 2,19  |       |      |
|                        | 3     | 2,19  | 2,19  | 0,88 |
|                        |       | 2,19  |       |      |
|                        | 4     | 1,87  | 2,03  | 0,81 |
|                        |       | 0,16  |       |      |
|                        | 5     | 0,16  | 1,095 | 0,44 |
| 1,87                   |       |       |       |      |
| 6                      | 1,87  | 2,03  | 0,81  |      |
|                        | 2,19  |       |       |      |
| 7                      | 2,19  | 2,19  | 0,88  |      |
|                        | 2,19  |       |       |      |
| 8                      | 2,19  | 2,115 | 0,85  |      |
|                        | 2,04  |       |       |      |
| Pórtico 1              | 10    | 0,43  | 1,45  | 0,58 |

Tabela 1.5 - SC na Plataforma e nas Escadas

|               | SC na Plataforma 11,80m |             |          | SC nas Escadas |             |          |
|---------------|-------------------------|-------------|----------|----------------|-------------|----------|
|               | secção                  | espaçamento | g (kN/m) | secção         | espaçamento | g (kN/m) |
| ao longo de X | corrente                | 0,75        | 1,13     | degrau         | 0,25        | 0,75     |
|               | ao fundo                | 1           | 1,88     | ext patim      | 0,5         | 1,5      |
| ao longo de Y |                         | 1,165       | 1,75     | int patim      | 0,625       | 1,88     |
|               | triângulo               | 1,5         | 4,50     |                |             |          |

## 1.4 Acção térmica (T)

A acção térmica foi definida em separado para os elementos tipo *frame* e *shell*, tal como apresentado da Figura 1.3 à Figura 1.6.

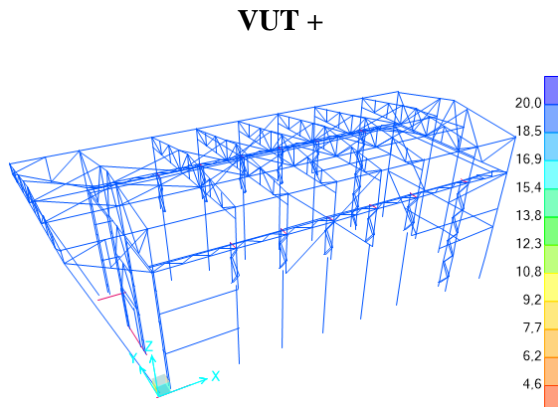


Figura 1.3 - VUT+ em elementos tipo frame [°C]

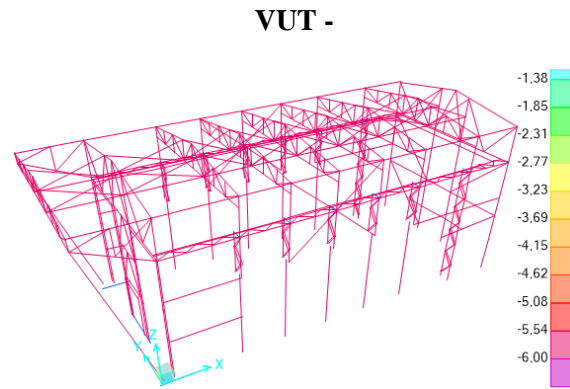


Figura 1.4 - VUT- em elementos tipo frame [°C]

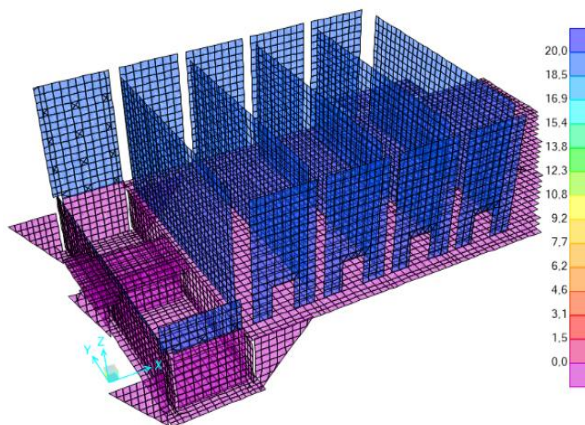


Figura 1.5 - VUT+ em elementos tipo shell [°C]

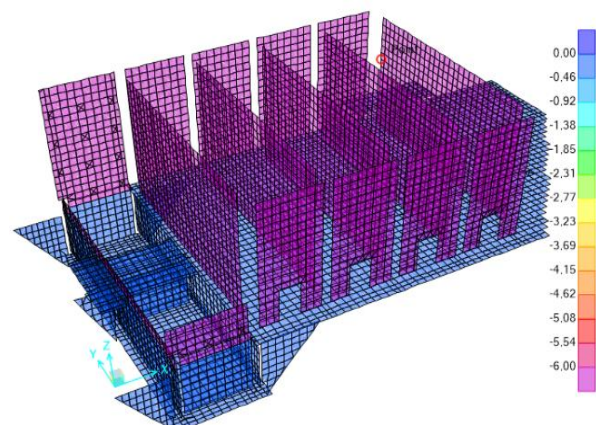


Figura 1.6 - VUT- em elementos tipo shell [°C]

## 1.5 Acção do Vento (W)

A acção do vento foi calculada para uma velocidade de referência de 27 m/s (97 km/h), e foi admitido no cálculo do coeficiente estrutural, por simplificação e de modo conservativo, o coeficiente de resposta estática ( $B^2$ ) igual à unidade, obtendo-se assim  $c_s c_d = 0,94$ .

As forças foram inseridas nas madres de suporte das chapas de fachada e cobertura, através das larguras de influência com os valores apresentados da Tabela 1.6 à Tabela 1.12, em que o valor positivo é no sentido exterior-interior e o valor negativo o sentido inverso. As forças de atrito foram desprezadas pois têm valores pouco significativos, inferiores a 0,1 kN/m.

## 1.5.1 Vento na direcção X – sentido positivo

Tabela 1.6 - Wx nas Fachadas

| Wx - Forças nas Fachadas [kN/m] |       |               |          |          |          |          |            |       |          |              |            |             |          |           |       |
|---------------------------------|-------|---------------|----------|----------|----------|----------|------------|-------|----------|--------------|------------|-------------|----------|-----------|-------|
|                                 |       | A             |          | B        |          | C        |            |       |          | D            |            | E           |          | Fachada I |       |
|                                 |       | largura (m) = |          | 14,4     |          | 25,3     |            |       |          | (Barlavento) |            | (Sotavento) |          |           |       |
|                                 |       | Zona:         |          | alpendre | bloco    | alpendre | alpendre   | Zona: |          | bloco        |            | bloco       |          | Zona:     | bloco |
| Zona                            | Madre | H [m]         | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | Madre      | H [m] | F [kN/m] | F [kN/m]     | Madre      | H [m]       | F [kN/m] |           |       |
| Superior                        | 1     | 1,116         | -1,7     | -0,7     | -1,4     | -1,7     | 1 (canto)  | 1,0   | 0,6      | -0,3         | 1 (canto)  | 0,4         | 0,5      |           |       |
|                                 | 2     | 1,7           | -2,6     | -1,1     | -2,1     | -2,6     | 1 (centro) | 2,2   | 1,5      | -0,8         | 1 (centro) | 1,7         | 1,9      |           |       |
|                                 | 3     | 1,7           | -2,6     | -1,1     | -2,1     | -2,6     | 2          | 1,8   | 1,2      | -0,7         | 2          | 0,6         | 0,7      |           |       |
|                                 | 4     | 1,7           | -2,6     | -1,1     | -2,1     | -2,6     | 3          | 1,9   | 1,3      | -0,7         |            |             |          |           |       |
|                                 | 5     | 1,85          | -2,8     | -1,2     | -2,3     | -2,8     | 4          | 1,9   | 1,3      | -0,7         |            |             |          |           |       |
|                                 | 6     | 2             | -3,0     | -1,3     | -2,5     | -3,0     | 5          | 1,9   | 1,3      | -0,7         |            |             |          |           |       |
|                                 | 7     | 2             | -3,0     | -1,3     | -2,5     | -3,0     | 6          | 1,9   | 1,3      | -0,7         |            |             |          |           |       |
|                                 | 8     | 2             | -3,0     | -1,3     | -2,5     | -3,0     | 7          | 1,9   | 1,3      | -0,7         |            |             |          |           |       |
| Inferior                        | 9     | 1,234         | -1,9     | -0,8     | -1,6     | -1,9     | 8          | 1,9   | 1,3      | -0,7         |            |             |          |           |       |
|                                 |       |               |          |          |          |          | 9          | 1,2   | 0,8      | -0,4         |            |             |          |           |       |

Tabela 1.7 - Wx na Cobertura

| Wx - Forças na Cobertura [kN/m] |       |          |          |          |          |          |
|---------------------------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                 |       | F        | H        |          | I        |          |
| largura (m) =                   |       | 1,8      | 7,2      |          | 34,3     |          |
| Zona:                           |       | alpendre | bloco    | alpendre | alpendre |          |
| Zona                            | Madre | H [m]    | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] |
| Pórtico 7                       | 1     | 1,45     | -2,9     | -0,8     | -2,0     | -0,7     |
|                                 | 2     | 2,12     | -4,2     | -1,2     | -3,0     | -1,1     |
|                                 | 3     | 2,19     | -4,3     | -1,3     | -3,1     | -1,1     |
|                                 | 4     | 2,03     | -4       | -1,2     | -2,9     | -1,0     |
|                                 | 5     | 1,10     | -2,2     | -0,6     | -1,5     | -0,6     |
|                                 | 6     | 1,10     | -2,2     | -0,6     | -1,5     | -0,6     |
|                                 | 7     | 2,03     | -4,0     | -1,2     | -2,9     | -1,0     |
|                                 | 8     | 2,19     | -4,3     | -1,3     | -3,1     | -1,1     |
|                                 | 9     | 2,12     | -4,2     | -1,2     | -3,0     | -1,1     |
| Pórtico 1                       | 10    | 1,45     | -2,9     | -0,8     | -2,0     | -0,7     |

NOTA: Como simplificação para os valores a introduzir no *software* admitiu-se que a zona G pertencente à zona F

## 1.5.2 Vento na direcção X – sentido negativo

Tabela 1.8 - Wxx nas Fachadas

| Wxx - Forças nas Fachadas [kN/m] |       |       |          |          |          |            |       |          |          |            |       |          |              |  |             |  |       |  |           |
|----------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------|------------|-------|----------|----------|------------|-------|----------|--------------|--|-------------|--|-------|--|-----------|
|                                  |       | A     |          |          | B        |            |       | C        |          |            |       |          | D            |  | E           |  |       |  | Fachada I |
| largura (m) =                    |       | 3,6   |          |          | 14,4     |            |       | 25,3     |          |            |       |          | (Barlavento) |  | (Sotavento) |  |       |  |           |
| Zona:                            |       | bloco |          |          | bloco    |            |       | bloco    |          |            | Zona: |          | bloco        |  | bloco       |  | Zona: |  | bloco     |
| Zona                             | Madre | H [m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | Madre      | H [m] | F [kN/m] | F [kN/m] | Madre      | H [m] | F [kN/m] |              |  |             |  |       |  |           |
| Cima                             | 1     | 1,116 | -1,0     | -0,7     | -0,5     | 1 (canto)  | 1,0   | 0,6      | -0,3     | 1 (canto)  | 0,4   | -0,2     |              |  |             |  |       |  |           |
|                                  | 2     | 1,7   | -1,6     | -1,1     | -0,8     | 1 (centro) | 2,2   | 1,5      | -0,8     | 1 (centro) | 1,7   | -0,6     |              |  |             |  |       |  |           |
|                                  | 3     | 1,7   | -1,6     | -1,1     | -0,8     | 2,0        | 1,8   | 1,2      | -0,7     | 2,0        | 0,6   | -0,2     |              |  |             |  |       |  |           |
|                                  | 4     | 1,7   | -1,6     | -1,1     | -0,8     | 3,0        | 1,9   | 1,3      | -0,7     |            |       |          |              |  |             |  |       |  |           |
|                                  | 5     | 1,85  | -1,7     | -1,2     | -0,9     | 4,0        | 1,9   | 1,3      | -0,7     |            |       |          |              |  |             |  |       |  |           |
|                                  | 6     | 2     | -1,8     | -1,3     | -0,9     | 5,0        | 1,9   | 1,3      | -0,7     |            |       |          |              |  |             |  |       |  |           |
|                                  | 7     | 2     | -1,8     | -1,3     | -0,9     | 6,0        | 1,9   | 1,3      | -0,7     |            |       |          |              |  |             |  |       |  |           |
|                                  | 8     | 2     | -1,8     | -1,3     | -0,9     | 7,0        | 1,9   | 1,3      | -0,7     |            |       |          |              |  |             |  |       |  |           |
| Baixo                            | 9     | 1,234 | -1,1     | -0,8     | -0,6     | 8,0        | 1,9   | 1,3      | -0,7     |            |       |          |              |  |             |  |       |  |           |
|                                  |       |       |          |          |          | 9,0        | 1,2   | 0,8      | -0,4     |            |       |          |              |  |             |  |       |  |           |

Tabela 1.9 - Wxx na Cobertura

| Wxx - Forças na Cobertura [kN/m] |       |       |          |          |          |          |
|----------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
|                                  |       | F     | G        | H        | I        |          |
| largura (m) =                    |       | 1,8   | 1,8      | 7,2      | 34,3     |          |
| Zona:                            |       | bloco | bloco    | bloco    | ambas    |          |
| Zona                             | Madre | H [m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] |
| Pórtico 7                        | 1     | 1,45  | -1,7     |          | -0,8     | -0,5     |
|                                  | 2     | 2,12  | -2,4     |          | -1,2     | -0,8     |
|                                  | 3     | 1,10  | -2,4     |          | -1,1     | -0,8     |
|                                  | 4     | 2,03  |          | -2,1     | -1,2     | -0,8     |
|                                  | 5     | 1,10  |          | -1,1     | -0,6     | -0,4     |
|                                  | 6     | 1,10  |          | -1,1     | -0,6     | -0,4     |
|                                  | 7     | 2,03  |          | -2,1     | -1,2     | -0,8     |
|                                  | 8     | 1,10  | -2,4     |          | -1,1     | -0,8     |
|                                  | 9     | 2,12  | -2,4     |          | -1,2     | -0,8     |
| Pórtico 1                        | 10    | 1,45  | -1,7     |          | -0,8     | -0,5     |

## 1.5.3 Vento na direcção Y – sentido positivo e negativo

Tabela 1.10 - Wy e Wyy nas Fachadas

| Wy e Wyy - Forças nas Fachadas [kN/m] |       |              |          |             |          |               |            |       |          |          |            |           |          |          |
|---------------------------------------|-------|--------------|----------|-------------|----------|---------------|------------|-------|----------|----------|------------|-----------|----------|----------|
|                                       |       | D            |          | E           |          |               |            | A     | B        |          |            | Fachada I |          |          |
|                                       |       | (Barlavento) |          | (Sotavento) |          | largura (m) = |            | 6,6   | 11,4     |          |            | A         | B        |          |
| Zona:                                 |       | bloco        | alpendre | bloco       | alpendre | Zona:         |            | bloco | bloco    | Zona:    |            | alpendre  | alpendre |          |
| Zona                                  | Madre | H [m]        | F [kN/m] | F [kN/m]    | F [kN/m] | F [kN/m]      | Madre      | H [m] | F [kN/m] | F [kN/m] | Madre      | H [m]     | F [kN/m] | F [kN/m] |
| Cima                                  | 1     | 1,1          | 0,8      | 1,1         | -0,5     | -0,7          | 1 (canto)  | 0,95  | -0,9     | -0,6     | 1 (canto)  | 0,4       | -0,5     | 0,0      |
|                                       | 2     | 1,7          | 1,2      | 1,7         | -0,8     | -1,1          | 1 (centro) | 2,19  | -2,0     | -1,4     | 1 (centro) | 1,7       | -1,9     | 0,0      |
|                                       | 3     | 1,7          | 1,2      | 1,7         | -0,8     | -1,1          | 2          | 1,80  | -1,6     | -1,2     | 2          | 0,6       | -0,7     | 0,0      |
|                                       | 4     | 1,7          | 1,2      | 1,7         | -0,8     | -1,1          | 3          | 1,90  | -1,7     | -1,2     |            |           |          |          |
|                                       | 5     | 1,9          | 1,3      | 1,9         | -0,9     | -1,2          | 4          | 1,90  | -1,7     | -1,2     |            |           |          |          |
|                                       | 6     | 2,0          | 1,4      | 2,0         | -0,9     | -1,3          | 5          | 1,90  | -1,7     | -1,2     |            |           |          |          |
|                                       | 7     | 2,0          | 1,4      | 2,0         | -0,9     | -1,3          | 6          | 1,90  | -1,7     | -1,2     |            |           |          |          |
|                                       | 8     | 2,0          | 1,4      | 2,0         | -0,9     | -1,3          | 7          | 1,90  | -1,7     | -1,2     |            |           |          |          |
| Baixo                                 | 9     | 1,2          | 0,9      | 1,2         | -0,6     | -0,8          | 8          | 1,90  | -1,7     | -1,2     |            |           |          |          |
|                                       |       |              |          |             |          |               | 9          | 1,18  | -1,1     | -0,8     |            |           |          |          |

Tabela 1.11 - Wy na Cobertura

| Wy - Forças na Cobertura [kN/m] |       |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                 |       |       | Caso 1   |          |          |          |          | Caso 2   |          |          |          |          |
|                                 |       |       | F        | G        | H        | I        | J        | F        | G        | H        | I        | J        |
| largura (m) =                   |       |       | 3,32     | 3,32     | 5,68     | 5,68     | 3,32     | 3,32     | 3,32     | 5,68     | 5,68     | 3,32     |
| Zona                            | Madre | H [m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] |
| Pórtico 7                       | 1     | 1,45  |          |          |          |          | -0,7     |          |          |          |          | 0,0      |
|                                 | 2     | 2,12  |          |          |          |          | -1,0     |          |          |          |          | 0,0      |
|                                 | 3     | 2,19  |          |          |          |          | -1,0     |          |          |          |          | 0,0      |
|                                 | 4     | 2,03  |          |          |          |          |          | -0,8     |          |          |          | 0,0      |
|                                 | 5     | 1,10  |          |          |          |          |          | -0,4     |          |          |          | 0,0      |
|                                 | 6     | 1,10  |          |          |          | -0,5     |          |          |          | 0,3      |          |          |
|                                 | 7     | 2,03  |          |          |          | -0,9     |          |          |          | 0,6      |          |          |
|                                 | 8     | 2,19  |          |          |          | -0,9     |          |          |          | 0,6      |          |          |
|                                 | 9     | 2,12  |          | -2,1     | -1,7     |          |          |          | 0,6      | 0,6      |          |          |
| Pórtico 1                       | 10    | 1,45  | -1,4     | -1,1     |          |          |          | 0,4      | 0,4      |          |          |          |

Tabela 1.12 - Wyy na Cobertura

| Wyy - Forças na Cobertura [kN/m] |       |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                  |       |       | Caso 1   |          |          |          |          | Caso 2   |          |          |          |          |
|                                  |       |       | F        | G        | H        | I        | J        | F        | G        | H        | I        | J        |
| largura (m) =                    |       |       | 3,32     | 3,32     | 5,68     | 5,68     | 3,32     | 3,32     | 3,32     | 5,68     | 5,68     | 3,32     |
| Zona                             | Madre | H [m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] | F [kN/m] |
| Pórtico 7                        | 1     | 1,45  | -1,4     | -1,1     |          |          |          | 0,4      | 0,4      |          |          |          |
|                                  | 2     | 2,12  | -2,1     | -1,7     |          |          |          | 0,6      | 0,6      |          |          |          |
|                                  | 3     | 2,19  |          |          | -0,9     |          |          |          |          | 0,6      |          |          |
|                                  | 4     | 2,03  |          |          | -0,9     |          |          |          |          | 0,6      |          |          |
|                                  | 5     | 1,10  |          |          | -0,5     |          |          |          |          | 0,3      |          |          |
|                                  | 6     | 1,10  |          |          |          |          | -0,4     |          |          |          |          | 0,0      |
|                                  | 7     | 2,03  |          |          |          |          | -0,8     |          |          |          |          | 0,0      |
|                                  | 8     | 2,19  |          |          |          |          | -1,0     |          |          |          | 0,0      |          |
|                                  | 9     | 2,12  |          |          |          |          | -1,0     |          |          |          | 0,0      |          |
| Pórtico 1                        | 10    | 1,45  |          |          |          |          | -0,7     |          |          |          | 0,0      |          |

## 1.6 Acção Sísmica (E)

A acção sísmica foi calculada através dos espectros de resposta de cálculo, com um coeficiente de comportamento (q) de 1,5. Os espectros foram obtidos no próprio *software* de cálculo, SAP2000, e posteriormente comparados com uma folha de cálculo pessoal, onde se obteve os mesmos valores, com a excepção do sismo tipo 2. A diferença deve-se ao facto de o *SAP2000* não calcular o coeficiente de solo (S) de acordo com o Anexo Nacional. Ainda assim foi admitido os espectros do programa de cálculo (ver Figura 1.7) pois a diferença não era significativa.

