



[illegible]

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 2/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

ÍNDICE

ITEM	DESCRIÇÃO	PÁGINA
1.	OBJETIVO.....	3
2.	NORMAS DE REFERÊNCIA.....	3
3.	CARGAS ADOTADAS.....	3
4.	MATERIAIS E CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL.....	3
5.	MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS VIGAS PRÉ-MOLDADAS	4
5.1	VIGAS DE 43,70M.....	4
5.2	VIGAS DE 38,7M.....	65
5.3	VIGAS DE 31,70M.....	125
5.4	VIGAS DE 21,70M.....	185
5.5	VIGAS DE 30,30M (VIGA EXTERNA À CURVA DO VÃO ENTRE EIXOS 02A E 03A – RAMO 2000).....	240
5.6	VIGAS DE 27,40M (VIGA INTERNA À CURVA DO VÃO ENTRE EIXOS 02A E 03A – RAMO 2000).....	301
5.7	VIGAS DE 20,40M (VIGA EXTERNA À CURVA DO VÃO ENTRE EIXOS 03A E 04A – RAMO 2000).....	362
5.8	VIGAS DE 17,32M (VIGA INTERNA À CURVA DO VÃO ENTRE EIXOS 03A E 04A – RAMO 2000).....	406
6.	MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS LAJES	463
6.1	LAJES PARA OS VÃOS COM INTEREIXO DE VIGAS DE 2,75M.....	463
6.2	LAJES PARA OS VÃOS COM INTEREIXO DE VIGAS DE 2,20M.....	470
6.3	BALANÇOS DE LAJE DE 1,0M (TRECHO EM TANGENTE)	477
6.4	BALANÇOS DE LAJE DE 2,05M (TRECHO CURVO)	486
7.	MEMÓRIA DE CÁLCULO DOS APARELHOS DE APOIO.....	495

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 3/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

1. OBJETIVO

O presente relatório objetiva compilar e apresentar as memórias de cálculo estrutural da superestrutura (vigas e lajes) do trecho pré-moldado.

2. NORMAS DE REFERÊNCIA

- NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto;
- NBR 7187:2003 – Projeto de pontes em concreto armado e protendido;
- NBR 7188:2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;
- NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas;

3. CARGAS ADOTADAS

Peso específico do concreto armado/protendido: 2,5tf/m³

Peso específico da pavimentação asfáltica: 2,4tf/m³

Peso específico do solo de aterro / brita: 1,8tf/m³

Carga móvel rodoviária: Classe 45


4. MATERIAIS E CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Concreto para vigas, lajes e transversinas: $f_{ck} \geq 40\text{MPa}$

Aço passivo – CA 50: $f_{yk} \geq 500\text{MPa}$

Aço ativo – CP 190-RB: $f_{ptk} \geq 1900\text{MPa}$

Classe de Agressividade Ambiental III e IV (Forte e Muito Forte)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 4/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

5. MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS VIGAS PRÉ-MOLDADAS

5.1 VIGAS DE 43,70m

Características geométricas das seções

As características das seções serão calculadas considerando contribuição das armaduras passivas principais (superior e inferior), além das armaduras ativas.

As características das seções do conjunto viga+laje serão calculadas considerando a relação entre os módulos de elasticidade do concreto da viga e da laje, n .

$$f_{ck,viga} \text{ (MPa)} = 40 \quad f_{ck,laje} \text{ (MPa)} = 40 \quad \text{tipo de agregado considerado: granito ou gnaiss}$$

$$E_{CS,viga} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad E_{CS,laje} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad n = 1,00$$

$$E_s \text{ (MPa)} = 200.000 \quad \alpha = 6,27$$

Viga Isolada

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,700	0,050	1,900	1,850	0,048	1,877	0,089	0,167	0,000
4	0,700	0,700	1,450	1,850	0,400	1,015	1,125	1,142	1,285	0,178
5	0,700	0,700	0,200	0,400	0,200	0,140	0,300	0,042	0,013	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,463 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 2,101 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,519 & V_s' \text{ (m)} &= 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,541 \\
A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,499 \\
Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
\end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A_s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,463 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,541 \\
I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,519 & V_i \text{ (m)} &= 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,499
\end{aligned}$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A _s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