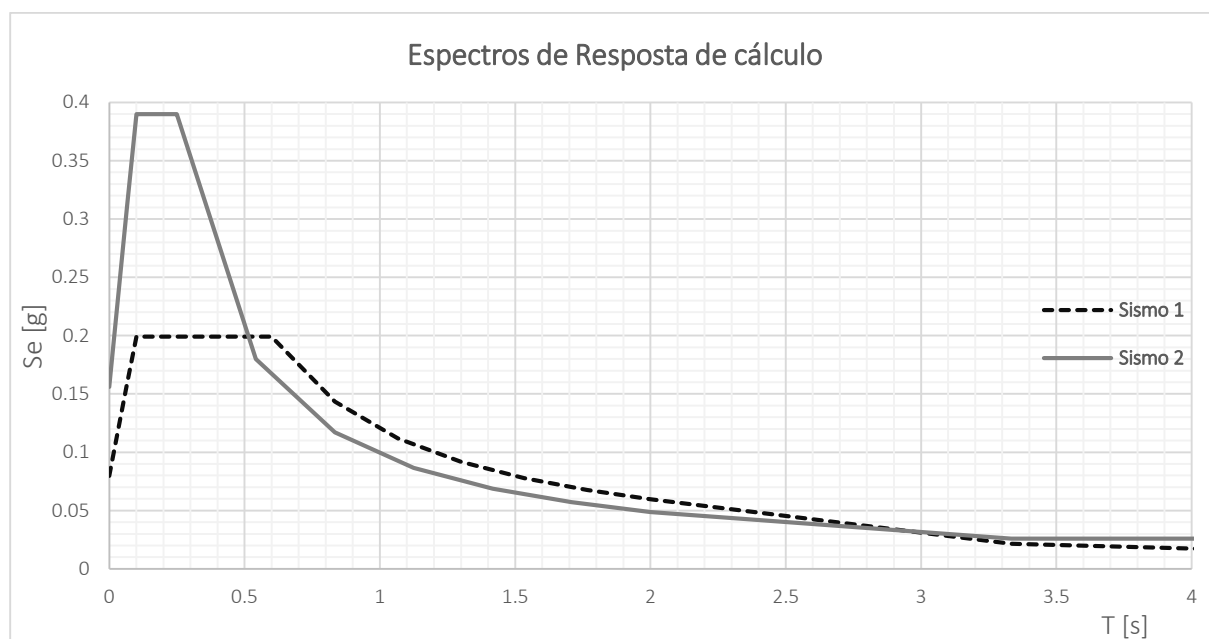


Figura 1.7 - Espectros de Resposta de cálculo

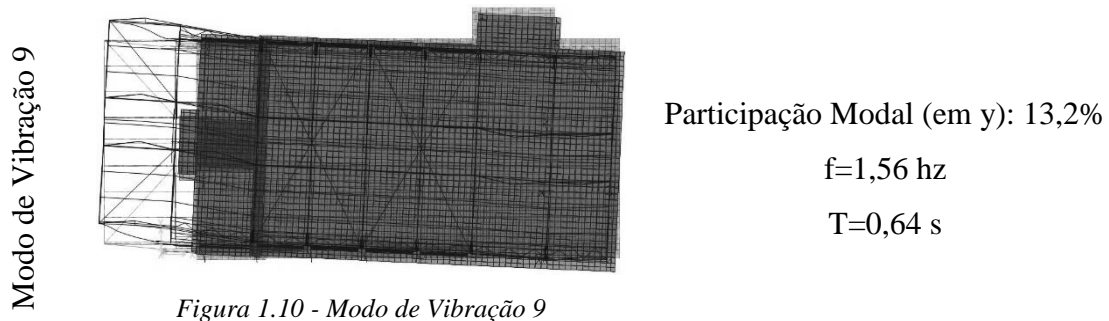
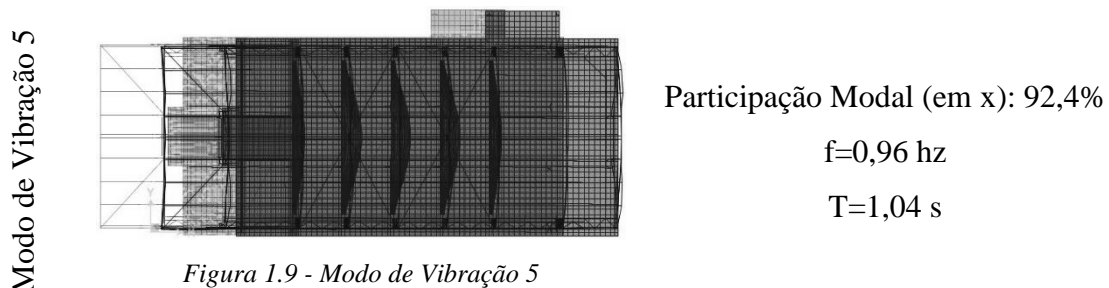
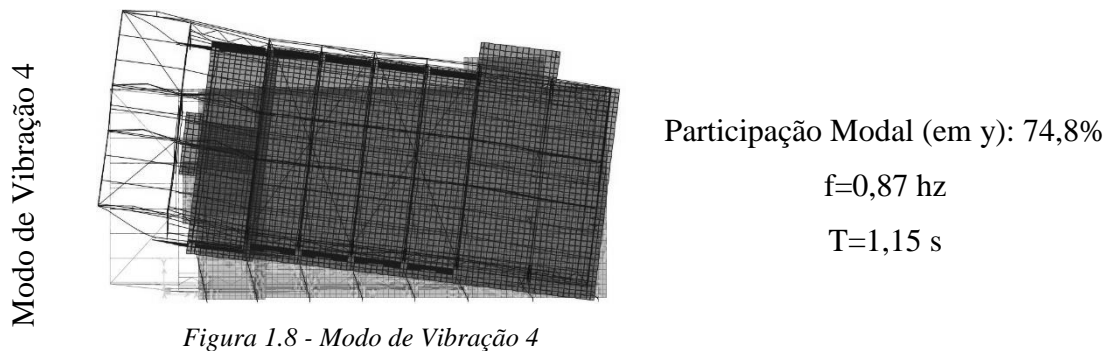
De modo a admitir que as ondas sísmicas se possam propagar em qualquer direcção foi feita uma combinação direccional por aproximação linear (Eq. 1.1) e uma combinação modal quadrática completa.

$$E_{Ed} = \left\{ \begin{array}{l} E_{Ed,X} + 0,3 \cdot E_{Ed,Y} \\ 0,3 \cdot E_{Ed,X} + E_{Ed,Y} \end{array} \right\} \quad \text{Eq. 1.1}$$

A análise dinâmica da estrutura foi efectuada através do *software* SAP2000. As massas contabilizadas foram o peso próprio da estrutura (de forma automática pelo programa), as restantes cargas permanentes e sobrecargas através da função “*mass source*” e 80% do peso do material armazenado, através da função “*area mass*” com um valor de 2,95 kN.s/m<sup>3</sup> (cálculo indicado em baixo).

$$Area\ Mass = \frac{\text{peso material}}{\text{superfície}} \times 0,80 \times \frac{1}{g} = \frac{4,2 \cdot 16,6 \cdot 8 \cdot 22}{2 \cdot (16,6 + 4,2) \cdot 8} \times 0,8 \times \frac{1}{9,81} = 2,95\ kN \cdot s \cdot m^3$$

Foram calculados 20 modos de vibração, de modo a se obter 90% da massa participada em cada direcção horizontal. Os modos com maior participação de massa são os apresentados nas figuras seguintes.



## 1.7 Equipamentos mecânicos (MAQ)

### 1.7.1 Cargas Permanentes

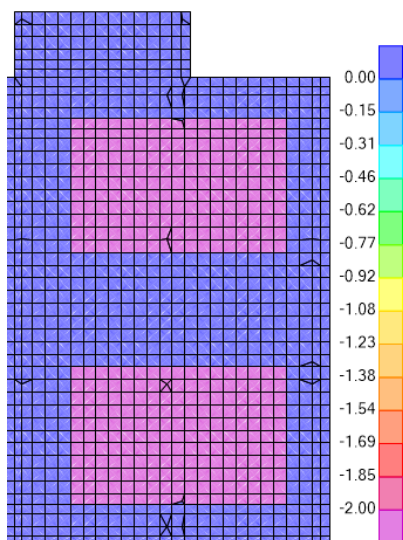


Figura 1.11 - RCP das máquinas [kN/m<sup>2</sup>]

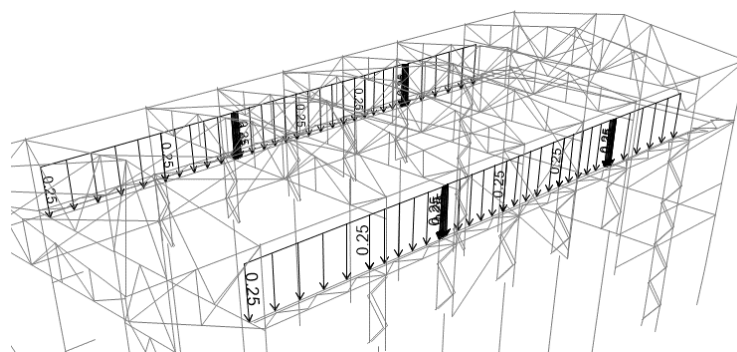


Figura 1.12 - RCP dos carris da ponte rolante [kN/m]

### 1.7.2 Sobrecargas

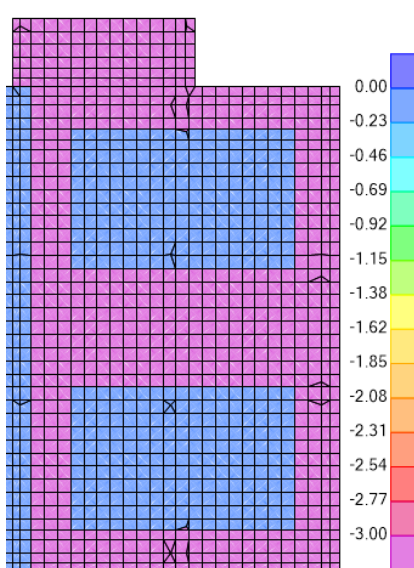


Figura 1.13 - SC no ensaleiramento [kN/m<sup>2</sup>]

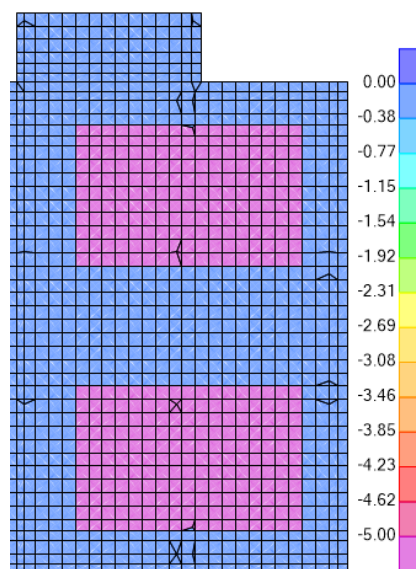


Figura 1.14 - SC das máquinas [kN/m<sup>2</sup>]

De modo a evitar mais combinações de acções e por a estrutura ser simétrica, foi apenas considerado que a ponte rolante se encontra do lado do pórtico 1, tal como perceptível nas figuras seguintes.

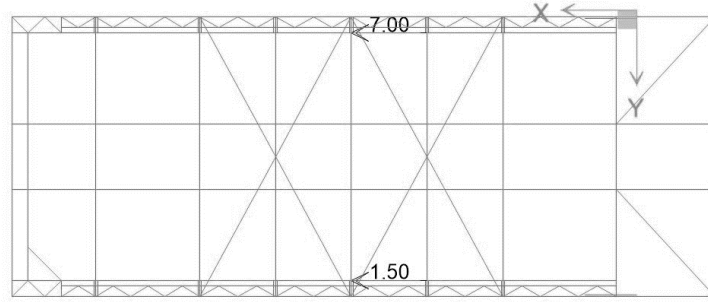


Figura 1.15 – SC de frenagem da grua

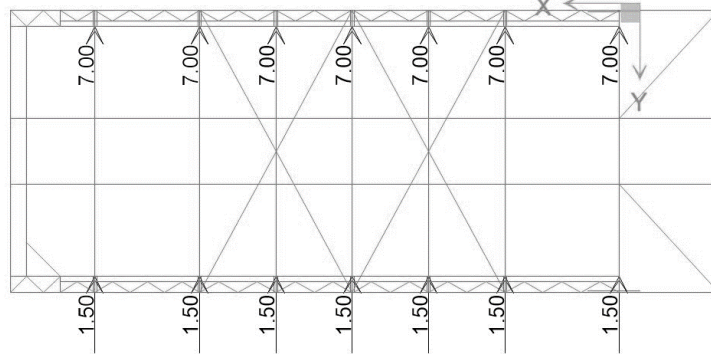
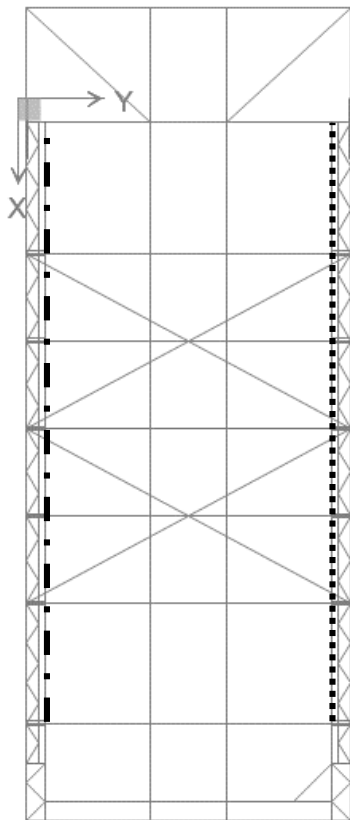


Figura 1.16 – SC de lacete da grua



Legenda:  
 - - - - - VEH1  
 ..... VEH2

Vehicle Data

Vehicle name: VEH1 Units: KN, m, C

Load Elevation:

Loads:

| Load Length Type | Minimum Distance | Maximum Distance | Uniform Load | Axle Load |
|------------------|------------------|------------------|--------------|-----------|
| Fixed Length     | 2.               |                  | 0.           | 35.       |
| Fixed Length     | 2.               |                  | 0.           | 35.       |
| Fixed Length     | 2.               |                  | 0.           | 35.       |

Vehicle Data

Vehicle name: VEH2 Units: KN, m, C

Load Elevation:

Loads:

| Load Length Type | Minimum Distance | Maximum Distance | Uniform Load | Axle Load |
|------------------|------------------|------------------|--------------|-----------|
| Fixed Length     | 2.               |                  | 0.           | 7.5       |
| Fixed Length     | 2.               |                  | 0.           | 7.5       |
| Fixed Length     | 2.               |                  | 0.           | 7.5       |

Figura 1.17 - SC vertical da ponte rolante

## 1.8 Impulsos (I)

### 1.8.1 Impulsos dos combustíveis armazenados

#### Baias de armazenamento

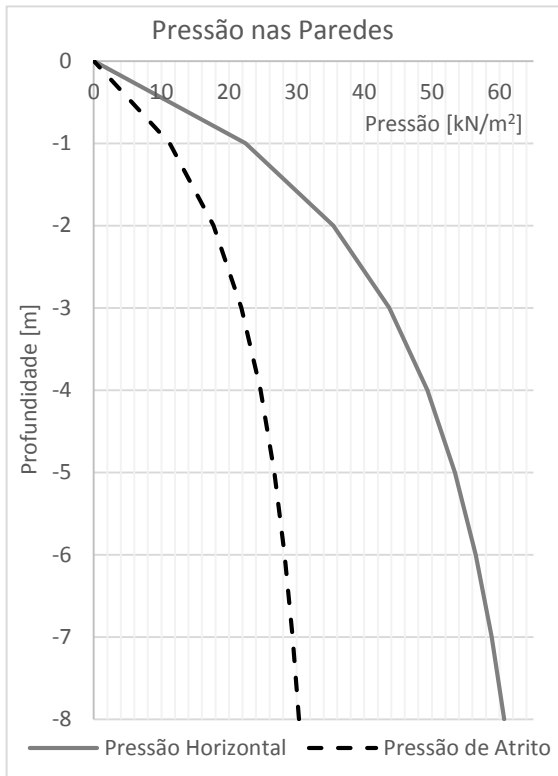


Figura 1.18 - Gráfico das Pressões numa baia

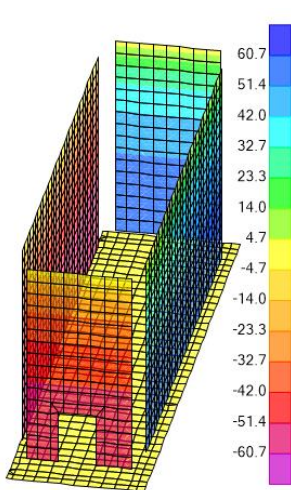


Figura 1.21 - Impulsos Horizontais numa baia [kN/m<sup>2</sup>]

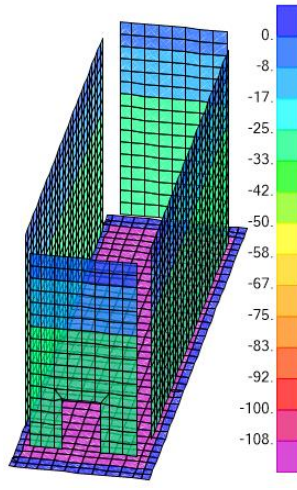


Figura 1.22 - Pressões Verticais (atrito e pressão de fundo) numa baia [kN/m<sup>2</sup>]

#### Fossos de recepção

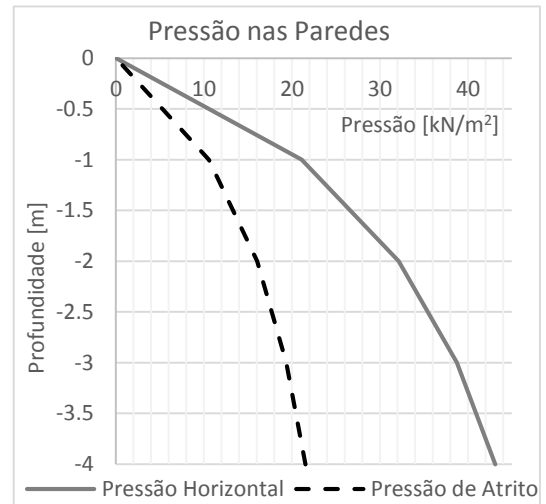


Figura 1.19 - Gráfico das Pressões num fosso

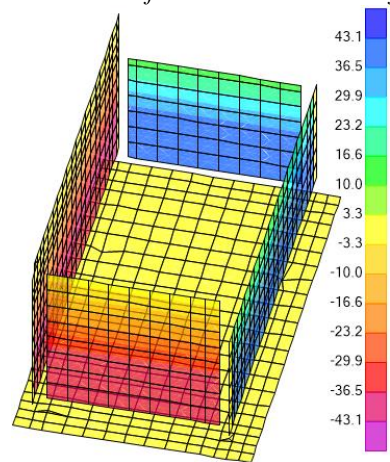


Figura 1.20 - Impulsos Horizontais num fosso [kN/m<sup>2</sup>]

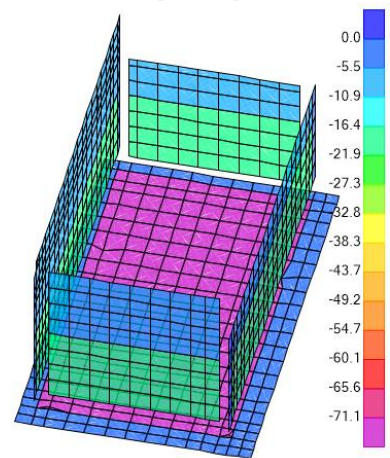


Figura 1.23 - Pressões Verticais (atrito e pressão de fundo) num fosso [kN/m<sup>2</sup>]

### 1.8.2 Impulso do terreno no fosso de recepção

Como descrito na memória descritiva os impulsos do terreno foram estudados de forma independente e para os dois casos mais desfavoráveis (ver na Tabela 1.13 para a combinação 1 e na Tabela 1.14 para a combinação 2).

Tabela 1.13 - Impulsos do terreno no fosso de recepção – Combinação 1

|        | Profundidade<br>[m] | esp<br>[m] | Sobrecarga<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Solo 1<br>seco<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Solo 1<br>(sat)<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Água<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Solo 2<br>(sat)<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Σ<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|--------|---------------------|------------|------------------------------------|--|---|------------------------------|---|---------------------------|
| Caso 1 | 1                   | 1          | 3,75                               | 10,52                                  | -----                                   | ----                         | -----                                   | 14,3                      |
|        | 3                   | 2          | 3,75                               | 10,52                                  | 12,83                                   | 27,00                        | -----                                   | 54,1                      |
|        | 3,8                 | 0,8        | 7,50                               | 21,04                                  | 25,66                                   | 37,80                        | 7,93                                    | 99,9                      |
| Caso 2 | 3                   | 3          | -----                              | 23,37                                  | -----                                   | ----                         | -----                                   | 23,4                      |
|        | 3,8                 | 0,8        | -----                              | 46,75                                  | -----                                   | 8,00                         | 5,88                                    | 60,6                      |

Tabela 1.14 - Impulsos do terreno no fosso de recepção – Combinação 2

|        | Profundidade<br>[m] | esp<br>[m] | Sobrecarga<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Solo 1<br>seco<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Solo 1<br>(sat)<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Água<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Solo 2<br>(sat)<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Σ<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|--------|---------------------|------------|------------------------------------|--|---|------------------------------|---|---------------------------|
| Caso 1 | 1                   | 1          | 3,77                               | 9,05                                   | -----                                   | ----                         | -----                                   | 12,8                      |
|        | 3                   | 2          | 3,77                               | 9,05                                   | 11,04                                   | 20,00                        | -----                                   | 43,9                      |
|        | 3,8                 | 0,8        | 6,50                               | 15,58                                  | 19,00                                   | 28,00                        | 5,88                                    | 75,0                      |
| Caso 2 | 3                   | 3          | -----                              | 27,14                                  | -----                                   | ----                         | -----                                   | 27,1                      |
|        | 3,8                 | 0,8        | -----                              | 46,75                                  | -----                                   | 8,00                         | 5,88                                    | 60,6                      |

Após uma análise destes valores é perceptível, que tanto no caso 1 como no caso 2, a combinação mais desfavorável é a 1. Apresenta-se nas Figura 1.24 e Figura 1.25 os esquemas dos impulsos do solo para os dois casos com os respectivos valores.

## Cálculos Justificativos

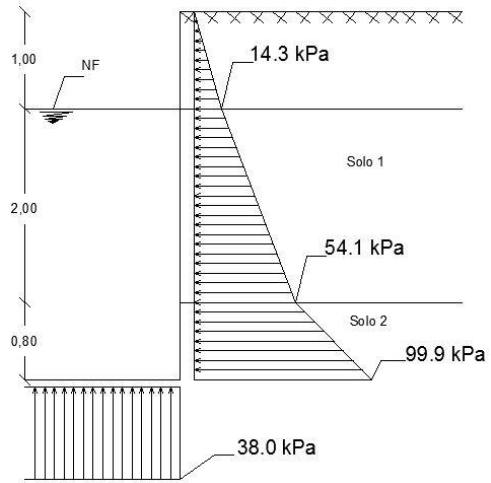


Figura 1.24 - Impulsos do terreno no fosso - Caso 1

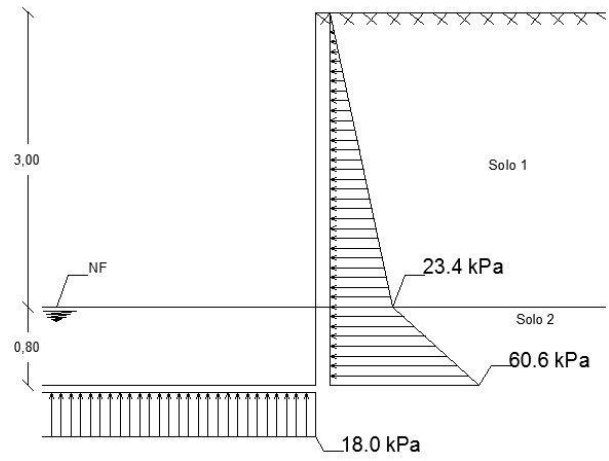


Figura 1.25 - Impulsos do terreno no fosso - Caso 2

## 2 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA

### 2.1 Dispensa dos efeitos de segunda ordem

No cálculo do valor  $\alpha_{cr}$ , para a validação de uma análise elástica de primeira ordem ( $\alpha_{cr} \geq 10$ ), foram escolhidos os pórticos e as combinações mais susceptíveis a deslocamentos laterais, apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Cálculo do  $\alpha_{cr}$ .

| Pórtico  | Combinação        | $h_i$<br>[m] | $\delta_{base}$<br>[m] | $\delta_{topo}$<br>[m] | $\Sigma H_{Ed}$<br>[kN] | $\Sigma V_{Ed}$<br>[kN] | $\delta_{H,Ed}$<br>[m] | $\alpha_{cr}$ |
|----------|-------------------|--------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------|
| <b>B</b> | ELU.Sism1y        | 15,3         | -0,002                 | -0,001                 | -0,3                    | -170,0                  | 0,001                  | <b>56,1</b>   |
|          | ELU.Sism2y        | 15,3         | -0,001                 | -0,001                 | -0,4                    | -169,9                  | 0,000                  | <b>82,8</b>   |
|          | ELU.Wyy1(T+)      | 15,3         | -0,020                 | -0,001                 | -86,4                   | -247,2                  | 0,019                  | <b>280,2</b>  |
|          | ELU.Wyy2(T+)      | 15,3         | -0,019                 | -0,001                 | -86,2                   | -298,0                  | 0,018                  | <b>239,8</b>  |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy1) | 15,3         | -0,013                 | 0,000                  | -53,4                   | -306,3                  | 0,012                  | <b>219,9</b>  |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy2) | 15,3         | -0,012                 | 0,000                  | -53,3                   | -336,7                  | 0,012                  | <b>206,0</b>  |
| <b>C</b> | ELU.Sism1y        | 7,3          | -0,002                 | -0,003                 | 0,4                     | -117,7                  | 0,001                  | <b>22,6</b>   |
|          | ELU.Sism2y        | 7,3          | -0,001                 | -0,002                 | 0,5                     | -119,9                  | 0,001                  | <b>28,4</b>   |
|          | ELU.Wyy1(T+)      | 7,3          | -0,003                 | -0,022                 | -29,9                   | -127,7                  | 0,019                  | <b>90,7</b>   |
|          | ELU.Wyy2(T+)      | 7,3          | -0,003                 | -0,021                 | -29,3                   | -184,7                  | 0,018                  | <b>64,2</b>   |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy1) | 7,3          | -0,003                 | -0,014                 | -18,8                   | -202,6                  | 0,012                  | <b>58,3</b>   |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy2) | 7,3          | -0,003                 | -0,014                 | -18,4                   | -236,8                  | 0,011                  | <b>51,0</b>   |
| <b>D</b> | ELU.Sism1y        | 7,3          | -0,002                 | -0,003                 | 0,4                     | -114,4                  | 0,001                  | <b>24,3</b>   |
|          | ELU.Sism2y        | 7,3          | -0,002                 | -0,003                 | 0,5                     | -114,3                  | 0,001                  | <b>31,2</b>   |
|          | ELU.Wyy1(T+)      | 7,3          | -0,003                 | -0,023                 | -20,2                   | -120,1                  | 0,020                  | <b>62,2</b>   |
|          | ELU.Wyy2(T+)      | 7,3          | -0,003                 | -0,022                 | -19,9                   | -160,4                  | 0,019                  | <b>48,3</b>   |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy1) | 7,3          | -0,003                 | -0,015                 | -12,5                   | -188,5                  | 0,012                  | <b>39,4</b>   |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy2) | 7,3          | -0,003                 | -0,014                 | -12,3                   | -212,7                  | 0,012                  | <b>36,2</b>   |
| <b>E</b> | ELU.Sism1y        | 7,3          | -0,003                 | -0,004                 | 0,4                     | -96,6                   | 0,001                  | <b>27,3</b>   |
|          | ELU.Sism2y        | 7,3          | -0,002                 | -0,003                 | 0,5                     | -97,6                   | 0,001                  | <b>34,5</b>   |
|          | ELU.Wyy1(T+)      | 7,3          | -0,004                 | -0,024                 | -20,3                   | -203,7                  | 0,020                  | <b>35,8</b>   |
|          | ELU.Wyy2(T+)      | 7,3          | -0,004                 | -0,023                 | -20,0                   | -246,2                  | 0,020                  | <b>30,2</b>   |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy1) | 7,3          | -0,003                 | -0,016                 | -12,6                   | -269,2                  | 0,013                  | <b>26,7</b>   |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy2) | 7,3          | -0,003                 | -0,015                 | -12,4                   | -294,7                  | 0,012                  | <b>24,9</b>   |
| <b>F</b> | ELU.Sism1y        | 7,3          | -0,003                 | -0,004                 | 0,4                     | -114,0                  | 0,001                  | <b>29,5</b>   |
|          | ELU.Sism2y        | 7,3          | -0,002                 | -0,003                 | 0,6                     | -116,5                  | 0,001                  | <b>39,7</b>   |
|          | ELU.Wyy1(T+)      | 7,3          | -0,004                 | -0,025                 | -18,8                   | -167,1                  | 0,021                  | <b>38,7</b>   |
|          | ELU.Wyy2(T+)      | 7,3          | -0,004                 | -0,024                 | -18,4                   | -207,6                  | 0,020                  | <b>32,2</b>   |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy1) | 7,3          | -0,003                 | -0,016                 | -11,5                   | -227,2                  | 0,013                  | <b>28,0</b>   |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy2) | 7,3          | -0,003                 | -0,016                 | -11,3                   | -251,5                  | 0,013                  | <b>26,1</b>   |
| <b>G</b> | ELU.Sism1y        | 7,3          | -0,004                 | -0,005                 | 0,8                     | -163,9                  | 0,001                  | <b>34,9</b>   |
|          | ELU.Sism2y        | 7,3          | -0,003                 | -0,004                 | 0,7                     | -157,7                  | 0,001                  | <b>38,0</b>   |
|          | ELU.Wyy1(T+)      | 7,3          | -0,004                 | -0,027                 | -34,0                   | -165,3                  | 0,022                  | <b>67,0</b>   |
|          | ELU.Wyy2(T+)      | 7,3          | -0,004                 | -0,026                 | -33,6                   | -214,7                  | 0,022                  | <b>52,9</b>   |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy1) | 7,3          | -0,003                 | -0,017                 | -21,2                   | -235,5                  | 0,014                  | <b>46,5</b>   |
|          | ELU.Ponte(T+Wyy2) | 7,3          | -0,003                 | -0,017                 | -21,0                   | -265,1                  | 0,014                  | <b>42,3</b>   |

## 2.2 Estado Limite Último

Para o dimensionamento dos elementos metálicos foi desenvolvida uma tabela bastante completa em *Excel*, bem como vários ábacos de dimensionamento que permitem verificar a segurança dos elementos de acordo com o EC3, de modo a validar os resultados obtidos no *SAP2000*, onde foram necessário efectuar algumas correcções, nomeadamente nos comprimentos de encurvadura e nos factores de interacção. Foi também utilizado o *software LTBeam* para a validação de Momento Crítico e o *software SemiComp* (desenvolvido numa parceria de diversas universidades europeias) para a validação dos resultados, nomeadamente dos factores de interacção dos elementos com o comportamento de uma coluna-viga (compressão + flexão). A segurança é verificada através do rácio entre os esforços existentes e a capacidade resistente do elemento/secção.

No anexo V, apresenta-se uma tabela com os rácios de segurança de todos os elementos obtida do programa *SAP2000*, após a correcção dos comprimentos de encurvadura e dos factores de interacção nos elementos mais desfavoráveis. Foram ainda escolhidos os perfis mais esforçados para comprovar a segurança através da tabela de cálculo e dos ábacos.

### 2.2.1 Pilares Compostos – Montantes

Nos montantes dos pilares, como o troço mais carregado tem um comprimento crítico menor, foram verificados três troços, apresentados da Figura 2.1 à Figura 2.3 os esforços obtidos no *SAP2000* e nas Figura 2.4 e Figura 2.5 os ábacos de dimensionamentos.

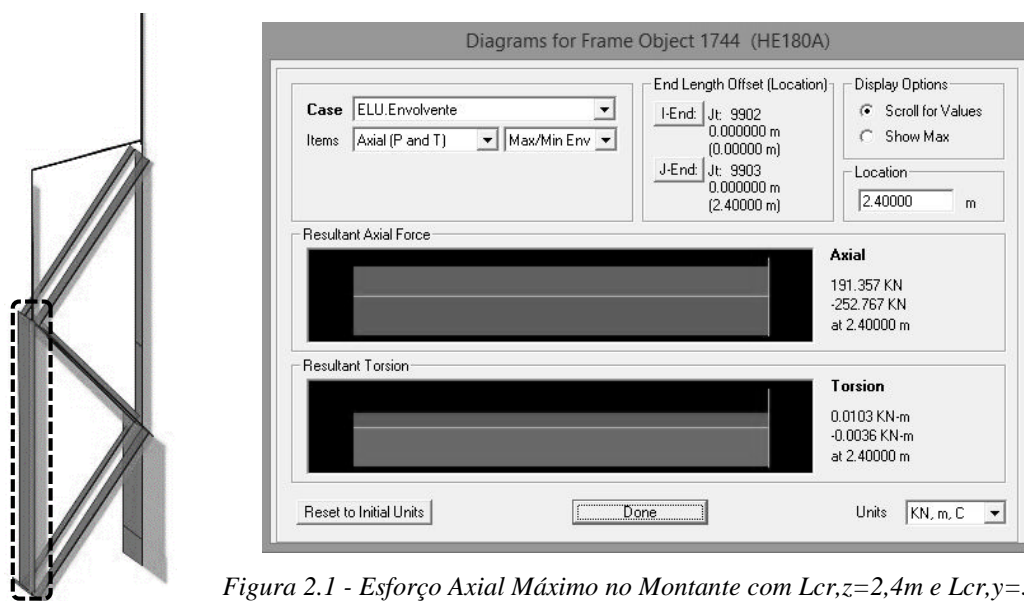


Figura 2.1 - Esforço Axial Máximo no Montante com  $L_{cr,z}=2,4m$  e  $L_{cr,y}=3,7m$

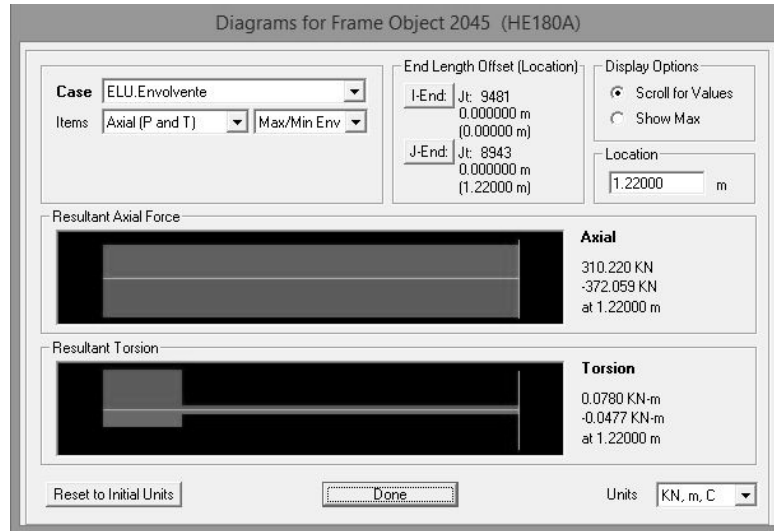
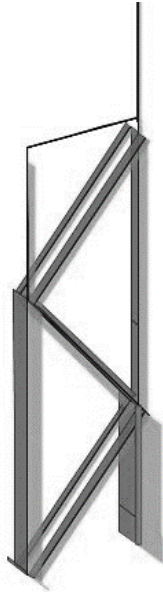


Figura 2.2 - Esforço Axial Máximo no Montante com  $L_{cr,z}=1,2m$  e  $L_{cr,y}=3,7m$

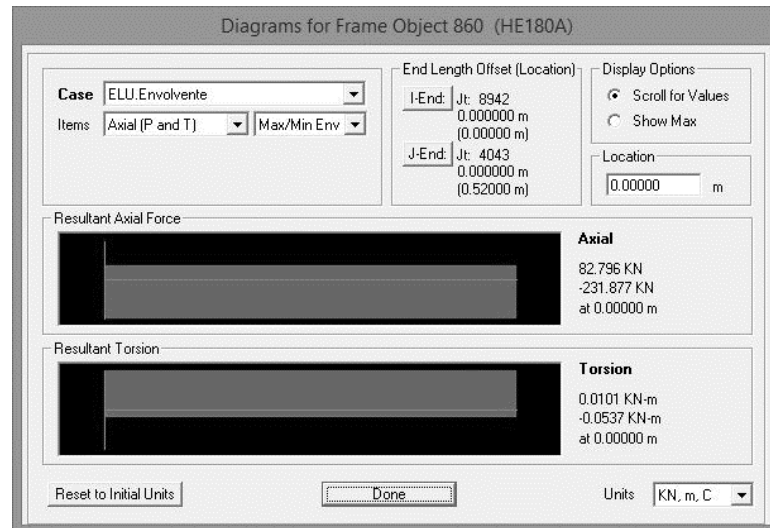
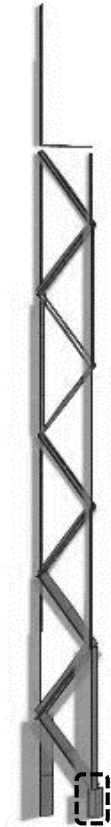


Figura 2.3 - Esforço Axial Máximo no Montante com  $L_{cr,z}=0,5m$  e  $L_{cr,y}=11,7m$

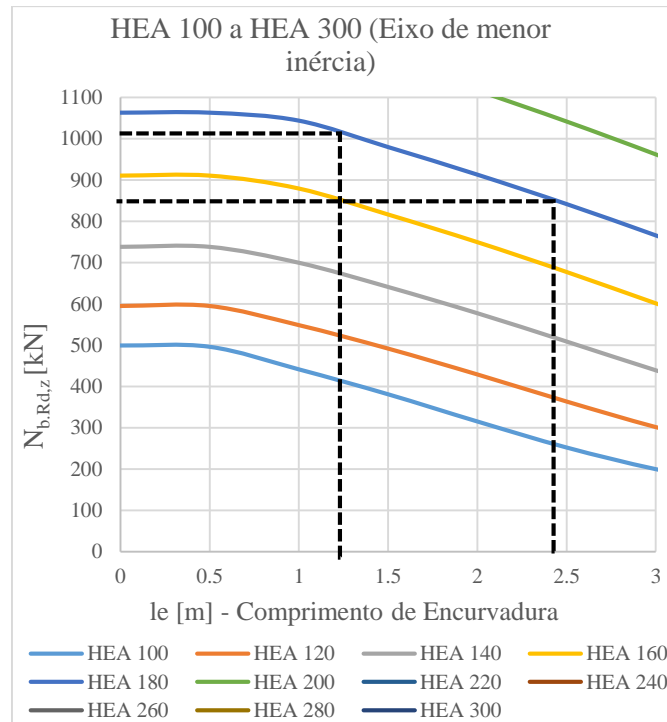


Figura 2.4 - Ábacos de Dimensionamento à Compressão de perfis HEA – eixo menor inércia (excerto)

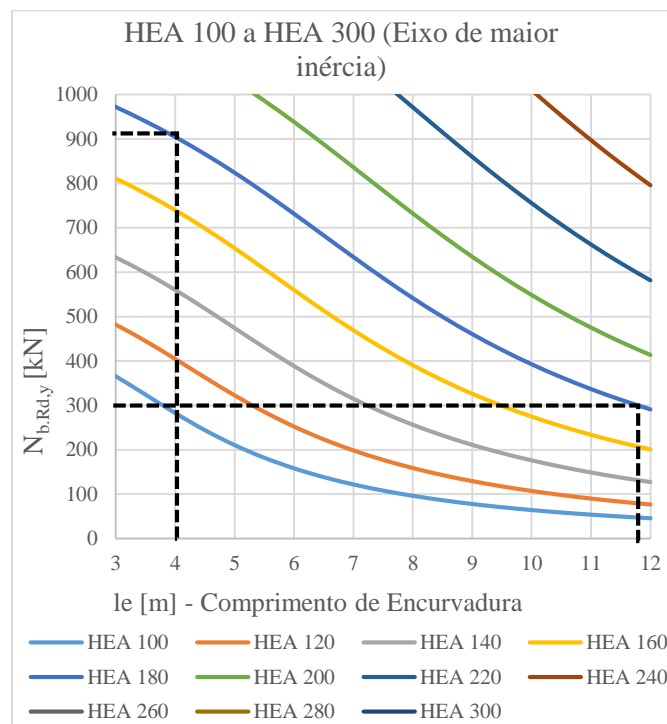


Figura 2.5 - Ábacos de Dimensionamento à Compressão de perfis HEA – eixo maior inércia (excerto)

Tabela 2.2 - Rácio do Montante mais comprimido

| Barra    | Secção  | Rácio |
|----------|---------|-------|
| Montante | HEA 180 | 0,77  |

Por razões construtivas os montantes devem possuir a mesma secção e o montante exterior deve possuir continuidade até às asnas. Troço este (Figura 2.6) sujeito apenas a momento flector segundo o eixo zz (compressão insignificante) e a segurança é verificada através da Figura 2.7.

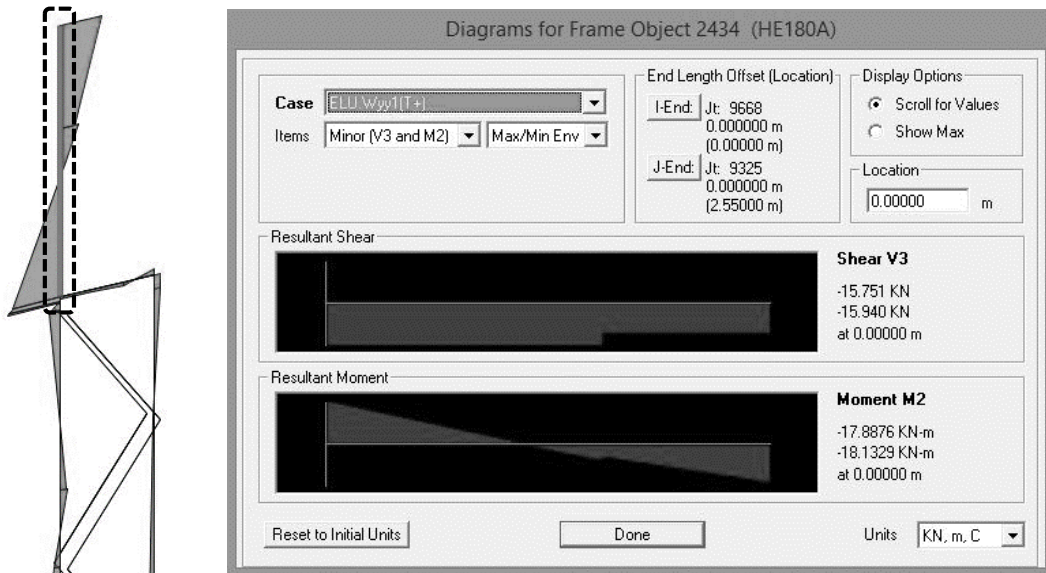


Figura 2.6 – Diagrama de Mz no topo dos Pilares

| PMM DEMAND/CAPACITY RATIO |             |                 |                |                |                |                |         |
|---------------------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|
| Governing Equation        | Total Ratio | N Ratio         | MMajor Ratio   | MMinor Ratio   | Ratio Limit    | Status Check   |         |
| 6.3.3(4)-6.62             | 0.508       | = 0.020         | + 0.014        | + 0.495        | 1.050          | OK             |         |
| AXIAL FORCE DESIGN        |             |                 |                |                |                |                |         |
|                           | Ned Force   | Nc,Rd Capacity  | Nt,Rd Capacity |                |                |                |         |
| Axial                     | 16.608      | 1064.550        | 1064.550       |                |                |                |         |
|                           | Np1,Rd      | Nu,Rd           | Ncr,T          | Ncr,TF         | An/Ag          |                |         |
|                           | 1064.550    | 1174.176        | 4122.442       | 4122.442       | 1.000          |                |         |
|                           | Curve       | Alpha           | Ncr            | LambdaBar      | Phi            | Chi            | Nb,Rd   |
| Major (y-y)               | b           | 0.340           | 4081.843       | 0.511          | 0.683          | 0.879          | 936.220 |
| MajorB (y-y)              | b           | 0.340           | 4081.843       | 0.511          | 0.683          | 0.879          | 936.220 |
| Minor (z-z)               | c           | 0.490           | 2948.359       | 0.601          | 0.779          | 0.785          | 835.521 |
| MinorB (z-z)              | c           | 0.490           | 2948.359       | 0.601          | 0.779          | 0.785          | 835.521 |
| Torsional TF              | c           | 0.490           | 4122.442       | 0.508          | 0.705          | 0.838          | 892.534 |
| MOMENT DESIGN             |             |                 |                |                |                |                |         |
|                           | Med Moment  | Med,span Moment | Mc,Rd Capacity | Mu,Rd Capacity | Mn,Rd Capacity | Mb,Rd Capacity |         |
| Major (y-y)               | 1.002       | 1.002           | 76.375         | 76.375         | 76.375         | 73.290         |         |
| Minor (z-z)               | -18.133     | -18.133         | 36.660         | 36.660         | 36.660         |                |         |

Figura 2.7 – Folha de dimensionamento do SAP2000 do topo do Montante

Tabela 2.3 - Rácio do Topo de Montante mais esforçado

| Barra              | Secção  | Rácio |
|--------------------|---------|-------|
| Topo dos Montantes | HEA 180 | 0,50  |

### 2.2.2 Pilares Compostos – Diagonais

Estes elementos estão sujeitos somente a esforços axiais e escolheu-se a barra mais comprimida para justificar a segurança.

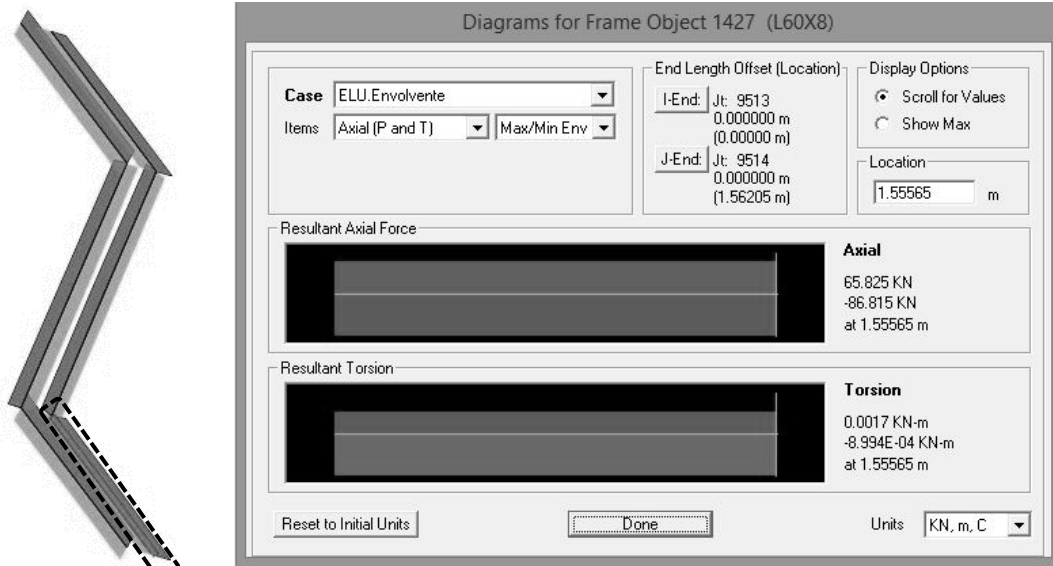


Figura 2.8 – Diagrama de esforços axiais no cordão interiores dos pilares mais comprimido

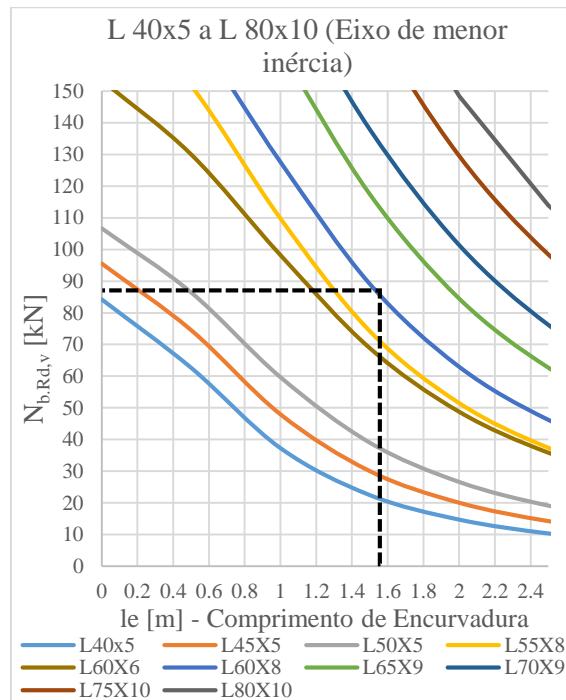


Figura 2.9 - Ábaco de Dimensionamento à Compressão de Cantoneiras (excerto)

Tabela 2.4 - Rácio do cordão interior dos pilares mais comprimido

| Barra                          | Secção | Rácio |
|--------------------------------|--------|-------|
| Cordões interiores dos Pilares | L 60x8 | 1,00  |

2.2.3 Asnas

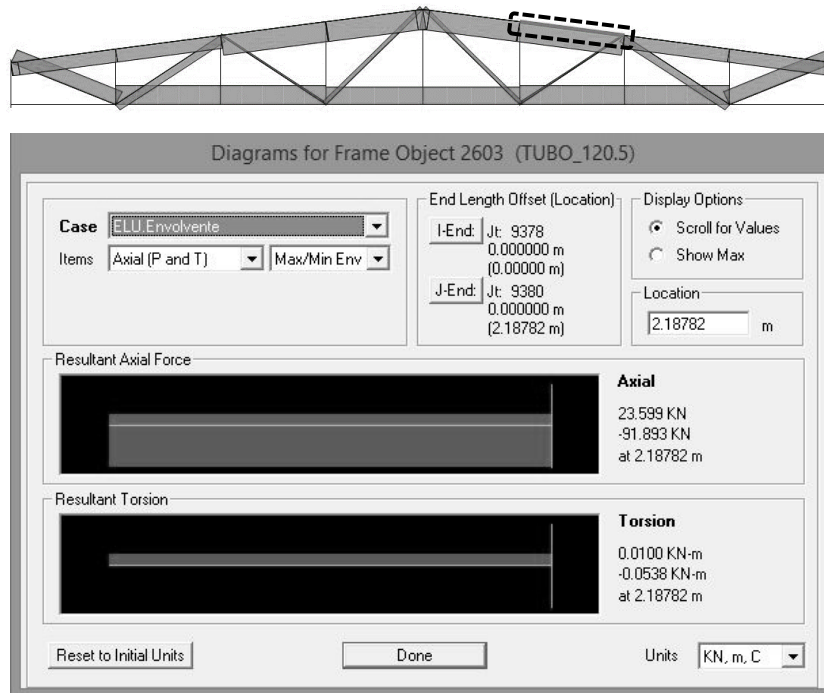


Figura 2.10 – Diagrama de esforços axiais do cordão exterior das asnas mais comprimido

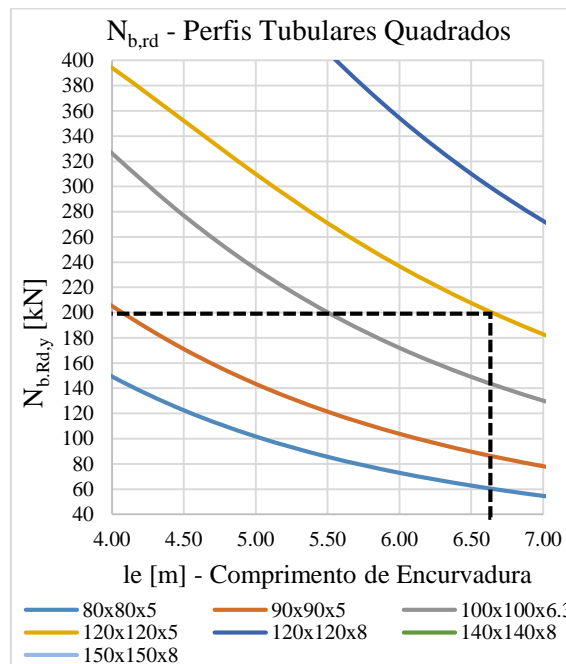


Figura 2.11 - Ábaco de Dimensionamento à Compressão de Tubos Quadrados (excerto)

Tabela 2.5 - Rácio do cordão exterior das asnas mais comprimido

| Barra                        | Secção    | Rácio |
|------------------------------|-----------|-------|
| Cordões exteriores das Asnas | 120x120x5 | 0,45  |

### 2.2.4 Travamentos da Cobertura

Os travamentos da Cobertura estão sujeitos somente a esforços axiais e a uma flexão desprezável devida ao peso próprio.