[illegible]

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Conjunto viga + laje

$$h_{laje} \text{ (m)} = 0,23$$

$$\text{intereixo de vigas (m)} = 2,200$$

Vigas centrais

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,200	2,200	0,100	0,230	0,130	0,220	0,180	0,040	0,007	0,000
2	2,200	2,200	0,130	0,130	0,000	0,286	0,065	0,019	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,506$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,009$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,969$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,914$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,046$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,684$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,398$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,956$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,316$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,726$$

Seção S1

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,200	2,200	0,100	0,230	0,130	0,220	0,180	0,040	0,007	0,000
2	2,200	2,200	0,130	0,130	0,000	0,286	0,065	0,019	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,506$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,009$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,237$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,763$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 0,967$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,533$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,384$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,737$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,467$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,502$$

Seção S2

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,200	2,200	0,100	0,230	0,130	0,220	0,180	0,040	0,007	0,000
2	2,200	2,200	0,130	0,130	0,000	0,286	0,065	0,019	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,506 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,009 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,002 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,237 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,737 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,763 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,533 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,467 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 0,967 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,384 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,502 \end{aligned}$$

Seção S3

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,200	2,200	0,100	0,230	0,130	0,220	0,180	0,040	0,007	0,000
2	2,200	2,200	0,130	0,130	0,000	0,286	0,065	0,019	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,506 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,009 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,002 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,237 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,737 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,763 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,533 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,467 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 0,967 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,384 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,502 \end{aligned}$$

Seção S4

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,200	2,200	0,100	0,230	0,130	0,220	0,180	0,040	0,007	0,000
2	2,200	2,200	0,130	0,130	0,000	0,286	0,065	0,019	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,506 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,009 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,002 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,237 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,737 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,763 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,533 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,467 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 0,967 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,384 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,502 \end{aligned}$$

Seção S5

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,200	2,200	0,100	0,230	0,130	0,220	0,180	0,040	0,007	0,000
2	2,200	2,200	0,130	0,130	0,000	0,286	0,065	0,019	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,506$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,009$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,237$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,763$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 0,967$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,533$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,384$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,737$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,467$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,502$$

Vigas de bordo

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,100	2,100	0,100	0,230	0,130	0,210	0,180	0,038	0,007	0,000
2	2,100	2,100	0,130	0,130	0,000	0,273	0,065	0,018	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,483$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,009$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,946$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,923$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,019$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,693$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,358$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,941$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,307$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,720$$

Seção S1

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,100	2,100	0,100	0,230	0,130	0,210	0,180	0,038	0,007	0,000
2	2,100	2,100	0,130	0,130	0,000	0,273	0,065	0,018	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,483$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,009$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,214$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,727$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,775$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,545$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,455$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 0,938$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,335$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,500$$

Seção S2

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,100	2,100	0,100	0,230	0,130	0,210	0,180	0,038	0,007	0,000
2	2,100	2,100	0,130	0,130	0,000	0,273	0,065	0,018	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,483$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,009$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,214$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,727$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,775$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,545$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,455$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 0,938$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,335$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,500$$

Seção S3

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,100	2,100	0,100	0,230	0,130	0,210	0,180	0,038	0,007	0,000
2	2,100	2,100	0,130	0,130	0,000	0,273	0,065	0,018	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,483$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,009$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,214$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,727$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,775$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,545$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,455$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 0,938$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,335$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,500$$

Seção S4

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,100	2,100	0,100	0,230	0,130	0,210	0,180	0,038	0,007	0,000
2	2,100	2,100	0,130	0,130	0,000	0,273	0,065	0,018	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,483$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,009$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,214$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,727$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,775$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,545$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,455$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 0,938$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,335$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,500$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	2,100	2,100	0,100	0,230	0,130	0,210	0,180	0,038	0,007	0,000
2	2,100	2,100	0,130	0,130	0,000	0,273	0,065	0,018	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,483$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,009$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,214$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,727$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,775$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,545$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,455$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 0,938$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,335$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,500$$