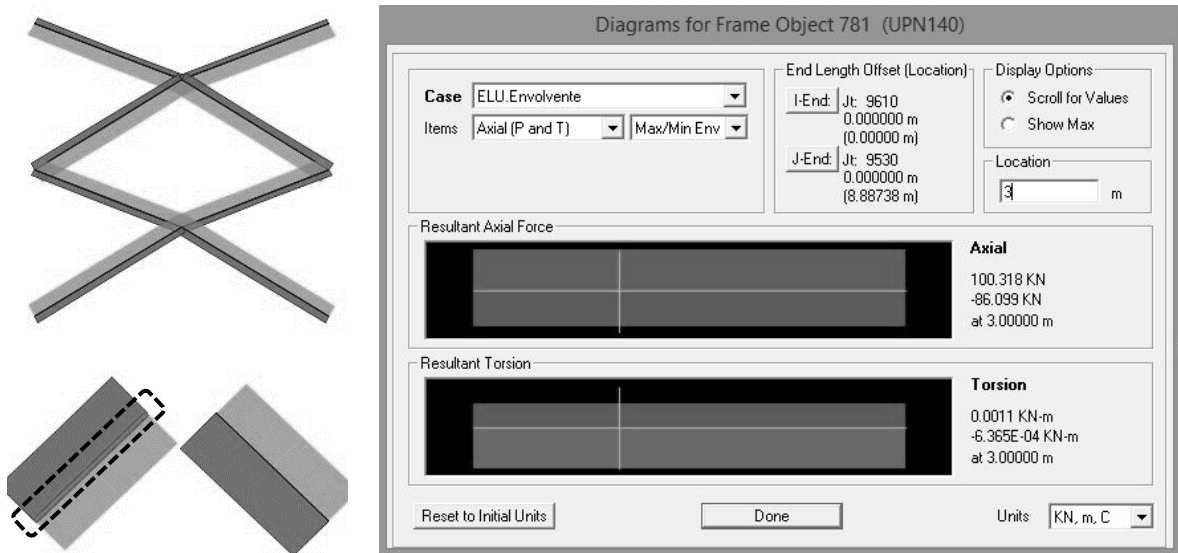


Figura 2.12 – Diagrama de esforços axiais do travamento de cobertura mais comprimido

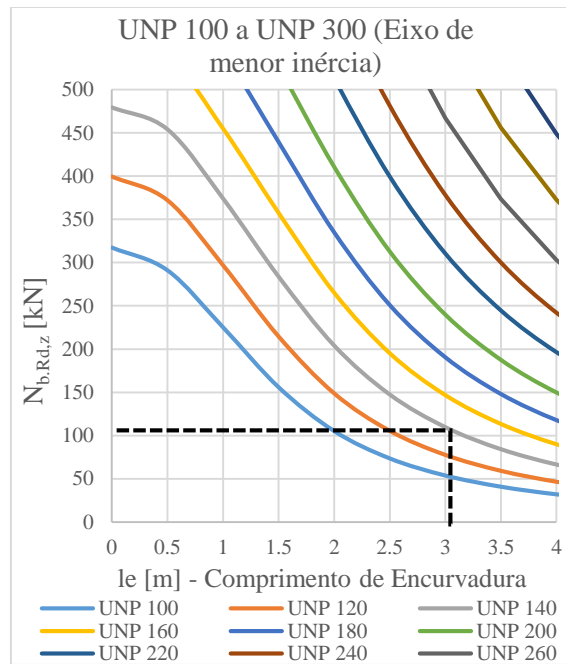


Figura 2.13 - Ábaco de Dimensionamento à Compressão de Perfis UNP (excerto)

Tabela 2.6 - Rácio do travamento de cobertura mais comprimido

| Barra                   | Secção  | Rácio |
|-------------------------|---------|-------|
| Travamento da Cobertura | UNP 140 | 0,77  |

### 2.2.5 Travamentos dos Alçados

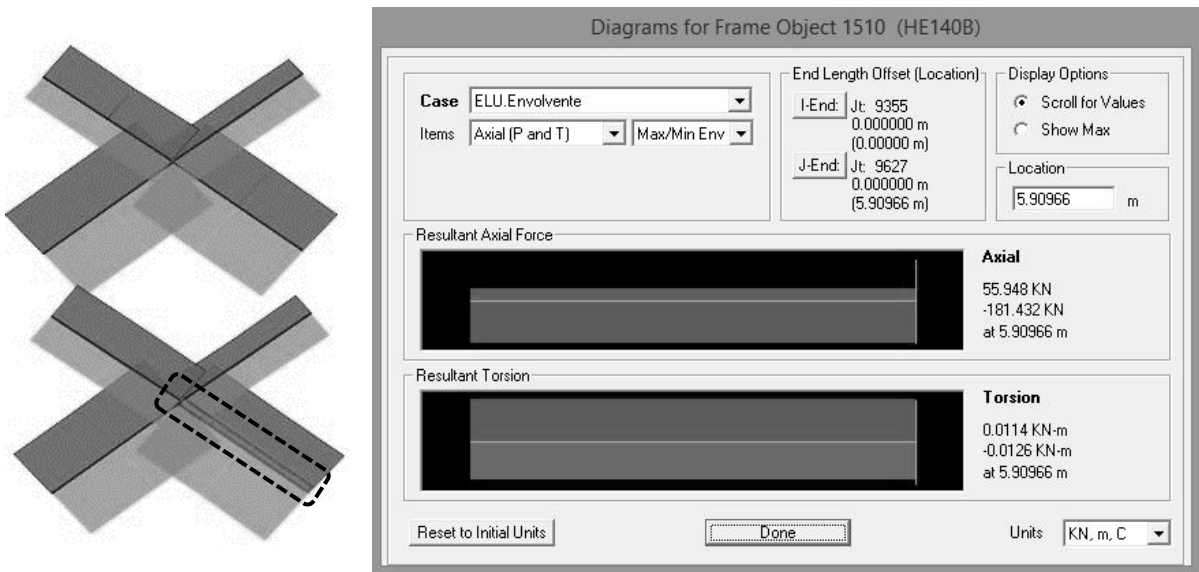


Figura 2.14 – Diagrama de esforços axiais do travamento de alçado mais comprimido

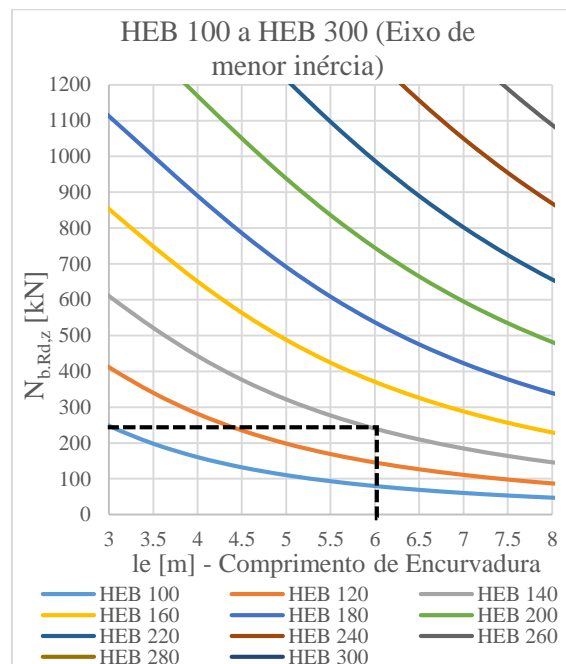


Figura 2.15 - Ábaco de Dimensionamento à Compressão de Perfis HEB (excerto)

Tabela 2.7 - Rácio do travamento de alçado mais comprimido

| Barra                 | Secção  | Rácio |
|-----------------------|---------|-------|
| Travamento de Alçados | HEB 140 | 0,75  |

## 2.2.6 Viga da Ponte Rolante

A viga de suporte da ponte rolante está sujeita à flexão composta desviada com tracção para a combinação mais desfavorável, sendo necessário efectuar a verificação da segurança da secção à flexão composta desviada e do elemento à encurvadura por flexão. A verificação foi efectuada recorrendo à folha de cálculo desenvolvida e posteriormente comparada com outros *softwares*.

Adoptou-se por uma secção IPE 400 no primeiro vão e IPE 330 nos restantes, por este apresentar esforços bastante elevados comparativamente com os restantes, ver Figura 2.16. Apresenta-se apenas, a título de exemplo, os cálculos do primeiro tramo sendo que os restantes foram verificados de igual modo.

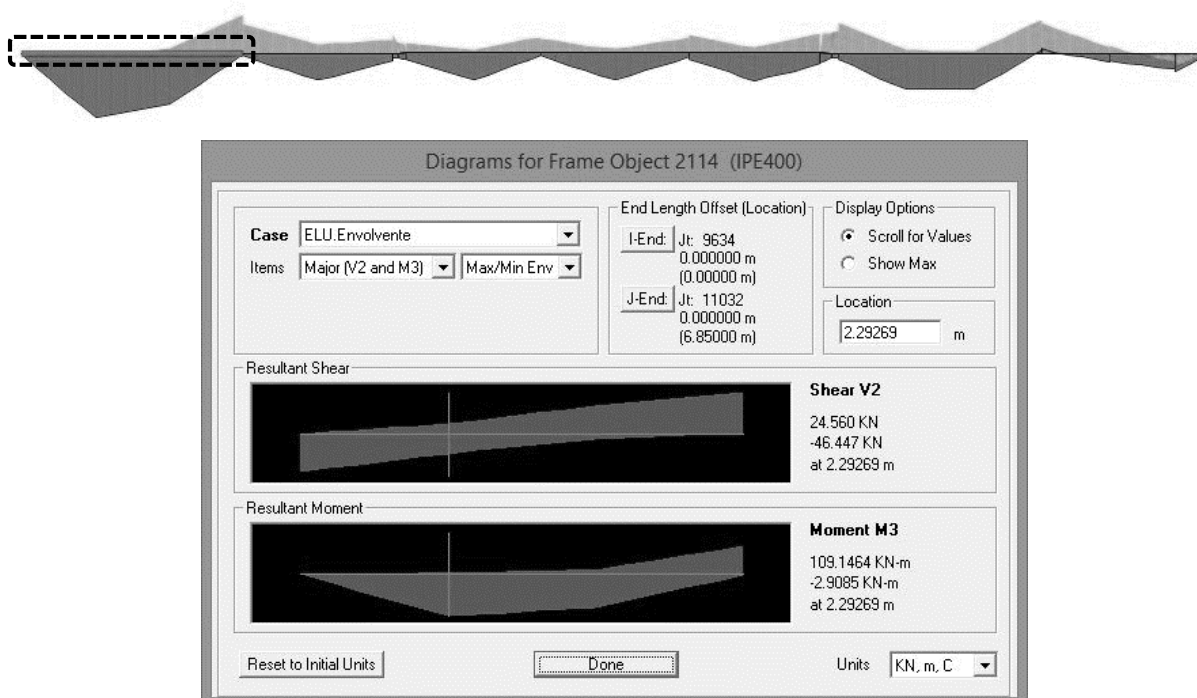


Figura 2.16 – Diagrama de  $M_y$  do tramo mais desfavorável da viga da ponte rolante

### a) Verificação da secção

Apresenta-se na Figura 2.17 um excerto da tabela de cálculo desenvolvida e na Figura 2.18 os resultados obtidos no *software SemiComp*.

| Análise da Secção Transversal (Flexão Desviada + Tração + Esforço Transverso) |      |   |                                 |                         |              |          |                                  |   |                         |              |         |  |                     |                          |                            |                          |
|---|------|---|---------------------------------|-------------------------|--------------|----------|----------------------------------|---|-------------------------|--------------|---------|--|---------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
|   |      | Momentos segundo eixo YY - Classes 1 ou 2 |                                 |                         |              |          |                                  | Momentos segundo eixo ZZ - Classes 1 ou 2 |                         |              |         | Classe 3 (Falta fazer uma verificação da análise de tensões) |                     |                          | Rácio da Eq.6.41 ou Eq.6.2 |                          |
| n   | a    | $0.25 * N_{pl,Rd}$                        | $0.5 * A_w * f_y / \gamma_{M0}$ | Condição de verificação | $M_{N,Rd,y}$ | $\alpha$ | $(M_{Ed,y} / M_{N,Rd,y})^\alpha$ | $A_w * f_y / \gamma_{M0}$                 | Condição de verificação | $M_{N,Rd,z}$ | $\beta$ | $(M_{Ed,z} / M_{N,Rd,z})^\beta$                              | $N_{Ed} / N_{t,Rd}$ | $M_{Ed,y} / M_{el,Rd,y}$ |                            | $M_{Ed,z} / M_{el,Rd,z}$ |
| 0.00  | 0.42 | 496                                       | 377                             | Desprezável             | 307.15       | 2.00     | 0.00                             | 754                                       | Desprezável             | 53.82        | 1.00    | 0.02   | 0.000               | 0.000                    | 0.037                      | 0.023                    |
| 0.00  | 0.42 | 496                                       | 377                             | Desprezável             | 307.15       | 2.00     | 0.13                             | 754                                       | Desprezável             | 53.82        | 1.00    | 0.01   | 0.000               | 0.401                    | 0.020                      | 0.139                    |
| 0.00  | 0.42 | 496                                       | 377                             | Desprezável             | 307.15       | 2.00     | 0.05                             | 754                                       | Desprezável             | 53.82        | 1.00    | 0.01   | 0.000               | 0.247                    | 0.015                      | 0.057                    |

Figura 2.17 - Excerto da tabela de cálculo - Secção com flexão composta desviada

### SEMCOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance)

$N_{Ed} = 19.000$  kN

$M_{y,Ed} = 108.000$  kNm

$M_{z,Ed} = -0.680$  kNm

$V_{z,Ed} = -19.000$  kN

$V_{y,Ed} = -0.300$  kN

Perform cross-section checks

---

Reference values for classification

$c/t_w = 38.488$

$\alpha_{web} = 0.477$

$\psi_{web} = -1.060$

$\epsilon = 1.000$

$c/t_f = 4.793$

$\alpha_{flange} = 1.000$

$\psi_{flange} = 0.965$

$\epsilon_{mod,c13/4} = NaN$

Boundaries

|                          | Class 1 | Class 2 | Class 3 |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| $c/t_w \leq c/t_{w,max}$ | 75.442  | 86.968  | 131.491 |
| $c/t_f \leq c/t_{f,max}$ | 9.000   | 10.000  | 13.811  |

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

---

$M_{pl,y,Rd} = 307.18$  kNm

$M_{el,y,Rd} = 271.76$  kNm

$N_{Rd} = 1984.89$  kN

$M_{pl,z,Rd} = 53.82$  kNm

$M_{el,z,Rd} = 34.41$  kNm

$V_{pl,z,Rd} = 579.27$  kN

$V_{pl,y,Rd} = 659.39$  kN

---

**EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4**  
Tension or compression

$U_{(6.5)/(6.9)} = 0.010 \leq 1,0$  ok

**EN 1993-1-1, 6.2.5**  
Bending moment

$U_{strong A} = 0.352 \leq 1,0$  ok

$U_{weak A} = 0.013 \leq 1,0$  ok

**EN 1993-1-1, 6.2.6**  
Shear

$U_{z-plastic} = 0.033 \leq 1,0$  ok

$U_{z-elastic} = 0.046 \leq 1,0$  ok

$h_w/t_w = 44.512 \leq 72\epsilon/\eta = 60.000$  ok

$U_{y-plastic} = 0.000 \leq 1,0$  ok

$U_{y-elastic} = 0.001 \leq 1,0$  ok

**EN 1993-1-1, 6.2.9**  
Bending and axial force

$U_{(6.41)/(6.42)} = 0.136 \leq 1,0$  ok       $UF = 0.358$

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher that 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Fonte: Software SEMCOMP

Figura 2.18 - Resultados da análise de secção da viga da ponte rolante pelo software SemiComp

Tabela 2.8 - Rácios da secção da viga da ponte rolante

| Barra                 | Secção | Rácio da Tabela de Cálculo | Rácio <i>SemiComp</i> |
|-----------------------|--------|----------------------------|-----------------------|
| Viga da Ponte Rolante | IPE400 | 0,139                      | 0,136                 |

**a) Verificação do elemento à encurvadura por flexão**

A viga aquando carregada tem tendência a encurvar lateral, Figura 2.19, diminuindo assim a sua capacidade resistente. Esta foi calculada através da tabela de cálculo desenvolvida.

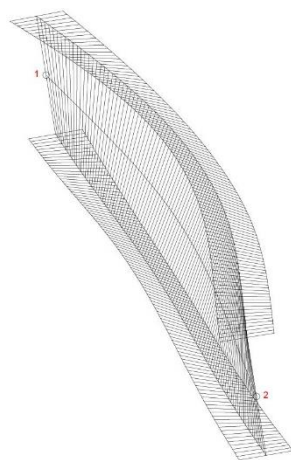
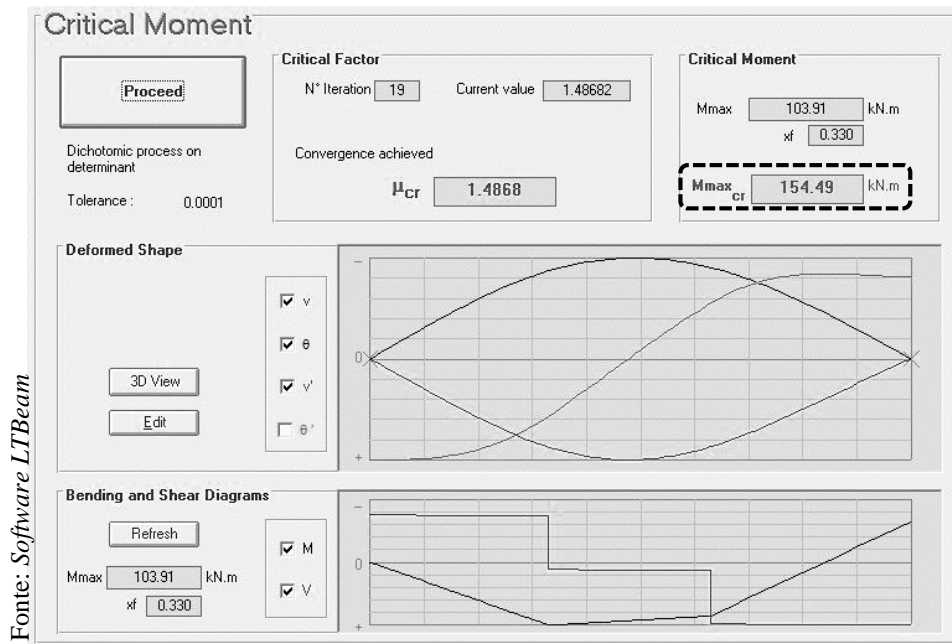


Figura 2.19 - Esquema da encurvadura lateral da viga (obtido no LTBeam)

| Encurvadura Lateral ou Bامbeamento (§ 6.3.2) |       |         |    |      |                      |       |       |       |         |         |         |         |          |       |                    |       |          |               |
|--|-------|---------|----|------|----------------------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|--------------------|-------|----------|---------------|
| kz   | L [m] | Lcr [m] | kw | ψ    | Tipo de carregamento | C1    | C2    | C3    | Za [cm] | Zs [cm] | Zj [cm] | Zg [cm] | Mcr      | λLT   | Curva de enc. Lat. | χLT   | Mb,rd,y  | Med,y/Mb,rd,y |
|  |       |         |    |      |                      |       |       |       |         |         |         |         | [ kN.m ] |       |                    |       | [ kN.m ] |               |
| 1  | 6.85  | 6.85    | 1  | 0.00 | 2fa_sa               | 1.046 | 0.430 | 1.120 | 20.0    | 0.0     | 0.0     | 20.0    | 154.713  | 1.409 | b                  | 0.378 | 116.1    | 0.000         |
| 1  | 6.85  | 6.85    | 1  | 0.00 | 2fa_sa               | 1.046 | 0.430 | 1.120 | 20.0    | 0.0     | 0.0     | 20.0    | 154.713  | 1.409 | b                  | 0.378 | 116.1    | 0.939         |
| 1  | 6.85  | 6.85    | 1  | 0.00 | 2fa_sa               | 1.046 | 0.430 | 1.120 | 20.0    | 0.0     | 0.0     | 20.0    | 154.713  | 1.409 | b                  | 0.378 | 116.1    | 0.577         |

Figura 2.20 - Excerto da tabela Excel no dimensionamento da viga da ponte rolante – Encurvadura Lateral

De forma a validar o Momento Crítico obtido, este foi calculado através do programa *LTBeam*, apresentando-se o resultado final na Figura 2.21 e o relatório de cálculo no anexo III.