Resumo das características das seções

Viga isolada

	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$V_s \text{ (m)}$	$V_s' \text{ (m)}$	$V_i \text{ (m)}$	$w_s \text{ (m}^3\text{)}$	$w_s' \text{ (m}^3\text{)}$	$w_i \text{ (m}^3\text{)}$
S0	1,463	0,519	-	0,960	1,040	-	0,541	0,499
S1	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S2	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S3	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S4	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S5	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369

Conjunto viga+laje

Vigas centrais

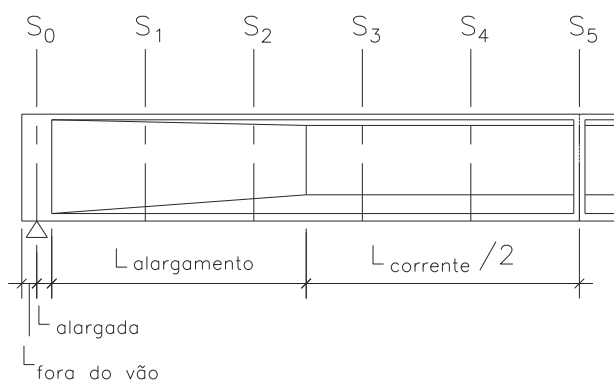
	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$V_s \text{ (m)}$	$V_s' \text{ (m)}$	$V_i \text{ (m)}$	$w_s \text{ (m}^3\text{)}$	$w_s' \text{ (m}^3\text{)}$	$w_i \text{ (m}^3\text{)}$
S0	1,969	0,956	0,914	0,684	1,316	1,046	1,398	0,726
S1	1,237	0,737	0,763	0,533	1,467	0,967	1,384	0,502
S2	1,237	0,737	0,763	0,533	1,467	0,967	1,384	0,502
S3	1,237	0,737	0,763	0,533	1,467	0,967	1,384	0,502
S4	1,237	0,737	0,763	0,533	1,467	0,967	1,384	0,502
S5	1,237	0,737	0,763	0,533	1,467	0,967	1,384	0,502

Vigas de bordo

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	1,946	0,941	0,923	0,693	1,307	1,019	1,358	0,720
S1	1,214	0,727	0,775	0,545	1,455	0,938	1,335	0,500
S2	1,214	0,727	0,775	0,545	1,455	0,938	1,335	0,500
S3	1,214	0,727	0,775	0,545	1,455	0,938	1,335	0,500
S4	1,214	0,727	0,775	0,545	1,455	0,938	1,335	0,500
S5	1,214	0,727	0,775	0,545	1,455	0,938	1,335	0,500

Cargas permanentes

Peso próprio da viga



$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 43,10$$

$$\Delta S \text{ (m)} = 4,310$$

$$\gamma_{\text{concreto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,50$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$g_{\text{fora do vão}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$L_{\text{alargada}} \text{ (m)} = 0,900$$

$$g_{\text{alargada}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$L_{\text{alargamento}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$g_{\text{corrente}} \text{ (tf/m)} = 1,828$$

$$L_{\text{corrente}} \text{ (m)} = 40,700$$

$$n_{\text{septos de vão}} = 1$$

$$X_{\text{septo de vão 1}} \text{ (m)} = -$$

$$X_{\text{septo de vão 2}} \text{ (m)} = -$$

$$e_{\text{septos de vão}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$R_{g1} \text{ (tf)} = 42,40$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	41,3	0,0	-	0,0	0,0
S1	31,5	153,8	-	401,5	-417,1
S2	23,6	272,6	-	711,6	-739,4
S3	15,8	357,5	-	933,2	-969,5
S4	7,9	408,4	-	1066,1	-1107,6
S5	0,0	425,4	-	1110,4	-1153,7

Diagrama de Cortante (tf)

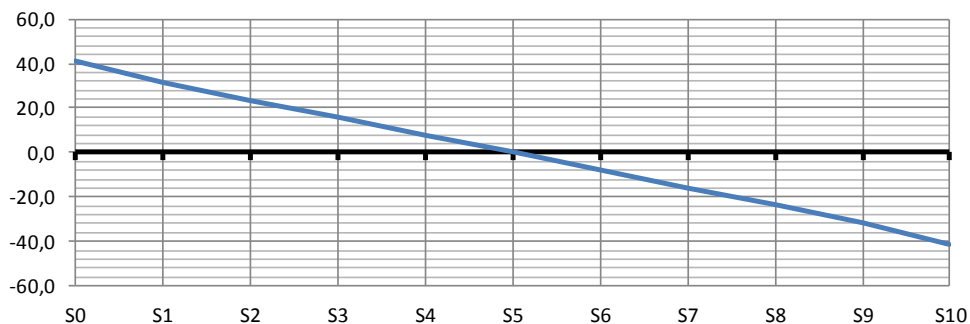
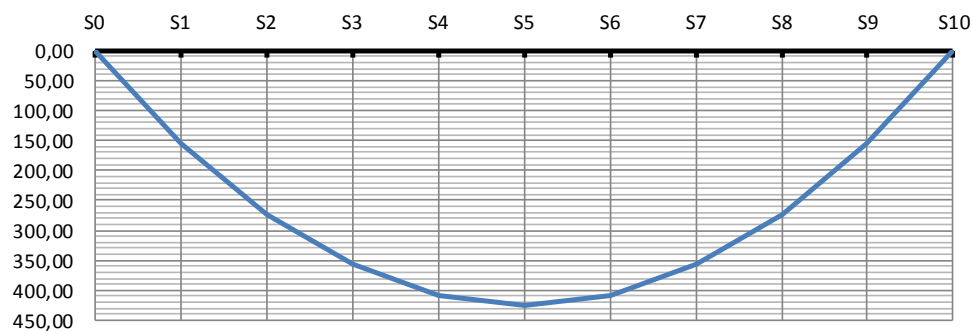


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Peso próprio da laje e transversinas

Vigas centrais

$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$

$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,265$

$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 1,000$

$R_{g2} \text{ (tf)} = 29,59$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	27,26	0,00	-	0,0	0,0
S1	21,81	105,74	-	276,0	-286,8
S2	16,36	187,99	-	490,7	-509,9
S3	10,90	246,74	-	644,1	-669,2
S4	5,45	281,99	-	736,1	-764,8
S5	0,00	293,73	-	766,8	-796,6

Diagrama de Cortante (tf)

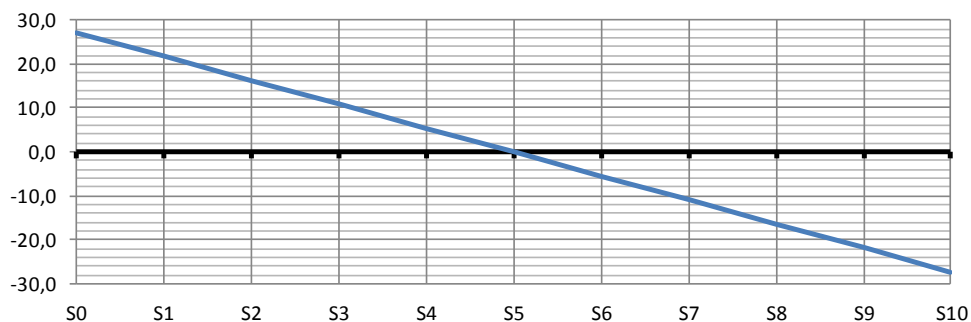
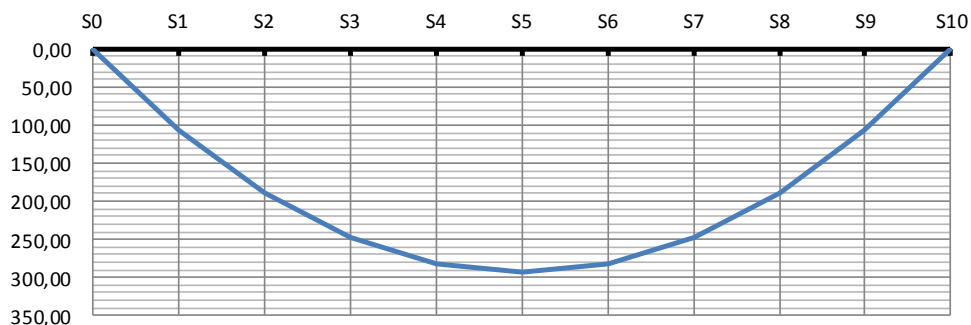