Fonte: Software LTBeam

Figura 2.21 - Momento Crítico através do software LTBeam

Através do SAP2000 não é possível inserir as cargas fora do centro de gravidade, obtendo-se assim resultados diferentes, como apresentado na Figura 2.22 e na Tabela 2.9.

| PMM                       | DEMAND/CAPACITY RATIO |             |                 |                |                |                |                |          |  |
|---------------------------|-----------------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|--|
|                           | Governing Equation    | Total Ratio | N Ratio         | M Major Ratio  | M Minor Ratio  | Ratio Limit    | Status Check   |          |  |
|                           | 6.3.3(4)-6.62         | 0.901       | = 0.156         | + 0.801        | + 0.100        | 0.950          | OK             |          |  |
| <b>AXIAL FORCE DESIGN</b> |                       |             |                 |                |                |                |                |          |  |
|                           |                       | Ned Force   | Nc,Rd Capacity  | Nt,Rd Capacity |                |                |                |          |  |
|                           | Axial                 | 63.190      | 1985.750        | 1985.750       |                |                |                |          |  |
|                           |                       | Np1,Rd      | Nu,Rd           | Ncr,T          | Ncr,TF         | An/Ag          |                |          |  |
|                           |                       | 1985.750    | 2190.240        | 2053.152       | 2053.152       | 1.000          |                |          |  |
|                           | Curve                 | Alpha       | Ncr             | LambdaBar      | Phi            | Chi            | Nb,Rd          |          |  |
|                           | Major (y-y)           | a           | 0.210           | 8443.610       | 0.485          | 0.648          | 0.929          | 1844.523 |  |
|                           | MajorB(y-y)           | a           | 0.210           | 8443.610       | 0.485          | 0.648          | 0.929          | 1844.523 |  |
|                           | Minor (z-z)           | b           | 0.340           | 481.136        | 2.032          | 2.875          | 0.204          | 404.493  |  |
|                           | MinorB(z-z)           | b           | 0.340           | 481.136        | 2.032          | 2.875          | 0.204          | 404.493  |  |
|                           | Torsional TF          | b           | 0.340           | 2053.152       | 0.983          | 1.117          | 0.608          | 1206.461 |  |
| <b>MOMENT DESIGN</b>      |                       |             |                 |                |                |                |                |          |  |
|                           |                       | Med Moment  | Med,span Moment | Mc,Rd Capacity | Mv,Rd Capacity | Mn,Rd Capacity | Mb,Rd Capacity |          |  |
|                           | Major (y-y)           | 91.605      | 109.226         | 307.145        | 307.145        | 307.145        | 136.369        |          |  |
|                           | Minor (z-z)           | -0.135      | -5.391          | 53.815         | 53.815         | 53.815         |                |          |  |
|                           | Curve                 | AlphaLT     | LambdaBarLT     | PhiLT          | ChiLT          | C1             | Mcr            |          |  |
|                           | LTB                   | b           | 0.340           | 1.265          | 1.482          | 0.444          | 1.135          | 191.859  |  |

Figura 2.22 - Folha de dimensionamento do SAP2000 da viga da Ponte Rolante

Tabela 2.9 - Rácios da encurvadura da viga da Ponte Rolante

| Barra                 | Secção  | Rácio da Tabela de Cálculo | Rácio do SAP2000 |
|-----------------------|---------|----------------------------|------------------|
| Viga da Ponte Rolante | IPE 400 | 0,939                      | 0,801            |

Na viga da ponte rolante é ainda necessário verificar a encurvadura da alma devido às cargas concentradas.

### 2.2.7 Pilar exterior do Pórtico H

O Pilar em questão comporta-se como uma coluna-viga, ou seja, está sujeito a esforços de compressão e de flexão. Foi estudado várias combinações de modo a perceber qual a mais desfavorável (ELU.Wy2(T-)), apresentando-se apenas os cálculos da mesma.

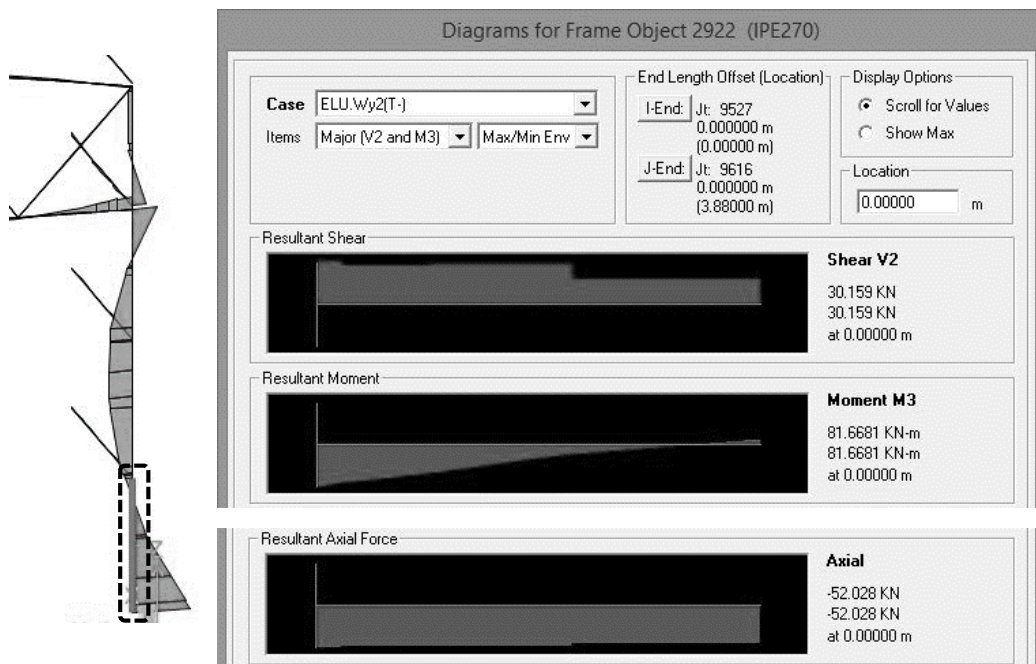


Figura 2.23 - Esforços My do SAP do troço mais desfavorável no pilar exterior do pórtico H

O elemento foi calculado pela tabela de cálculo desenvolvida (ver Figura 2.24 e anexo IV) e validado pelo software *SemiComp* (Figura 2.25).

| Encurvadura por compressão |                   | Encurvadura Lateral |                        |                       | Colunas-Vigas (Compressão + Flexão Desviada) |          |                    |                    |  |  |                |                |
|----------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|--|----------|--------------------|--------------------|--|--|----------------|----------------|
| $N_{b,rd,z}$<br>[ kN ]     | $N_{Ed}/N_{b,rd}$ | $M_{cr}$<br>[kN.m]  | $M_{b,rd,y}$<br>[kN.m] | $M_{ed,y}/M_{b,rd,y}$ | $K_{yy}$                                     | $K_{zy}$ | $N_{Ed}/N_{brd,y}$ | $N_{Ed}/N_{brd,z}$ | $K_{yy}^*$<br>( $M_{Y,ED}/M_{brd,y}$ ) | $K_{zy}^*$<br>( $M_{Y,ED}/M_{brd,y}$ ) | Rácio Eq. 6.61 | Rácio Eq. 6.62 |
| 423.6                      | 0.123             | 235.5               | 96.69                  | 0.845                 | 0.464  | 0.959    | 0.081              | 0.123              | 0.392                                  | 0.810                                  | 0.473          | 0.933          |
| 423.6                      | 0.118             | 235.5               | 96.69                  | 0.273                 | 0.464  | 0.959    | 0.081              | 0.123              | 0.392                                  | 0.810                                  | 0.473          | 0.933          |
| 423.6                      | 0.110             | 235.5               | 96.69                  | 0.112                 | 0.464  | 0.959    | 0.081              | 0.123              | 0.392                                  | 0.810                                  | 0.473          | 0.933          |

Figura 2.24 – Excerto da tabela de cálculo do dimensionamento do pilar do pórtico H – Coluna-viga

### SEMICOMP Member Check

Choose method for member check

Method 2 (EN 1993-1-1 Annex B) ▾

Choose method for cross-section resistance

EN 1993-1-1:2010-12 ▾

Perform member design check

---

**Section classification for member design check** *(based on 1. order cross-section forces)*

Reference values for classification in the worst section along the member

|                  |                           |                         |                       |
|------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|
| $c/t_w =$ 33.273 | $\alpha_{web} =$ 0.605    | $\psi_{web} =$ -0.864   | $\varepsilon =$ 1.000 |
| $c/t_f =$ 4.824  | $\alpha_{flange} =$ 1.000 | $\psi_{flange} =$ 1.000 |                       |

Boundaries

|                            | Class 1 | Class 2 | Class 3 |
|----------------------------|---------|---------|---------|
| $c/t_w \leq c/t_{w,max} =$ | 57.630  | 66.362  | 109.111 |
| $c/t_f \leq c/t_{f,max} =$ | 9.000   | 10.000  | 13.771  |

Member class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations. The user should check if parts of member are Class 4 in the "Additional info"-sheet.

---

**Member Check**

|                          |                             |                             |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $N_{Rd} =$ 1079.708 kN   | $M_{pl,y,Rd} =$ 113.739 kNm | $N_{Ed} =$ -52.000 kN       |
| $M_{y,Rd} =$ 113.739 kNm | $M_{pl,z,Rd} =$ 22.783 kNm  | $M_{y,Ed,max} =$ 81.700 kNm |
| $M_{z,Rd} =$ 22.783 kNm  | $M_{el,y,Rd} =$ 100.785 kNm | $M_{z,Ed,max} =$ 0.000 kNm  |
|                          | $M_{el,z,Rd} =$ 14.618 kNm  |                             |

| Strong axis buckling    | Weak axis buckling      | Lateral torsional buckling  |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| $L_{cr,y} =$ 11.600 m   | $L_{cr,z} =$ 3.867 m    | $M_{cr} =$ 235.000 kNm      |
| $N_{cr,y} =$ 891.796 kN | $N_{cr,z} =$ 582.048 kN | $\alpha_{LT} =$ 0.34 [-]    |
| $\alpha_y =$ 0.21 [-]   | $\alpha_z =$ 0.34 [-]   | $\lambda_{LT} =$ 0.696 [-]  |
| $\lambda_y =$ 1.100 [-] | $\lambda_z =$ 1.362 [-] | $\chi_{LT,mod} =$ 0.888 [-] |
| $\chi_y =$ 0.596 [-]    | $\chi_z =$ 0.398 [-]    | $f_{mod} =$ 0.981 [-]       |

---

**EN 1993-1-1, 6.3.3**

Uniform member in bending and axial compression

Eq. (6.61):  $U =$  0.454  $\leq$  1,0 **ok**

Eq. (6.62):  $U =$  0.916  $\leq$  1,0 **ok**

Global interaction factors

$k_{yy} =$  0.462

$k_{yz} =$  0.000

$k_{zy} =$  0.983

$k_{zz} =$  0.000

Cross-section check at each end of the member

Left end:  $U =$  0.718  $\leq$  1,0 **ok**      UF = 0.718

Right end:  $U =$  0.309  $\leq$  1,0 **ok**      UF = 0.309

---

**Additional member checks**

**EN 1993-1-1, 6.3.1**

Strong axis flexural buckling check

Eq. (6.46):  $N_{Ed}/N_{b,Rd} =$  0.081  $\leq$  1,0 **ok**

Weak axis flexural buckling check

Eq. (6.46):  $N_{Ed}/N_{b,Rd} =$  0.121  $\leq$  1,0 **ok**

**EN 1993-1-1, 6.3.2**

Lateral torsional buckling

Eq. (6.54):  $M_{Ed}/M_{b,Rd} =$  0.809  $\leq$  1,0 **ok**

Fonte: Software SEMICOMP

Figura 2.25 - Resultados da análise de elemento do pilar exterior do pórtico H pelo software SemiComp

III-41

No dimensionamento feito através do *SAP2000* foi necessário corrigir os factores de interacção, apresentando-se a folha de dimensionamento na Figura 2.26.

| PMM DEMAND/CAPACITY RATIO |             |         |                 |           |                |                |                |                |              |
|---------------------------|-------------|---------|-----------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Governing Equation        | Total Ratio | =       | N Ratio         | +         | MMajor Ratio   | +              | MMinor Ratio   | Ratio Limit    | Status Check |
| 6.3.3(4)-6.62             | 0.931       |         | 0.122           |           | 0.810          |                | 0.000          | 1.050          | OK           |
| AXIAL FORCE DESIGN        |             |         |                 |           |                |                |                |                |              |
|                           | Ned Force   |         | Nc,Rd Capacity  |           | Nt,Rd Capacity |                |                |                |              |
| Axial                     | -52.028     |         | 1078.650        |           | 1078.650       |                |                |                |              |
|                           | Np1,Rd      |         | Nu,Rd           |           | Ncr,T          | Ncr,TF         | An/Ag          |                |              |
|                           | 1078.650    |         | 1189.728        |           | 1670.395       | 1670.395       | 1.000          |                |              |
|                           | Curve       | Alpha   | Ncr             | LambdaBar | Phi            | Chi            | Nb,Rd          |                |              |
| Major (y-y)               | a           | 0.210   | 974.545         | 1.052     | 1.143          | 0.629          | 678.670        |                |              |
| MajorB(y-y)               | a           | 0.210   | 974.545         | 1.052     | 1.143          | 0.629          | 678.670        |                |              |
| Minor (z-z)               | b           | 0.340   | 578.236         | 1.366     | 1.631          | 0.396          | 427.665        |                |              |
| MinorB(z-z)               | b           | 0.340   | 578.236         | 1.366     | 1.631          | 0.396          | 427.665        |                |              |
| Torsional TF              | b           | 0.340   | 1670.395        | 0.804     | 0.925          | 0.722          | 779.045        |                |              |
| MOMENT DESIGN             |             |         |                 |           |                |                |                |                |              |
|                           | Med Moment  |         | Med,span Moment |           | Mc,Rd Capacity | Mu,Rd Capacity | Mn,Rd Capacity | Mb,Rd Capacity |              |
| Major (y-y)               | 81.668      |         | 81.668          |           | 113.740        | 113.740        | 113.740        | 96.734         |              |
| Minor (z-z)               | 0.752       |         | 1.028           |           | 22.795         | 22.795         | 22.795         |                |              |
|                           | Curve       | AlphaLT | LambdaBarLT     | PhiLT     | ChiLT          | C1             | Mcr            |                |              |
| LTB                       | a           | 0.210   | 0.694           | 0.793     | 0.850          | 2.065          | 236.070        |                |              |
|                           | kyy         |         | kyz             | kzy       | kzz            |                |                |                |              |
| Factors                   | 0.464       |         | 0.001           | 0.959     | 0.001          |                |                |                |              |

Figura 2.26 - Folha de dimensionamento corrigida do pilar exterior do pórtico H pelo *SAP2000*

Tabela 2.10 - Rácios do dimensionamento do pilar exterior do pórtico H

| Barra                       | Secção  | Rácio Tabela de Cálculo | Rácio <i>SemiComp</i> | Rácio <i>SAP2000</i> |
|-----------------------------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| Pilar exterior do pórtico H | IPE 270 | 0,933                   | 0,916                 | 0,931                |

### 2.2.8 Pilar do Pórtico I

O pilar do pórtico I, está sujeito a esforços de compressão e flexão segundo os dois eixos, tendo assim um comportamento de uma coluna viga. Foram verificadas as várias combinações e apresentam-se os resultados das duas combinações mais desfavoráveis (ELU.Wyy2(T-) e ELU.Wy2(T-)).

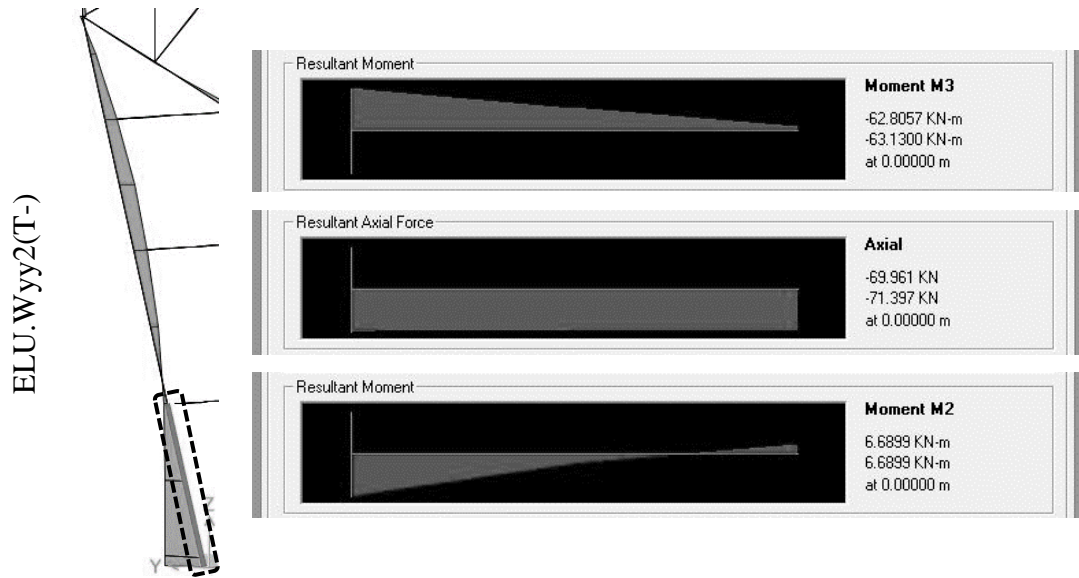


Figura 2.27 - Esforços da Combinação ELU.Wyy2(T-) do pilar do pórtico I



Figura 2.28 - Esforços da Combinação ELU.Wy2(T-) do pilar do pórtico I

Este elemento foi calculado através da tabela de cálculo (ver Figura 2.29 ou anexo IV) e no SAP2000 (Figura 2.30), com a devida correcção dos factores de interacção.

| Combinação  | Encurvadura por compressão  |                                    | Encurvadura Lateral       |                               |  | Colunas-Vigas (Compressão + Flexão Desviada) |                 |                 |                 |                                     |                                     |   |   |  |  |                |                |
|-------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--|--|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|--|----------------|----------------|
|             | N <sub>b,rd,z</sub><br>[kN] | N <sub>Ed</sub> /N <sub>b,rd</sub> | M <sub>cr</sub><br>[kN.m] | M <sub>b,rd,y</sub><br>[kN.m] | M <sub>ed,y</sub> /M <sub>b,rd,y</sub> | K <sub>yy</sub>                              | K <sub>yz</sub> | K <sub>zy</sub> | K <sub>zz</sub> | N <sub>Ed</sub> /N <sub>brd,y</sub> | N <sub>Ed</sub> /N <sub>brd,z</sub> | K <sub>yy</sub> *<br>(M <sub>y,ED</sub> /M <sub>brd,y</sub> ) | K <sub>zy</sub> *<br>(M <sub>y,ED</sub> /M <sub>brd,y</sub> ) | K <sub>yz</sub> *<br>(M <sub>z,ED</sub> /M <sub>rd,z</sub> ) | K <sub>zz</sub> *<br>(M <sub>z,ED</sub> /M <sub>rd,z</sub> ) | Rácio Eq. 6.61 | Rácio Eq. 6.62 |
| ELU.Wy2(T-) | 593.8                       | 0.120                              | 323.5                     | 141.03                        | 0.447                                  | 0.437  | 0.357           | 0.970           | 0.594           | 0.089                               | 0.120                               | 0.196   | 0.434   | 0.051  | 0.086  | 0.335          | 0.639          |
|             | 593.8                       | 0.116                              | 323.5                     | 141.03                        | 0.235                                  | 0.437  | 0.357           | 0.970           | 0.594           | 0.089                               | 0.120                               | 0.196   | 0.434   | 0.051  | 0.086  | 0.335          | 0.639          |
|             | 593.8                       | 0.111                              | 323.5                     | 141.03                        | 0.049                                  | 0.437  | 0.357           | 0.970           | 0.594           | 0.089                               | 0.120                               | 0.196   | 0.434   | 0.051  | 0.086  | 0.335          | 0.639          |
| ELU.Wy2(T-) | 593.8                       | 0.014                              | 334.1                     | 142.41                        | 0.533                                  | 0.476  | 0.309           | 0.996           | 0.514           | 0.010                               | 0.014                               | 0.254   | 0.531   | 0.057  | 0.095  | 0.321          | 0.641          |
|             | 593.8                       | 0.011                              | 334.1                     | 142.41                        | 0.270                                  | 0.476  | 0.309           | 0.996           | 0.514           | 0.010                               | 0.014                               | 0.254   | 0.531   | 0.057  | 0.095  | 0.321          | 0.641          |
|             | 593.8                       | 0.007                              | 334.1                     | 142.41                        | 0.035                                  | 0.476  | 0.309           | 0.996           | 0.514           | 0.010                               | 0.014                               | 0.254   | 0.531   | 0.057  | 0.095  | 0.321          | 0.641          |

Figura 2.29 - Excerto da tabela de cálculo do dimensionamento do pilar do pórtico I – Coluna-viga

| PMM DEMAND/CAPACITY RATIO |               |                 |                |                |                |                |          |
|---------------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| Governing Equation        | Total Ratio   | N Ratio         | MMajor Ratio   | MMinor Ratio   | Ratio Limit    | Status Check   |          |
| 6.3.3(4)-6.62             | 0.655         | = 0.014         | + 0.546        | + 0.095        | 1.050          | OK             |          |
| AXIAL FORCE DESIGN        |               |                 |                |                |                |                |          |
| Axial                     | Ned Force     | Nc,Rd Capacity  | Nt,Rd Capacity |                |                |                |          |
|                           | -8.446        | 1471.100        | 1471.100       |                |                |                |          |
|                           | Npl,Rd        | Nu,Rd           | Ncr,T          | Ncr,TF         | An/Ag          |                |          |
|                           | 1471.100      | 1622.592        | 2157.651       | 2157.651       | 1.000          |                |          |
| Major (y-y)               | Curve Alpha   | Ncr             | LambdaBar      | Phi            | Chi            | Nb,Rd          |          |
| MajorB(y-y)               | a             | 0.210           | 1048.925       | 1.184          | 1.305          | 0.540          | 794.404  |
| Minor (z-z)               | b             | 0.340           | 811.805        | 1.346          | 1.601          | 0.405          | 596.216  |
| MinorB(z-z)               | b             | 0.340           | 811.805        | 1.346          | 1.601          | 0.405          | 596.216  |
| Torsional TF              | b             | 0.340           | 2157.651       | 0.826          | 0.947          | 0.708          | 1042.210 |
| MOMENT DESIGN             |               |                 |                |                |                |                |          |
| Major (y-y)               | Med Moment    | Med,span Moment | Mc,Rd Capacity | Mu,Rd Capacity | Mn,Rd Capacity | Mb,Rd Capacity |          |
| Minor (z-z)               | 75.927        | 75.927          | 188.940        | 188.940        | 188.940        | 138.540        |          |
|                           | 6.690         | 6.690           | 36.190         | 36.190         | 36.190         |                |          |
| LTB                       | Curve AlphaLT | LambdaBarLT     | PhiLT          | ChiLT          | C1             | Mcr            |          |
|                           | b             | 0.340           | 0.786          | 0.908          | 0.733          | 1.633          | 306.080  |
| Factors                   | kyy           | kyz             | kzy            | kzz            |                |                |          |
|                           | 0.476         | 0.309           | 0.996          | 0.514          |                |                |          |

Figura 2.30 - Folha de dimensionamento corrigida do pilar do pórtico I pelo SAP2000 – Comb. ELU.Wy2(T-)

Tabela 2.11 - Rácios do dimensionamento do pilar do pórtico I

| Barra              | Secção  | Rácio Tabela de Cálculo | Rácio SAP2000 |
|--------------------|---------|-------------------------|---------------|
| Pilar do Pórtico I | IPE 330 | 0,641                   | 0,655         |

## 2.2.9 Madre dos Alçados

Considerou-se que as madres de alçado não encurvam lateralmente pois estão travadas parcialmente pelas chapas de fachada, sendo apenas necessário fazer uma análise de secção através da tabela em *Excel* desenvolvida. De um modo conservativo escolheu-se as

combinações envolventes que poderiam ser as mais desfavoráveis entre todos os elementos. Na Tabela 2.12 apresentam-se os esforços e os rácios finais obtidos.

Tabela 2.12 - Rácios das Madres de Fachada

| M2 [kNm] | M3 [kNm] | Rácio |
|----------|----------|-------|
| -1,0     | -14,0    | 0,87  |
| -1,3     | -8,9     | 0,54  |
| -1,6     | -5,0     | 0,41  |
| -2,77    | -2,1     | 0,57  |
| -0,9     | 7,6      | 0,38  |
| -1,19    | 5,0      | 0,33  |
| 4,96     | 1,86     | 1,00  |

### 2.2.10 Cantoneiras L50x5

As cantoneiras L50x5 que servem de travamento longitudinal admite-se que encurvam à compressão, funcionando apenas à tracção, sendo que o esforço de compressão é transferido para outra barra. A segurança fica verificada pela seguinte expressão:

$$|N_{Ed,min}| + N_{Ed,max} \leq N_{T,Rd} \quad (=) \quad |-53.9| + 48.5 = 102.4 \leq 112.8 \quad Eq. 2.1$$

### 2.2.11 Restantes elementos

Os restantes elementos foram dimensionados tendo em conta os mesmos critérios, realçando os seguintes critérios:

- Alguns troços das madres da cobertura apresentam rácios superiores à unidade, pelo que no projecto de execução deverão ser verificadas com especial atenção. Sugere-se a soldadura das chapas laterais de modo a fechar a secção de modo a evitar a substituição total por um perfil menos económico;
- Aceitam-se todos os perfis com rácios até 1.05;

No anexo V é apresentada a tabela do *SAP2000* com os rácios finais de todos os elementos.