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$

$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,208$

$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 0,500$

$R_{g2} \text{ (tf)} = 27,79$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	26,02	0,00	-	0,0	0,0
S1	20,82	100,94	-	263,5	-273,8
S2	15,61	179,45	-	468,4	-486,7
S3	10,41	235,52	-	614,8	-638,8
S4	5,20	269,17	-	702,6	-730,0
S5	0,00	280,38	-	731,9	-760,4

Diagrama de Cortante (tf)

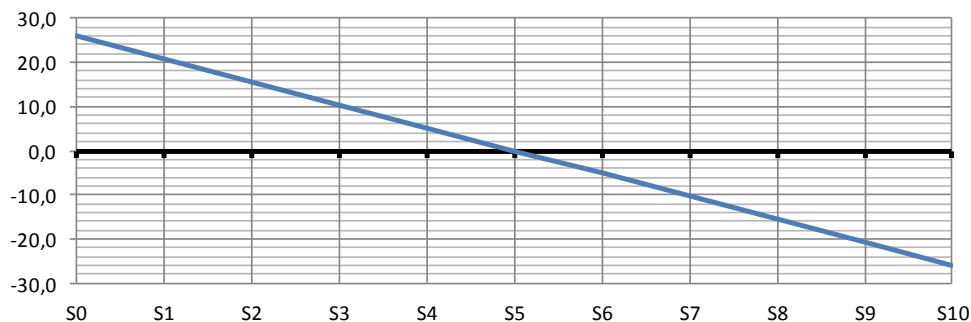
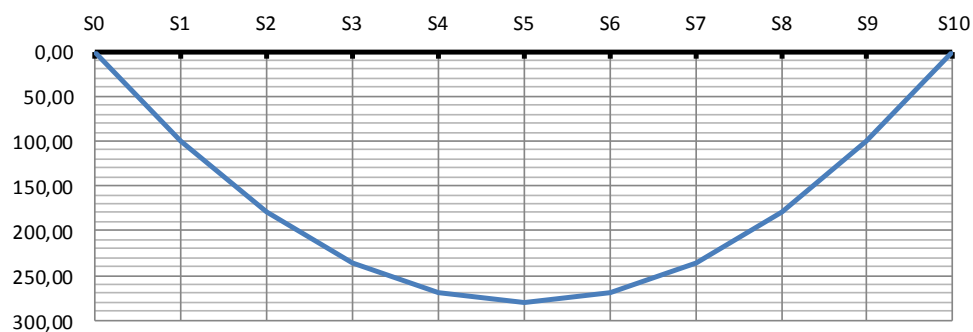


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Sobrecarga Permanente Rodoviária

Vigas centrais

$$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 2,200$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0,370$$

$$R_{g_3} \text{ (tf)} = 8,35$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	7,96	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	6,37	30,90	32,0	22,3	-61,5
S2	4,78	54,93	56,8	39,7	-109,3
S3	3,19	72,09	74,6	52,1	-143,5
S4	1,59	82,39	85,2	59,5	-164,0
S5	0,00	85,82	88,8	62,0	-170,8

Diagrama de Cortante (tf)

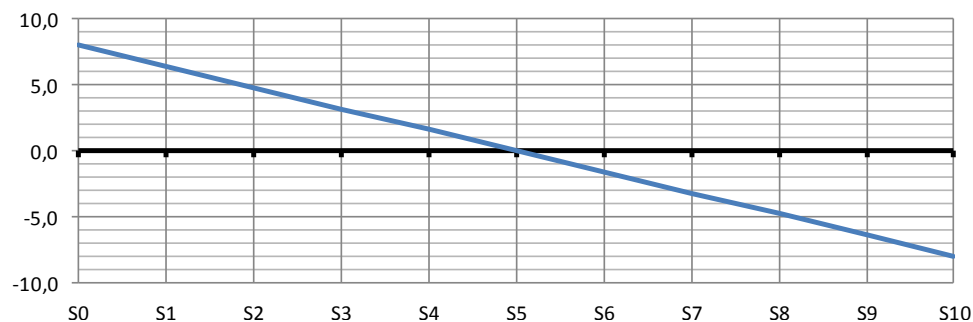
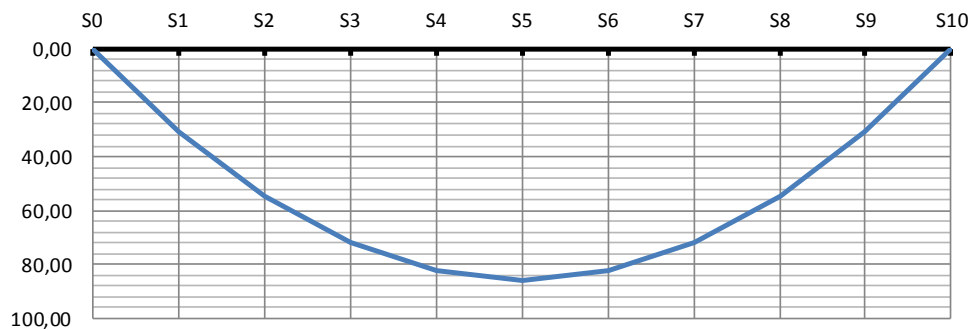


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$	
$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$	
$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$	
$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$	$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$
$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 1,700$	$g_{\text{guarda-rodas}} \text{ (tf/m)} = 0,580$
$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$	$g_{\text{guarda corpo}} \text{ (tf/m)} = 0,000$
$h_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,10$	$g_{\text{passeio}} \text{ (tf/m)} = 0,000$
$b_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,40$	$g_{\text{pingadeiras}} \text{ (tf/m)} = 0,100$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0,966$$

$$R_{g_3} \text{ (tf)} = 21,82$$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	20,81	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	16,65	80,72	86,0	60,5	-161,5
S2	12,49	143,50	152,9	107,5	-287,1
S3	8,32	188,34	200,7	141,1	-376,9
S4	4,16	215,24	229,4	161,3	-430,7
S5	0,00	224,21	238,9	168,0	-448,7

Diagrama de Cortante (tf)