## 2.3 Estado Limite de Utilização

A verificação dos elementos metálicos ao estado limite de deformação foi conferido através dos deslocamentos obtidos no *SAP2000*, com a excepção da viga de suporte à ponte rolante em que se recorreu ao *software FTool*. Na Tabela 2.13 apresenta-se os deslocamentos máximos obtidos e os máximos admissíveis dos vários elementos.

Tabela 2.13 - Verificação ao EL de deformação dos elementos metálicos

| Elemento                     | $\delta_{\max}$ EC3 | $\delta$ admissível [cm] | $\delta$ obtido [cm] |
|------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|
| Pilares compridos            | H/300               | 5,0                      | 3,8                  |
| Pilares curtos               | H/300               | 2,3                      | 1,4                  |
| Madres Cobertura             | L/200               | 3,4                      | 1,5                  |
| Madres Fachada               | L/200               | 3,4                      | 0,2                  |
| Viga Ponte Rolante – IPE 400 | L/500               | 1,37                     | 0,7                  |
| Viga Ponte Rolante – IPE 330 | L/500               | 1,26                     | 0,9                  |
| Viga Piso Metálico           | L/250               | 6,0                      | 4,9                  |
| Asnas                        | L/250               | 6,8                      | 0,8                  |

## 2.4 Ligações Metálicas

### 2.4.1 Ligações Soldadas

Foram dimensionadas 6 ligações tipo soldadas (5 somente a esforço axial e uma somente à flexão), que são as apresentadas na Tabela 2.14. Estas foram dimensionadas segundo o ábaco da Figura 2.31. Para uma melhor percepção do pormenor da ligação deverão ser consultadas as peças desenhadas do presente projecto.

Tabela 2.14 - Ligações Soldadas

| Elementos a ligar                             | $F_{w,Ed}$<br>kN | Geometria dos cordões |         |        | $F_{w,Ed} < F_{w,Rd}$ |
|---|------------------|-----------------------|---------|--------|-----------------------|
|   |                  | Tipo                  | a [mm]* | l [mm] |                       |
| Cordões interiores dos Pilares aos exteriores | 87               | de ângulo             | 5       | 90     | OK                    |
| Cordões interiores das Asnas aos exteriores   | 78               | de ângulo             | 3       | 130    | OK                    |
| Extremidades dos cordões exteriores das asnas | 61               | de ângulo             | 3       | 100    | OK                    |

|  |     |                           |   |     |    |
|--|-----|---------------------------|---|-----|----|
| L's dos Pórticos 3 e 5   | 100 | de ângulo                 | 3 | 180 | OK |
| Travamentos longitudinais  | 185 | de ângulo na alma         | 5 | 180 | OK |
| Barra horizontal do Pórtico H à cota 4.4m  | 233 | de ângulo e em cada banzo | 7 | 180 | OK |
| Nota: A espessura do cordão de soldadura deverá estar compreendida entre 3mm a 70 % da menor espessura dos elementos a ligar |     |                           |   |     |    |

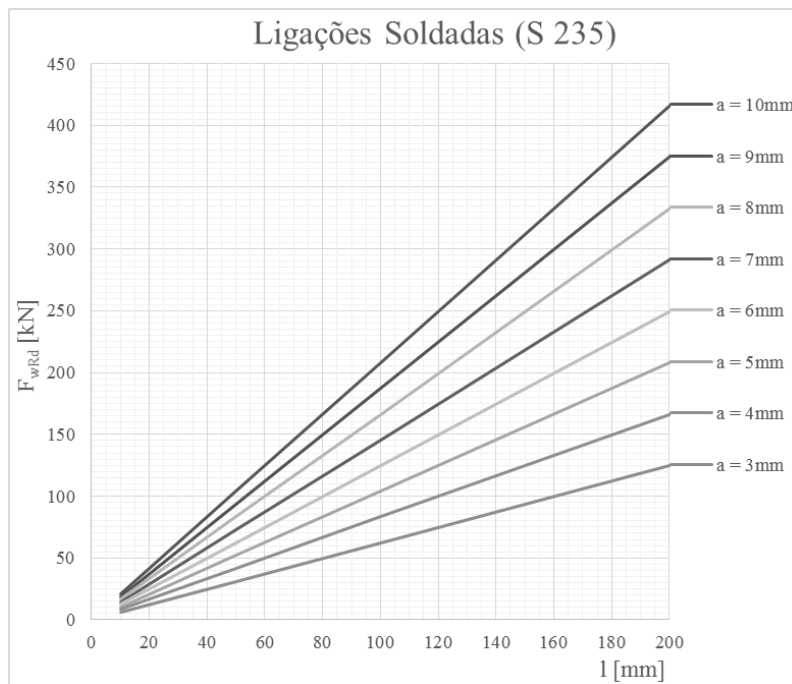


Figura 2.31 - Ábaco de dimensionamento de Ligações Soldadas

## 2.4.2 Ligações Aparafusadas

Foram dimensionadas 2 tipos de ligações aparafusadas através do *software Robot Structural Analysis Professional*. Admitiu-se um conjunto de esforços constituídos pela Envolvente máxima de todos os esforços, consideração esta que leva a um sobredimensionamento da secção. Para uma melhor pormenorização da geometria das ligações deverá ser consultada as peças desenhadas. No anexo VI encontra-se o relatório obtido no *software* com o dimensionamento detalhado da ligação.

**a) Encastramento na base dos pilares do Pórtico I**

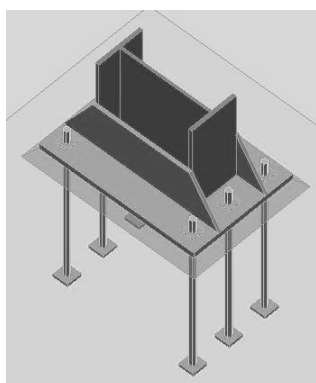


Figura 2.32 - Esquema 3D do encastramento dos pilares do Pórtico I

|  |        |        |                                   |          |
|--|--------|--------|-----------------------------------|----------|
| $N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)                        |        |        | 0.07 < 1.00                       | verified |
| $M_{j,Rd,y} =$   | 121.11 | [kN*m] | Connection resistance for bending |          |
| $M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0$ (6.23)                    |        |        | 0.73 < 1.00                       | verified |
| $M_{j,Rd,z} =$   | 35.25  | [kN*m] | Connection resistance for bending |          |
| $M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$ (6.23)                    |        |        | 0.20 < 1.00                       | verified |
| $M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} + M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$ |        |        | 0.93 < 1.00                       | verified |

Figura 2.33 - Verificação da segurança da ligação de encastramento dos pilares do Pórtico I

**b) Encastramento na base das colunas dos pilares compostos**

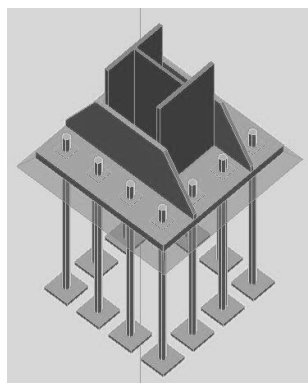


Figura 2.34 - Esquema 3D do encastramento dos montantes

|  |       |        |                                   |          |
|--|-------|--------|-----------------------------------|----------|
| $N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)                        |       |        | 0.24 < 1.00                       | verified |
| $M_{j,Rd,y} =$   | 36.12 | [kN*m] | Connection resistance for bending |          |
| $M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0$ (6.23)                    |       |        | 0.48 < 1.00                       | verified |
| $M_{j,Rd,z} =$   | 41.13 | [kN*m] | Connection resistance for bending |          |
| $M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$ (6.23)                    |       |        | 0.51 < 1.00                       | verified |
| $M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} + M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$ |       |        | 1.00 < 1.00                       | verified |

Figura 2.35 - Verificação da segurança da ligação de encastramento dos montantes

### 3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE BETÃO

Os elementos de betão armado foram dimensionados com diversas tabelas de cálculo desenvolvidas para o efeito e também através do *software GaLa Reinforcement*. Apresentam-se de seguida alguns exemplos de dimensionamento realizado e os respectivos relatórios do *software* no anexo VII. Para uma melhor percepção da disposição das armaduras deverão ser consultadas as peças desenhadas do presente projecto.

#### 3.1 Estado Limite Último

##### 3.1.1 Pilares

###### a) Armaduras Longitudinais

As armaduras de flexão dos pilares foram dimensionadas a partir do *software GaLa Reinforcement*, onde se obteve diversos ábacos de flexão composta desviada para esforços axiais constantes e posteriormente comparados com todos os esforços de todas as combinações de acções em todos os pilares (ver figuras seguintes). Todos os pilares têm a mesma secção e as mesmas armaduras ( $\varnothing 25//.10$  em todas as faces).

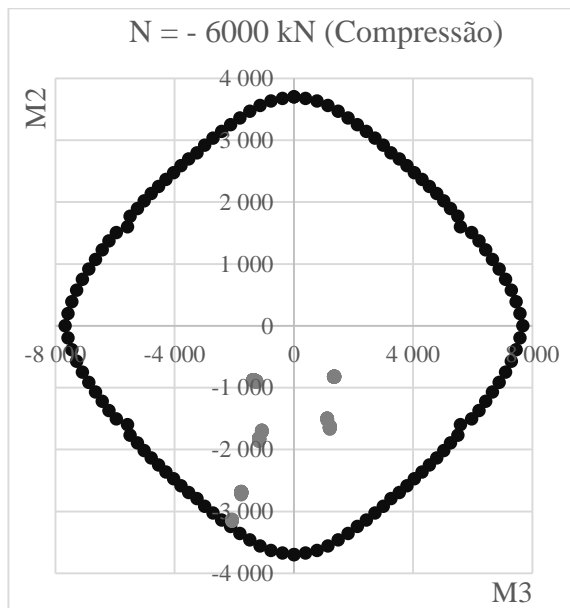


Figura 3.1 - Ábaco de flexão composta desviada dos pilares com  $N=-6000$  kN

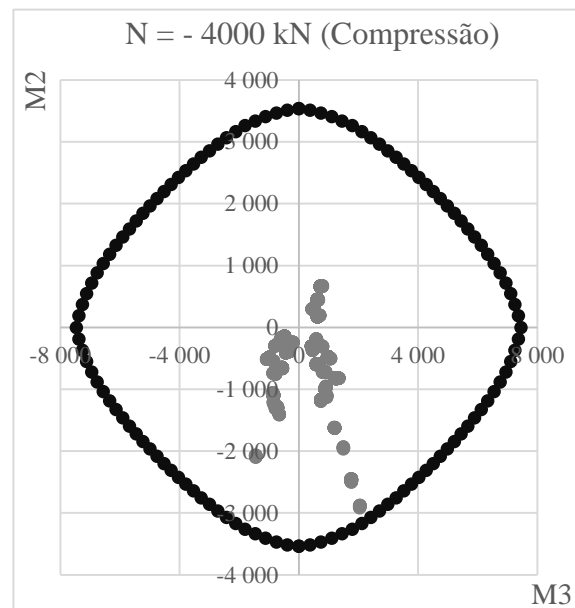


Figura 3.2 - Ábaco de flexão composta desviada dos pilares com  $N=-4000$  kN

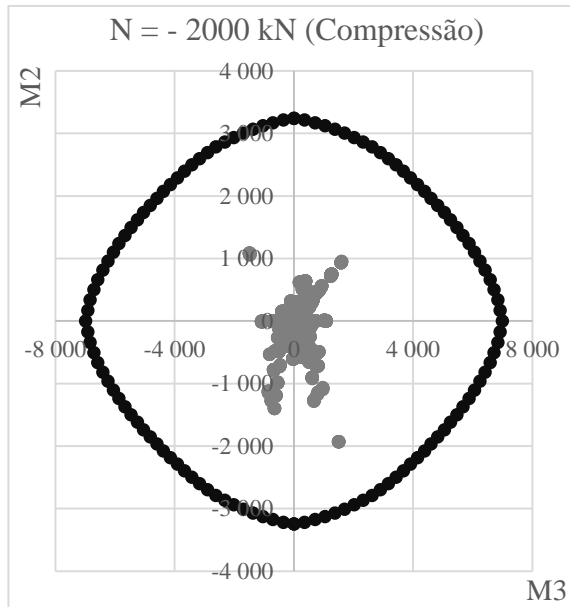


Figura 3.3 - Ábaco de flexão composta desviada dos pilares com  $N = -2000$  kN

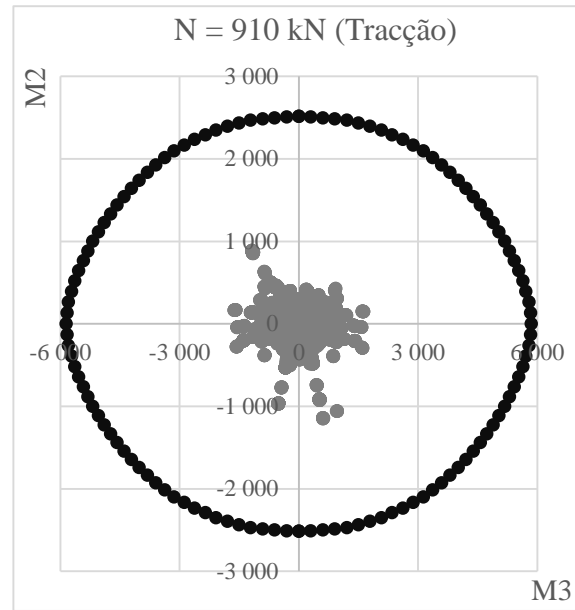


Figura 3.4 - Ábaco de flexão composta desviada dos pilares com  $N = 910$  kN

### b) Armaduras Transversais

O cálculo das armaduras transversais foi efectuado com recurso a uma folha Excel. Apresenta-se na Tabela 3.1 os valores parciais e a armadura final.

Tabela 3.1 - Armaduras transversais dos pilares

|                     | Eixo de menor inércia |            |                    | Eixo de maior inércia |            |                    |
|---------------------|-----------------------|------------|--------------------|-----------------------|------------|--------------------|
|                     | Esforço existente     | $V_{Ed} =$ | 1200               | kN                    | $V_{Ed} =$ | 900                |
| Armadura necessária | $A_{sw}/s_{max} =$    | 19,157     | cm <sup>2</sup> /m | $A_{sw}/s_{max} =$    | 38,314     | cm <sup>2</sup> /m |
|                     | nº ramos:             | 4          |                    | nº ramos:             | 8          |                    |
| Armadura adoptada   | Estribos: Ø10//0.15   |            |                    |                       |            |                    |
|                     | $A_{sw}/s =$          | 20,94      | cm <sup>2</sup> /m | $A_{sw}/s =$          | 41,89      | cm <sup>2</sup> /m |

### 3.1.2 Paredes das Baias

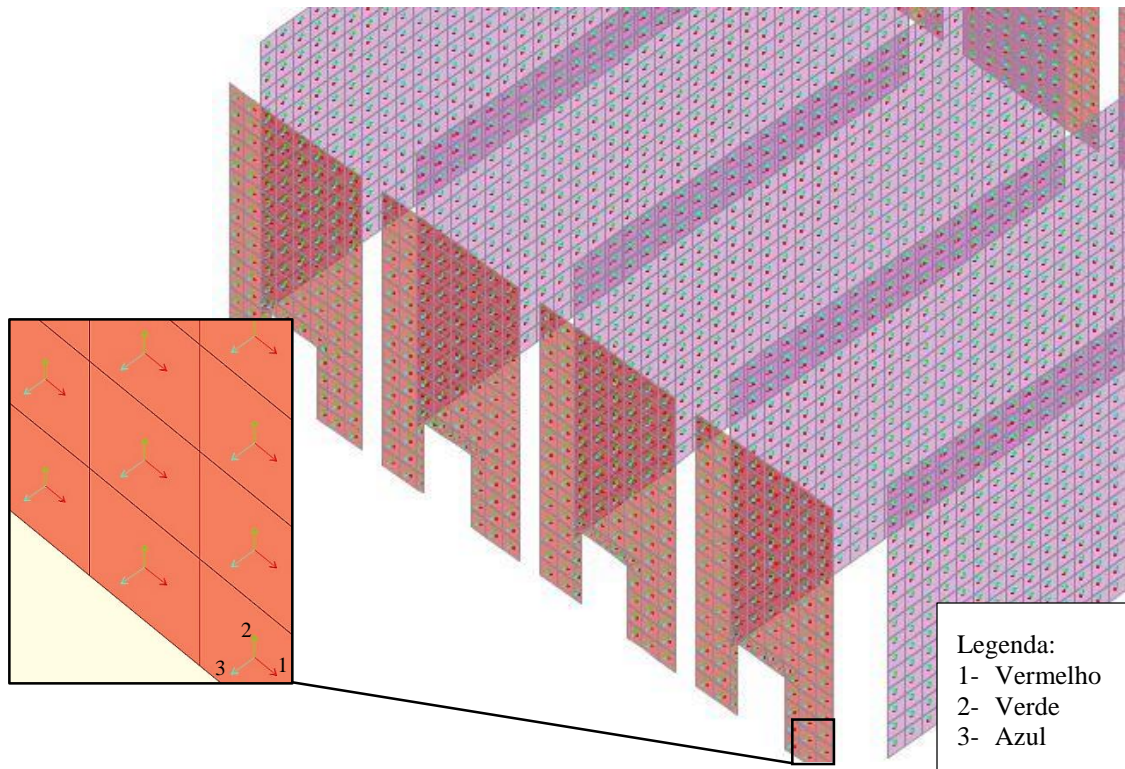


Figura 3.5 - Sistema de eixos nas paredes das baias

A espessura adoptada para as paredes foi de 40 cm e apresenta-se nas seguintes imagens os esforços das envolventes máximas e mínimas das várias combinações de acções, obtidos no software SAP2000.

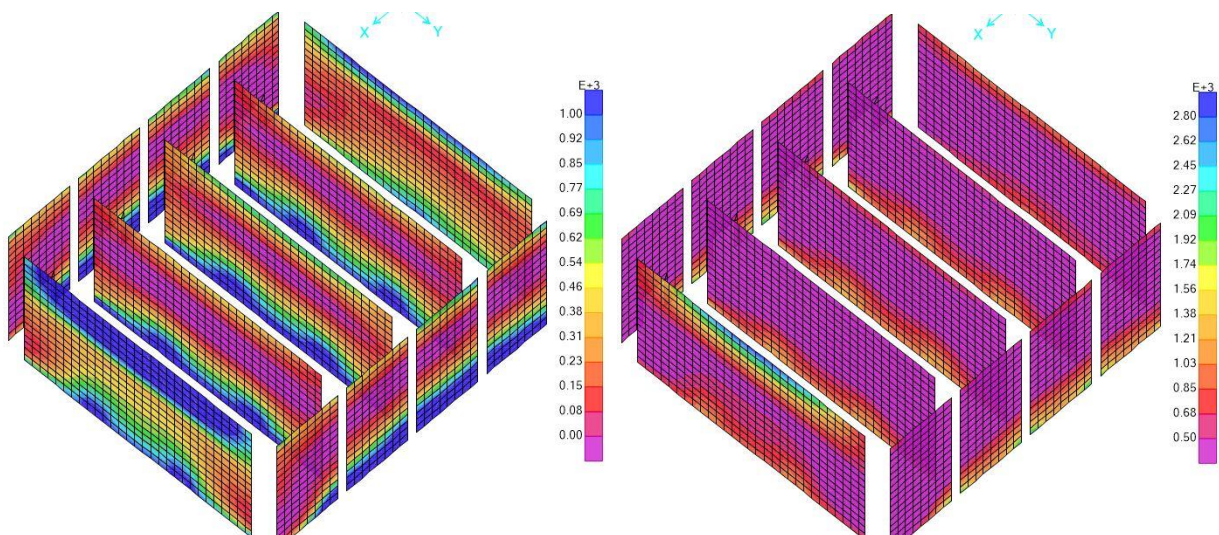


Figura 3.6 - F11 max nas paredes (de 0 a 1000 kN/m) Figura 3.7 - F11 max nas paredes (de 1000 a 2800 kN/m)

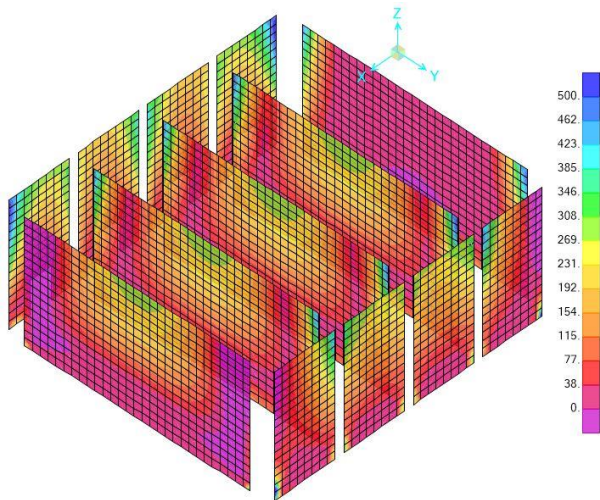


Figura 3.8 - M11 max nas paredes (de 0 a 500 kNm/m)

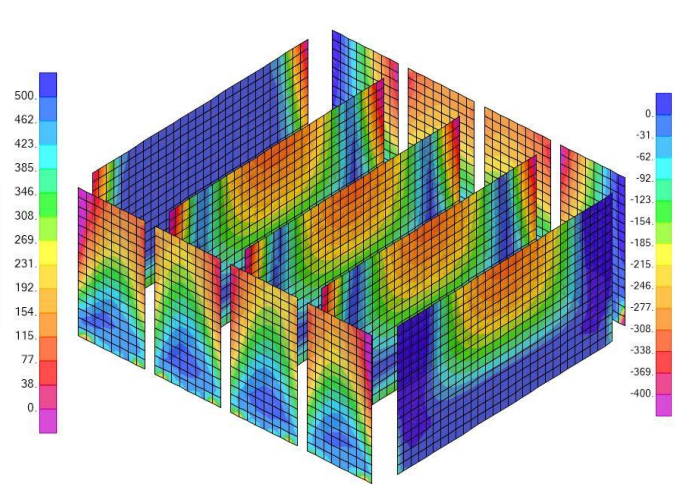


Figura 3.9 - M11 min nas paredes (de -400 a 0 kNm/m)

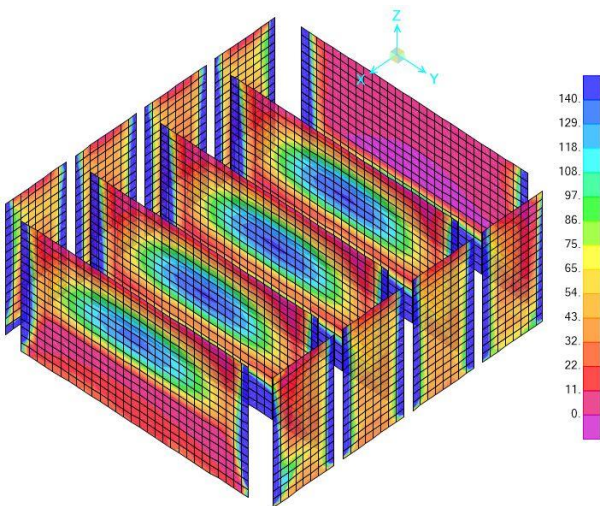


Figura 3.10 - M22 max nas paredes (de 0 a 140 kNm/m)

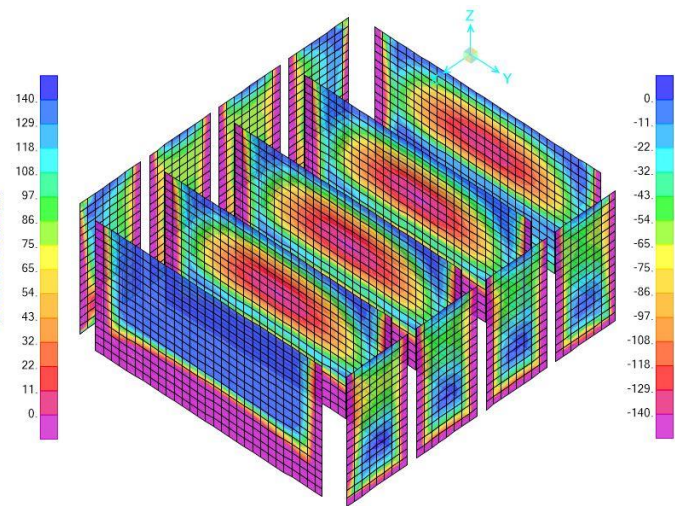


Figura 3.11 - M22 min nas paredes (de -140 a 0 kNm/m)

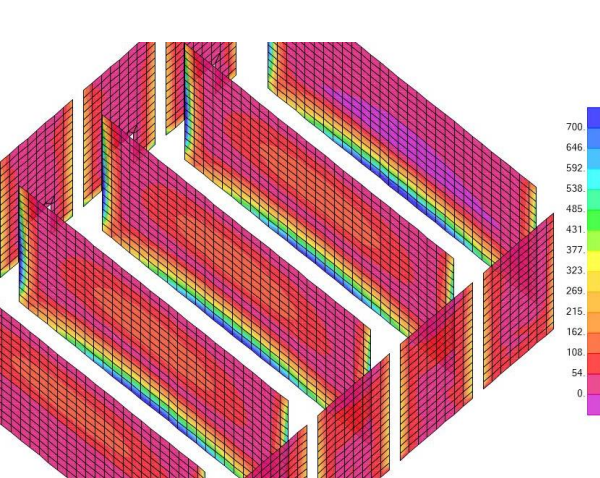


Figura 3.12 - M22 max nas paredes (de 0 a 700 kNm/m)

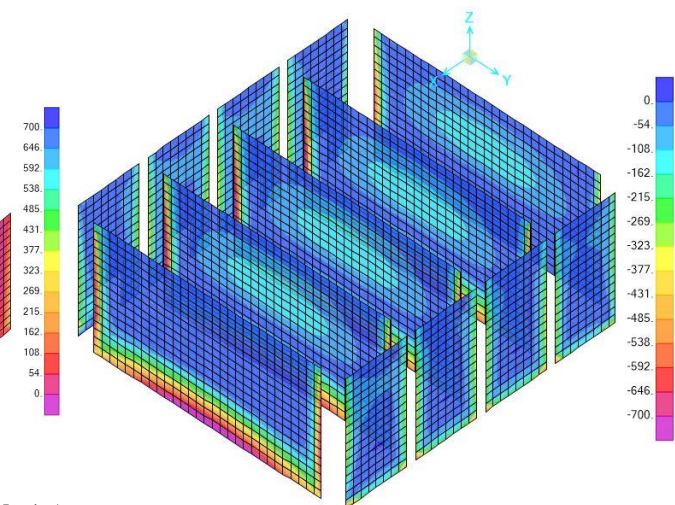


Figura 3.13 - M22 min nas paredes (de -700 a 0 kNm/m)

As armaduras obtidas encontram-se pormenorizadas nas peças desenhadas. Como demonstração do método de cálculo aos Estados Limites Últimos e de Fendilhação, apresenta-se as seguintes 3 secções exemplo:

- A. Armadura horizontal acima da cota 5,0m ( $\text{Ø}20//.10$ );
- B. Armadura horizontal abaixo da cota 5,0m ( $\text{Ø}16//.10$ );
- C. Armadura vertical de encastramento nas paredes compridas ( $\text{Ø}25//.10$ ).

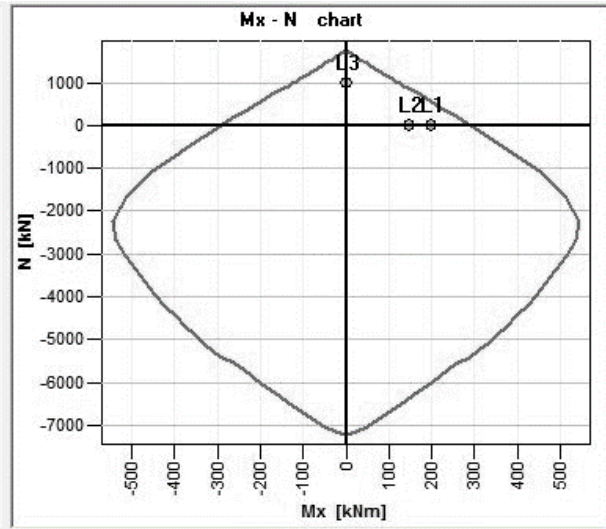
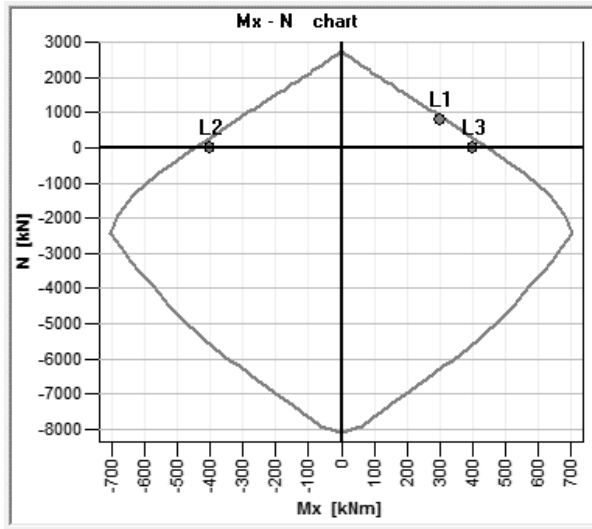


Figura 3.14 - Ábaco de flexão composta da secção A      Figura 3.15 - Ábaco de flexão composta da secção B

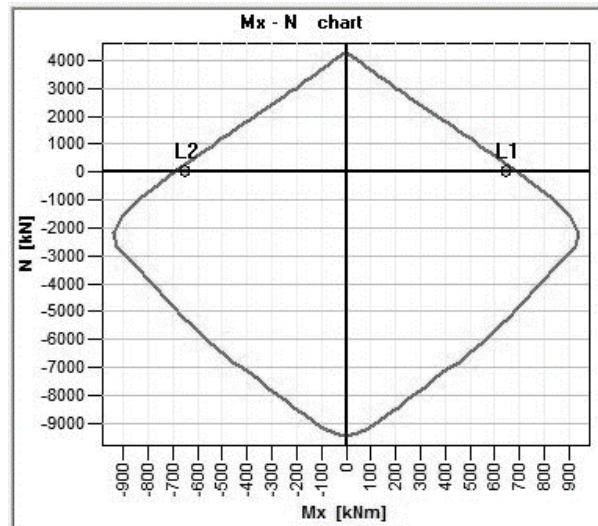


Figura 3.16 - Ábaco de flexão composta da secção C

### 3.1.3 Paredes dos Fossos e Muros

As paredes do fosso (com uma espessura de 60 cm) e os muros (espessura de 40cm) foram dimensionadas do mesmo modo que as paredes das baias. As armaduras de todas as faces podem ser consultadas nas peças desenhadas.

### 3.1.4 Laje de ensoleiramento

#### a) Armaduras Longitudinais

A laje de fundo está assente sobre as estacas, funcionando assim como maciço de encabeçamento, foi portanto adoptado uma solução de uma laje de ensoleiramento maciça com 1,3m de espessura. Na Figura 3.17 apresentam-se os eixos locais e, nas figuras seguintes, os esforços máximos e mínimos da envolvente de combinações.

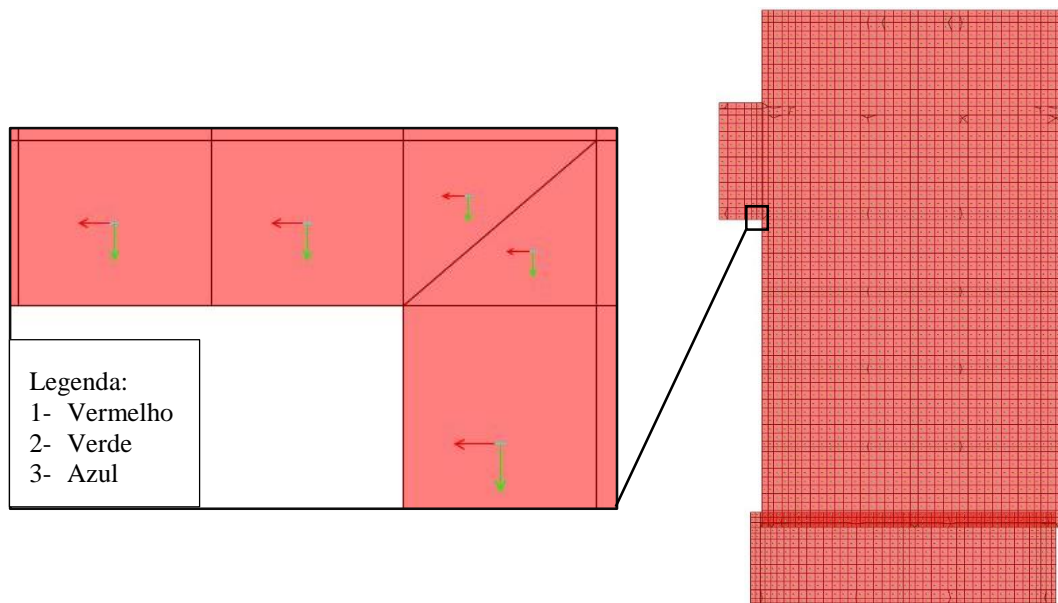


Figura 3.17 - Eixos locais da laje de ensoleiramento

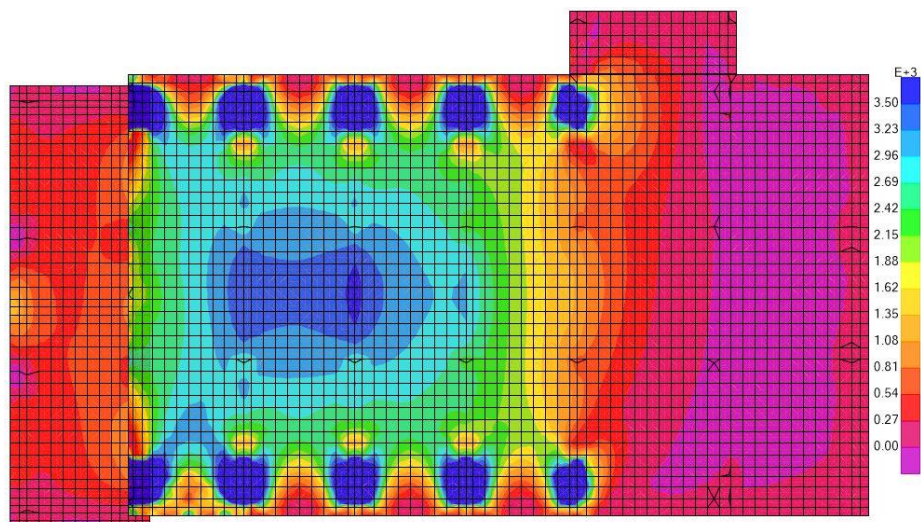


Figura 3.18 – F11 max no ensoleiramento (de 0 a 3500 kN/m)

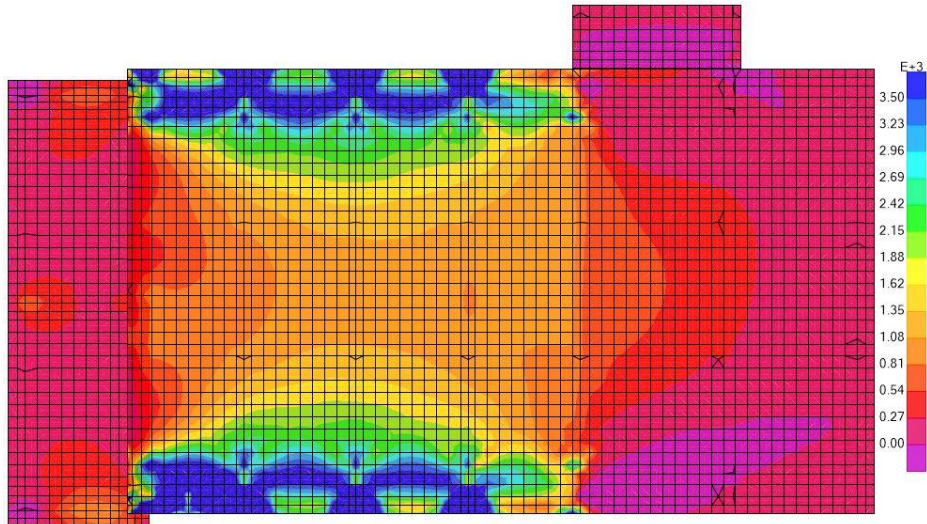


Figura 3.19 – F22 max no ensoleiramento (de 0 a 3500 kN/m)

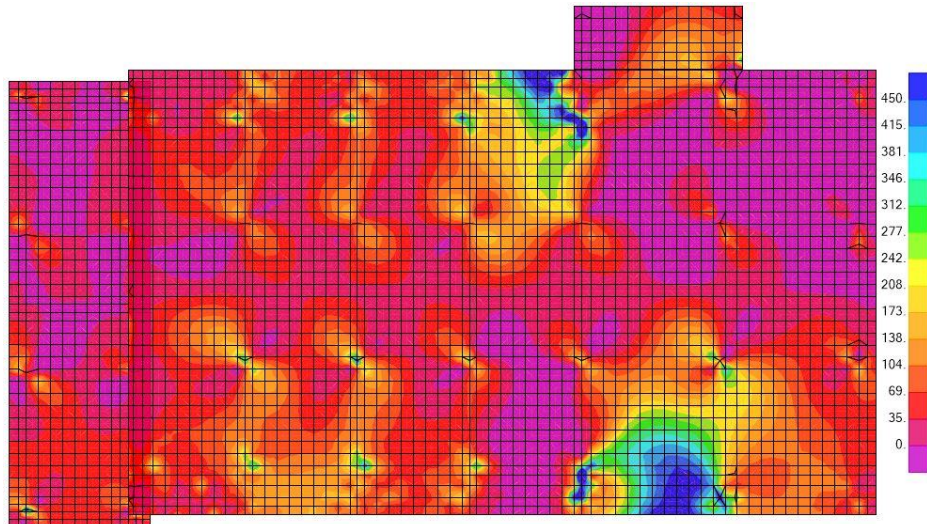


Figura 3.20 – M12 max no ensoleiramento (de 0 a 450 kNm/m)

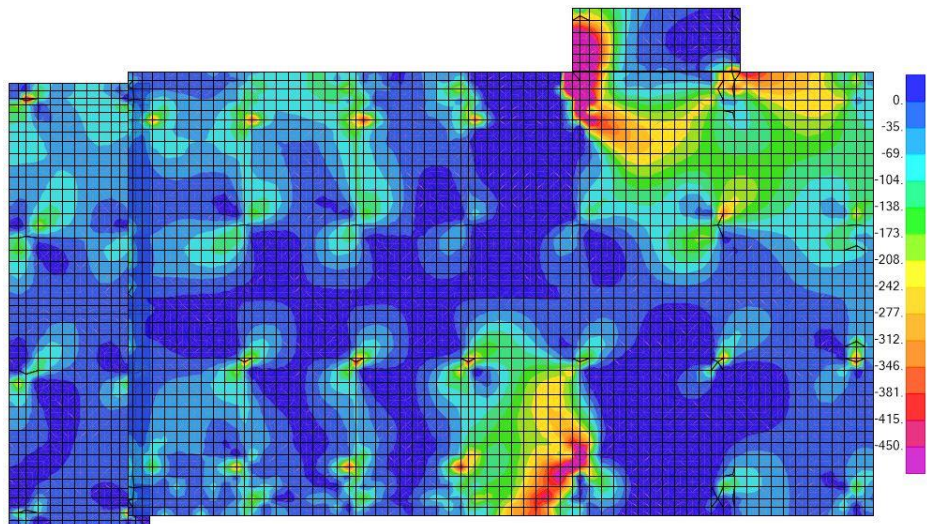


Figura 3.21 – M12 min no ensoleiramento (de -450 a 0 kNm/m)

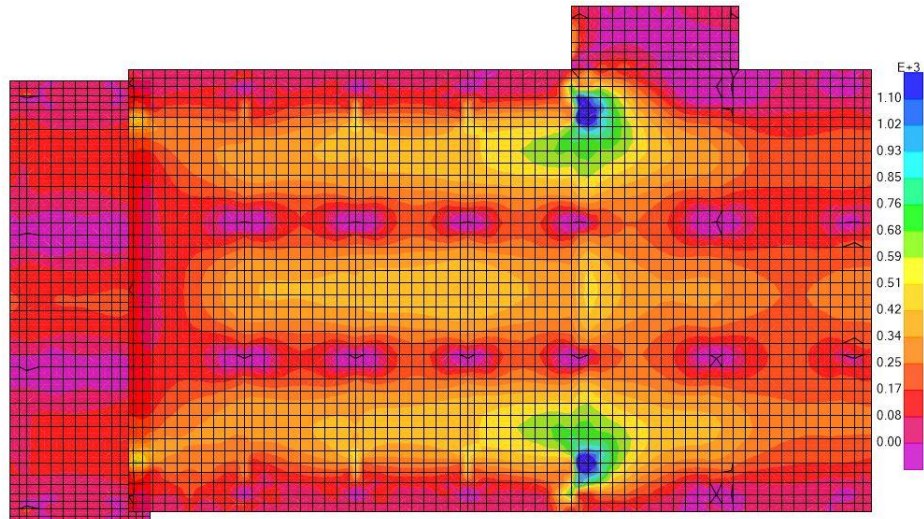


Figura 3.22 - M11 max no ensoleiramento (de 0 a 1100 kNm/m)

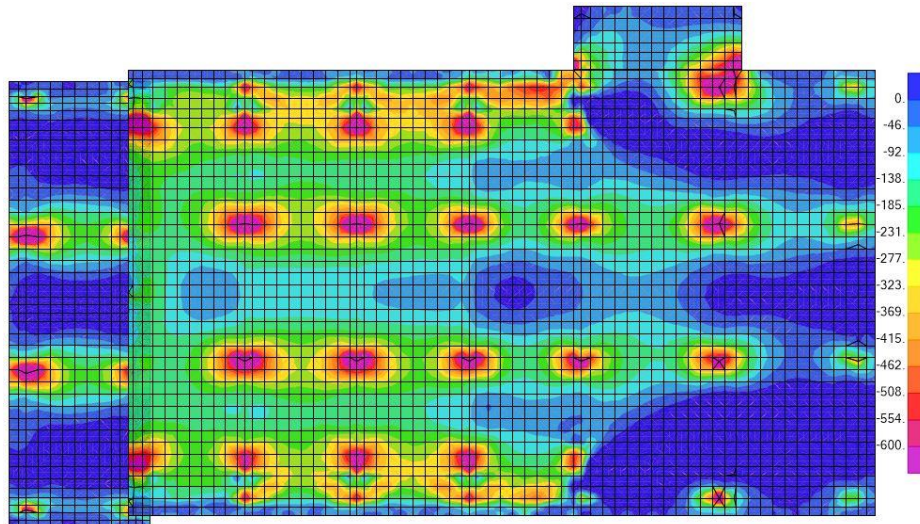


Figura 3.23 - M11 min no ensoleiramento (de -600 a 0 kNm/m)

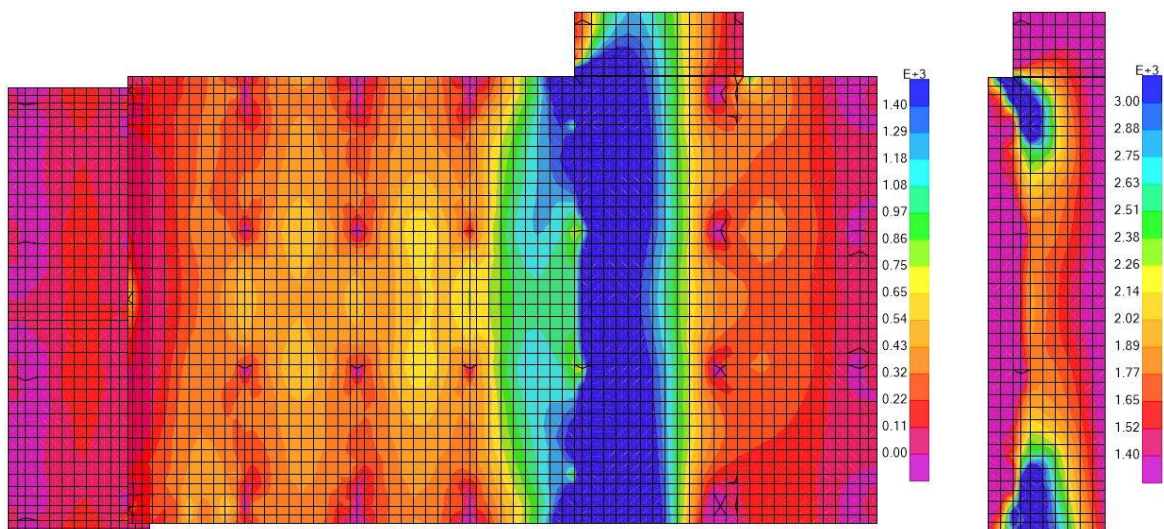


Figura 3.24 - M22 max no ensoleiramento (de 0 a 1400 kNm/m e de 1400 a 3000 kNm/m)

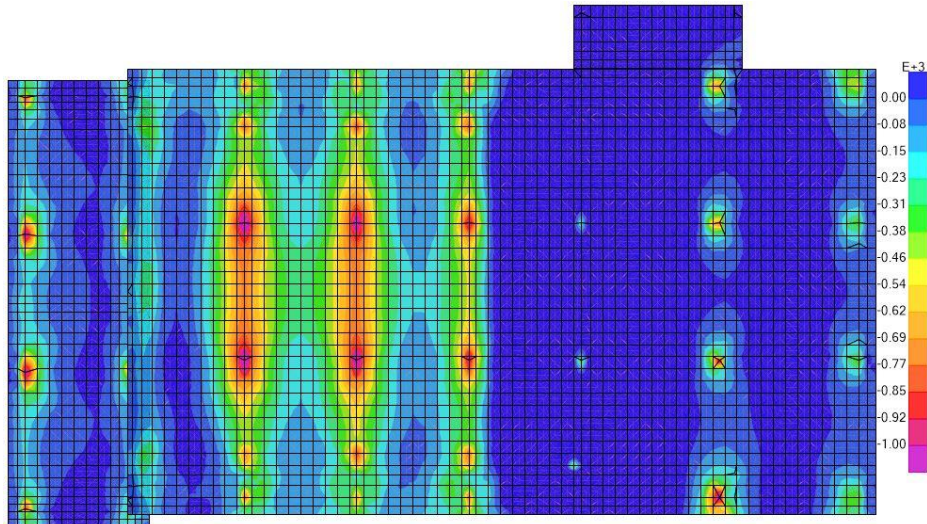


Figura 3.25 –  $M_{22} \min$  no ensoleiramento (de -1000 a 0  $kNm/m$ )

À semelhança das Paredes das Baias foram escolhidas 4 zonas para as quais se apresenta os ábacos de flexão composta obtidos no *GaLa Reinforcement* com as armaduras admitidas. As zonas escolhidas são as apresentadas na Figura 3.26.

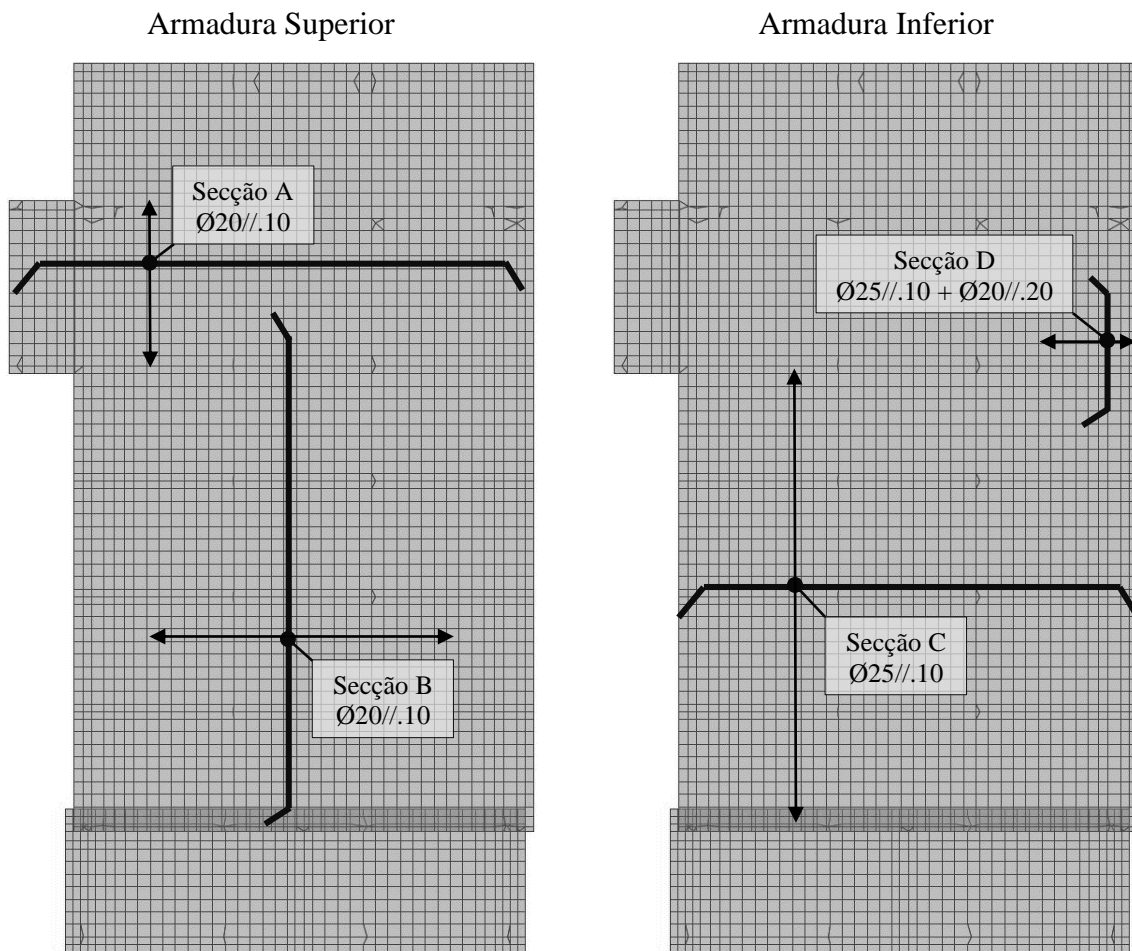


Figura 3.26 - Esquema das armaduras de exemplo no ensoleiramento

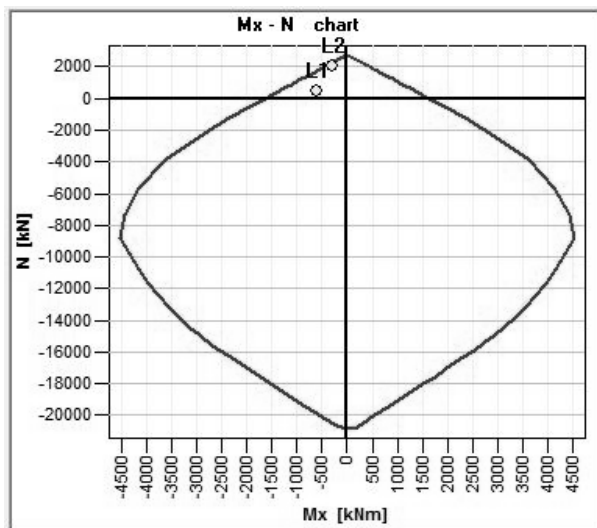


Figura 3.27 - Ábaco de flexão composta da secção A

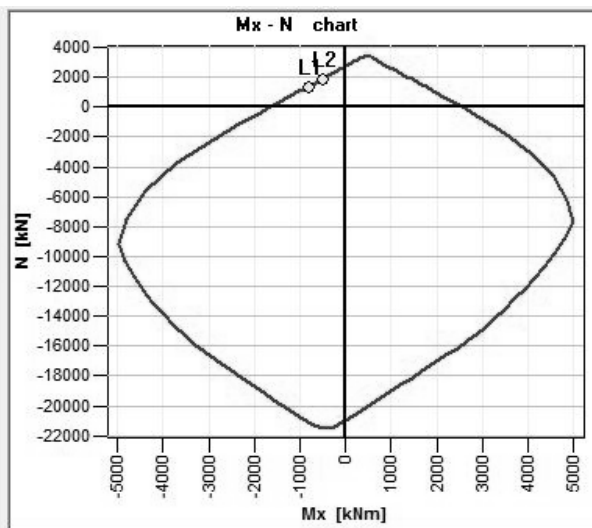


Figura 3.28 - Ábaco de flexão composta da secção B

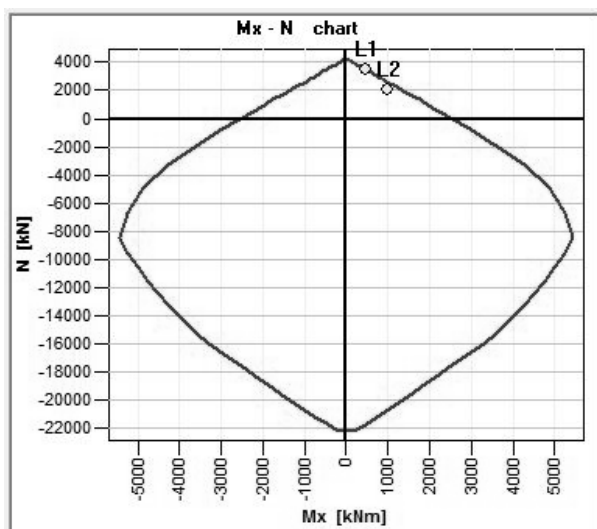


Figura 3.29 - Ábaco de flexão composta da secção C

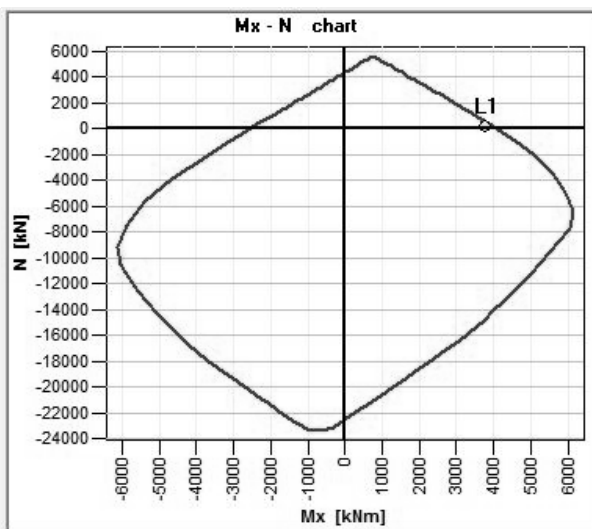


Figura 3.30 - Ábaco de flexão composta da secção D

**b) Armaduras Transversais**

No sentido do eixo 2, a laje de ensoleiramento está sujeita a esforços de corte consideráveis (ver Figura 3.31). Foi, deste modo, necessário calcular armaduras resistentes a estes esforços.

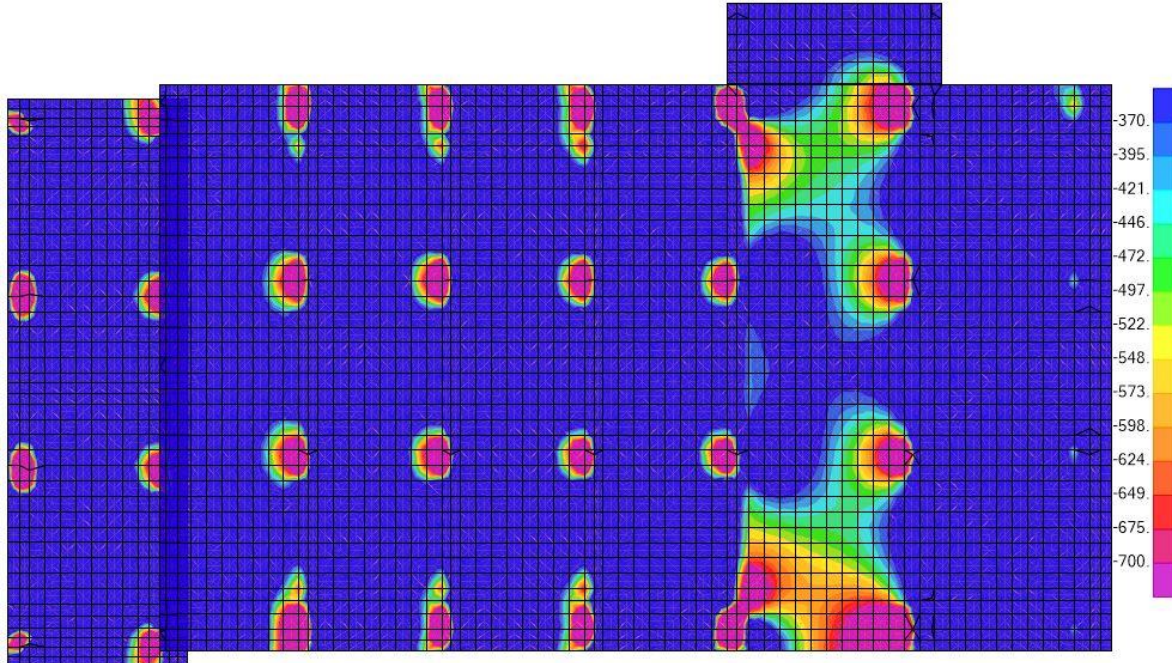


Figura 3.31 – V23 min no ensoleiramento (de -700 a -370 kN/m)

O cálculo das armaduras transversais foi efectuado com recurso a uma folha *Excel* desenvolvida para o efeito (ver Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Armadura de esforços transverso do ensoleiramento

| $V_{Rd,c}$     |        |      | Armadura necessária |      |                    | Armadura escolhida |             |                    |
|----------------|--------|------|---------------------|------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|
| h=             | 1,3    | m    | $V_{Ed(SAP)}=$      | 750  | kN/m               | Estribos:          | 3Ø12/m//0.4 |                    |
| d=             | 1,25   | m    | $A_{sw/s} \max=$    | 7,63 | cm <sup>2</sup> /m | $A_{sw/s}=$        | 8,48        | cm <sup>2</sup> /m |
| bw=            | 1      | m    | ramos/m:            | 3    | faixa de 1m        |                    |             |                    |
| $C_{Rd,c}=$    | 0,12   |      |                     |      |                    |                    |             |                    |
| k=             | 1,40   |      |                     |      |                    |                    |             |                    |
| $\rho_l=$      | 0,0016 |      |                     |      |                    |                    |             |                    |
| k1=            | 0,1    |      |                     |      |                    |                    |             |                    |
| $\sigma_{cp}=$ | 0      | KPa  |                     |      |                    |                    |             |                    |
| $v_{min}=$     | 290    | KPa  |                     |      |                    |                    |             |                    |
| $V_{Rd,c}=$    | 377    | kN/m |                     |      |                    |                    |             |                    |

### c) Armaduras de Punçoamento

Os esforços de punçoamento provocados pelas estacas foram verificados através de uma folha em Excel desenvolvida para tal, em que foram verificadas todas as combinações de acções. Na Tabela 3.3 apresenta-se os resultados, onde se verifica a dispensa de armaduras ao punçoamento.

Tabela 3.3 - Verificações da resistência do betão ao punçoamento

| 1ª Verificação        |      |     | 2ª Verificação        |        |                    |
|-----------------------|------|-----|-----------------------|--------|--------------------|
| $V_{Rd\ max} =$       | 4509 | KPa | $C_{Rd,c} =$          | 0,12   |                    |
| $u_0 =$               | 3,14 | m   | $k =$                 | 1,40   |                    |
| $V_{Ed\ max} (u_0) =$ | 1635 | KPa | $A_{sl,1} =$          | 20,11  | cm <sup>2</sup> /m |
|                       |      |     | $A_{sl,2} =$          | 20,11  | cm <sup>2</sup> /m |
|                       |      |     | $\rho_l\ min =$       | 0,0016 |                    |
|                       |      |     | $k_1 =$               | 0,1    |                    |
|                       |      |     | $\sigma_{cp} =$       | 0      | KPa                |
|                       |      |     | $v_{min} =$           | 290    | KPa                |
|                       |      |     | $V_{Rd,c} =$          | 290    | KPa                |
|                       |      |     | $u_1 =$               | 18,85  | m                  |
|                       |      |     | $V_{Ed\ max} (u_1) =$ | 273    | KPa                |

### 3.1.5 Estacas

#### a) Armaduras Longitudinais

Optou-se por dividir as armaduras longitudinais das estacas em 2 zonas (acima e abaixo de 5m profundidade), de modo obter-se uma solução mais económica. Ambas as zonas foram dimensionadas comparando o ábaco obtido no *GaLa Reinforcement* com os esforços do *SAP2000* em todas secções e para todas as combinações (ver Figura 3.32 e Figura 3.33). Os momentos segundo os dois eixos foram compostos num único através da seguinte expressão:

$$M = \sqrt{M_{22}^2 + M_{33}^2} \quad Eq. 3.1$$

Nota: No caso das estacas sob os fossos de recepção, como o topo destas se encontra a 5m de profundidade a divisão das duas zonas de armaduras é a 10m.

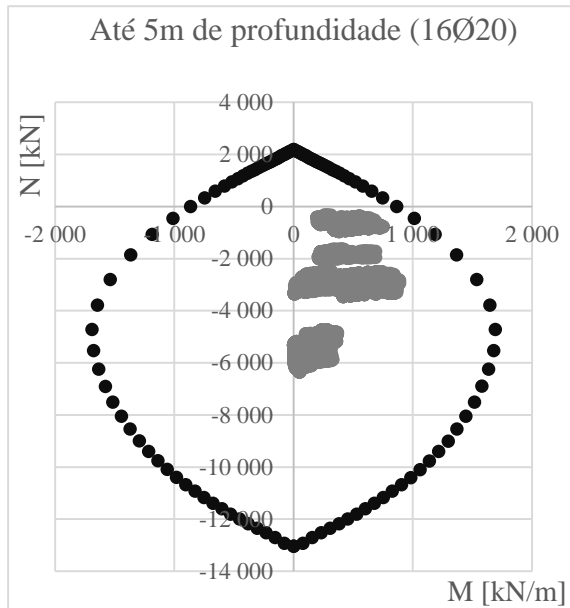


Figura 3.32 - Ábaco de Flexão composta das estacas (até 5m)

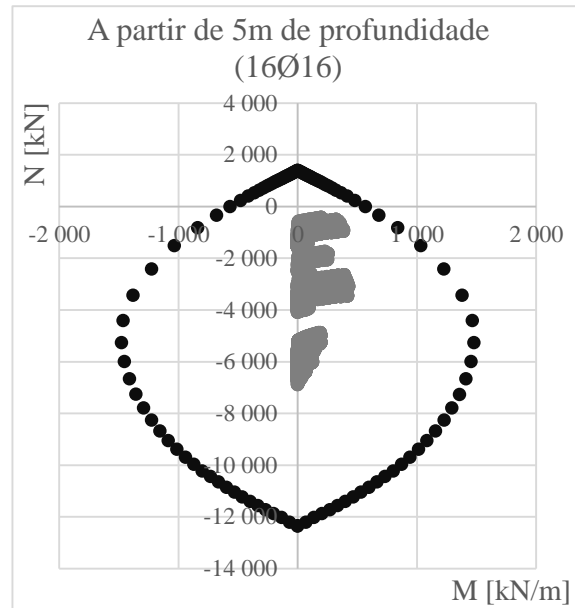


Figura 3.33 - Ábaco de Flexão composta das estacas (a partir de 5m)

### b) Cintas Helicoidais

À semelhança das armaduras longitudinais, criou-se duas zonas de armaduras (as mesmas que as armaduras longitudinais). O cálculo das armaduras foi efectuado em *Excel*, para todas as secções, combinando os esforços de corte segundo os dois eixos num único esforço através Eq. 3.2. Apresenta-se os resultados na Tabela 3.4.

$$V = \sqrt{V_{22}^2 + V_{33}^2} \tag{Eq. 3.2}$$

Tabela 3.4 - Cintas Helicoidais das Estacas

|                             |                                 | Até 5m de profundidade | A partir de 5m de profundidade |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| <b>Armaduras de cálculo</b> | Asw/s max [cm <sup>2</sup> /m]= | 3,957                  | 0,038                          |
|                             | Nº de ramos                     | 2                      | 2                              |
| <b>Armadura adoptada</b>    | Cintas:                         | Ø8//0.20               | Ø8//0.3                        |
|                             | Asw/s [cm <sup>2</sup> /m]=     | 5,027                  | 3,35                           |

### c) ELU - GEO

Foi verificado o estado limite de rotura do terreno através de uma folha de cálculo desenvolvida em *Excel*. Na Tabela 3.5 encontram-se os dados iniciais para os diferentes extractos e na Tabela 3.6 os resultados para as duas combinações da abordagem de cálculo 1. Poderá também ser consultado o relatório da folha de cálculo no anexo VIII.

Tabela 3.5 - Dados dos diferentes extractos na segurança ao ELU-GEO

| <b>Estrato</b>    | <b>espessura</b><br>[m] | <b><math>\gamma_k</math></b><br>[kN/m <sup>3</sup> ] | <b><math>\Phi_k</math></b><br>[°] | <b><math>c_u, k</math></b><br>[Kpa] | <b>Dc/B=</b> | <b><math>\alpha</math></b> | <b>Nc</b> | <b>Nq</b> |
|-------------------|-------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------|----------------------------|-----------|-----------|
| Aterro arenoso    | 2                       | 15,6   | 30                                | -                                   | 7,5          | 1                          | -         | -         |
| Lodos             | 19,5                    | 17,4   | 0                                 | 5                                   | -            | 1                          | -         | -         |
| Argila esverdeada | 3                       | 20,7   | 30                                | 100                                 | 8            | 0,5                        | -         | -         |
| Argila siltosa    | 4,5                     | 20,7   | 38,3                              | 400                                 | 17           | 0,25                       | 9         | 110       |

Tabela 3.6 - Segurança ao ELU-GEO

|                     | <b><math>R_{s,k}</math></b><br>[kN] | <b><math>R_{b,k}</math></b><br>[kN] | <b><math>R_{c,d}</math></b><br>[kN] | <b><math>F_{c,d}</math></b><br>[kN] | <b><math>R_{c,d} \geq F_{c,d}</math></b> |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>Combinação 1</b> | 3270                                | 33238                               | 36508                               | 6594                                | OK                                       |
| <b>Combinação 2</b> | 3270                                | 33238                               | 47460                               | 5404                                | OK                                       |

## 3.2 Estados Limites de Utilização

### 3.2.1 Estado Limite de Fendilhação

Os estados limites de fendilhação dos vários elementos foi verificado através do *software GaLa Reinforcement*, em que a largura das fendas ( $w_k$ ) não deverá ultrapassar 0,3 mm em qualquer secção. Apresenta-se nas seguintes figuras o controlo feito algumas das secções apresentadas em exemplo ao estado limite último.

| Load | N [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Load | Bar | es [o/oo] | ec [o/oo] | S <sub>rm</sub> [mm] | W <sub>m</sub> [mm] | W <sub>k</sub> [mm] | W <sub>s</sub> [mm] |
|------|--------|----------|----------|------|-----|-----------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| L2   | -4268  | -1398    | -2121    | L1   | 39  | 1.32      | -1.22     | 102.533              | 0.13584             | 0.23092             | 0.25978             |
| L3   | 579    | -371     | 108      | L2   | 39  | 1.33      | -1.23     | 102.949              | 0.13691             | 0.23274             | 0.26191             |
| L4   | 566    | -527     | 141      | L3   |     |           |           |                      |                     |                     | No cracks           |
| L5   | 511    | -585     | 131      | L4   | 1   | 0.26      | -0.16     | 103.227              | 0.02687             | 0.04568             | 0.04839             |
| L6   | 521    | 547      | 121      | L5   | 1   | 0.27      | -0.17     | 103.143              | 0.02781             | 0.04728             | 0.04999             |
|      |        |          |          | L6   |     |           |           |                      |                     |                     | No cracks           |

Figura 3.34 - Estado Limite de Fendilhação nos Pilares

| Load | N [kN] | Mx [kNm] | Load | Bar | es [o/oo] | ec [o/oo] | S <sub>rm</sub> [mm] | W <sub>m</sub> [mm] | W <sub>k</sub> [mm] | W <sub>s</sub> [mm] |
|------|--------|----------|------|-----|-----------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| L1   | 500    | 200      | L1   | 2   | 1.29      | -0.34     | 113.654              | 0.14674             | 0.24945             | 0.28395             |

Figura 3.35 - Estado Limite de Fendilhação nas Baias - Secção A

| Load | N [kN] | Mx [kNm] | Load | Bar | es [o/oo] | ec [o/oo] | S <sub>rm</sub> [mm] | W <sub>m</sub> [mm] | W <sub>k</sub> [mm] | W <sub>s</sub> [mm] |
|------|--------|----------|------|-----|-----------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| L1   | 0      | 500      | L1   | 2   | 1.58      | -0.82     | 100.927              | 0.15901             | 0.27032             | 0.31581             |

Figura 3.36 - Estado Limite de Fendilhação nas Baias - Secção C

| Load | N [kN] | Mx [kNm] | Load | Bar | es [o/oo] | ec [o/oo] | S <sub>rm</sub> [mm] | W <sub>m</sub> [mm] | W <sub>k</sub> [mm] | W <sub>s</sub> [mm] |
|------|--------|----------|------|-----|-----------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| L1   | 900    | -550     | L1   |     |           |           |                      |                     |                     | No cracks           |
| L2   | 1250   | -350     | L2   |     |           |           |                      |                     |                     | No cracks           |

Figura 3.37 - Estado Limite de Fendilhação no Ensoleiramento - Secção B

| Load | N [kN] | Mx [kNm] | Load | Bar | es [o/oo] | ec [o/oo] | S <sub>rm</sub> [mm] | W <sub>m</sub> [mm] | W <sub>k</sub> [mm] | W <sub>s</sub> [mm] |
|------|--------|----------|------|-----|-----------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| L1   | 150    | 2200     | L1   | 2   | 1.44      | -0.46     | 117.515              | 0.16947             | 0.28810             | 0.30942             |

Figura 3.38 - Estado Limite de Fendilhação no Ensoleiramento Secção D

| Load | N [kN] | Mx [kNm] | Load | Bar | es [o/oo] | ec [o/oo] | S <sub>rm</sub> [mm] | W <sub>m</sub> [mm] | W <sub>k</sub> [mm] | W <sub>s</sub> [mm] |
|------|--------|----------|------|-----|-----------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| L1   | -1950  | 600      | L1   | 5   | 0.23      | -0.44     | 169.598              | 0.03930             | 0.06681             | 0.07513             |
| L2   | -500   | 500      | L2   | 5   | 0.95      | -0.51     | 169.598              | 0.16154             | 0.27461             | 0.29541             |

Figura 3.39 - Estado Limite de Fendilhação nas Estacas (até 5m de profundidade)

Em que:

- es – extensão média dos varões;
- ec – extensão do betão;
- S<sub>rm</sub> – espaçamento médio entre fendas;
- W<sub>m</sub> – espessura média das aberturas ao eixo dos varões;
- W<sub>k</sub> – espessura de cálculo das aberturas ao eixo dos varões;
- W<sub>s</sub> – espessura de cálculo das aberturas à face da secção.

### 3.2.2 Estado Limite de Deformação

A verificação dos elementos de betão armado ao estado limite de deformação foi conferido através dos deslocamentos obtidos no *SAP2000*. Na Tabela 3.7 apresenta-se os deslocamentos máximos obtidos e os máximos admissíveis dos vários elementos.

*Tabela 3.7 - Verificação ao EL de deformação dos elementos de betão armado*

| <b>Elemento</b>        | <b><math>\delta_{\max}</math> EC2</b> | <b><math>\delta</math> admissível [cm]</b> | <b><math>\delta</math> obtido [cm]</b> |
|------------------------|---------------------------------------|--|--|
| Laje de ensoleiramento | L/250                                 | 2,3  | 1,5                                    |
| Paredes das baias      | L/250                                 | 3,2  | 2,4                                    |