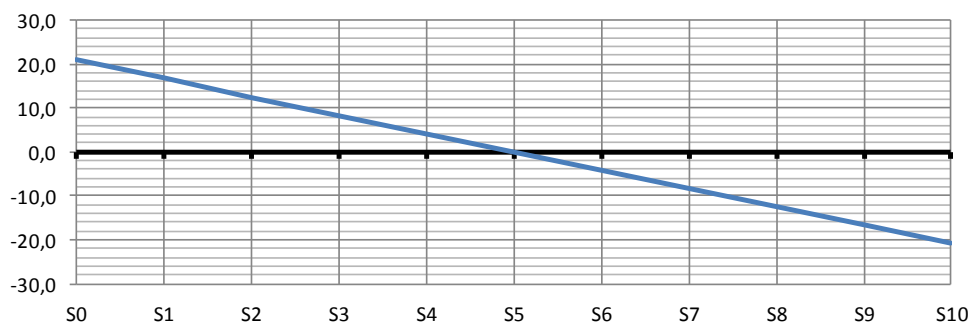
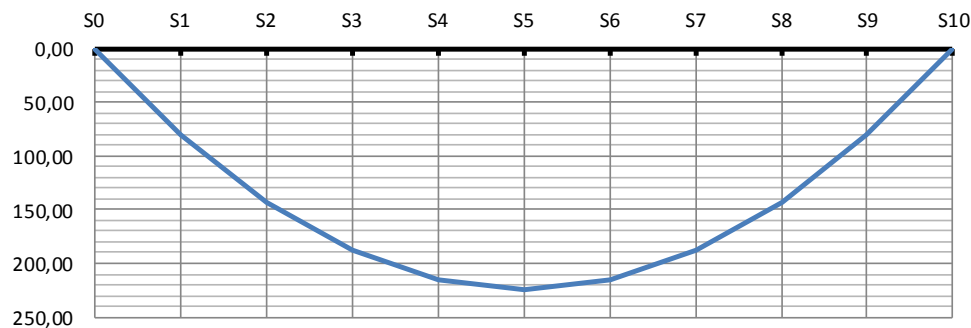


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Carga móvel rodoviária

$$L_{\text{transv}} \text{ (m)} = 13,00$$

$$n_{\text{vigas}} = 6$$

	$X_i \text{ (m)}$	X_i^2	R_{V1}	R_{V2}	R_{V3}	R_{V4}	R_{V5}	R_{V6}
V1	5,50	30,25	0,524	0,381	0,238	0,095	-0,048	-0,190
V2	3,30	10,89	0,381	0,295	0,210	0,124	0,038	-0,048
V3	1,10	1,21	0,238	0,210	0,181	0,152	0,124	0,095
V4	-1,10	1,21	0,095	0,124	0,152	0,181	0,210	0,238
V5	-3,30	10,89	-0,048	0,038	0,124	0,210	0,295	0,381
V6	-5,50	30,25	-0,190	-0,048	0,095	0,238	0,381	0,524
	ΣX_i^2	84,700						

$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 43,10$$

$$P \text{ (tf/roda)} = 6,000$$

$$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,500$$

$$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$$

Coefficiente de impacto vertical (CIV)

$$CIV = 1,35 \text{ para vãos menores que } 10m$$

$$CIV = 1 + 1,06 \left(\frac{20}{L + 50} \right) \text{ para vãos maiores que } 10m$$


$$CIV = 1,23$$

Coefficiente do número de faixas (CNF)

$$CNF = 1 - 0,05(n - 2) > 0,9$$

$$n_{\text{faixas}} = 2$$

$$CNF = 1,00$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 19/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Coeficiente de impacto adicional (CIA)

CIA = 1,25 para obras em concreto ou mistas

CIA = 1,15 para obras em aço

CIA = 1,25

Aplicado apenas nas seções a uma distância normal à junta inferior a 5m.

Trem-tipo para V1 (viga de bordo)

$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$

$i = 0,065$

$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$

$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 8,667$

	X (m)	Y
a	6,500	0,589
b	6,500	0,589
c	6,100	0,563
d	5,600	0,530
e	3,600	0,400
f	-2,567	0,000
g	-6,100	-0,229
h	-6,500	-0,255
i	-6,500	-0,255

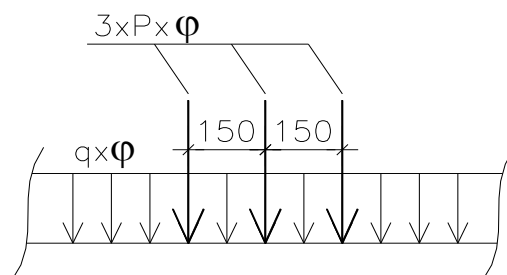
$P \text{ (tf/eixo)} = 5,584$ (sem impacto)

$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,219$ (sem impacto)

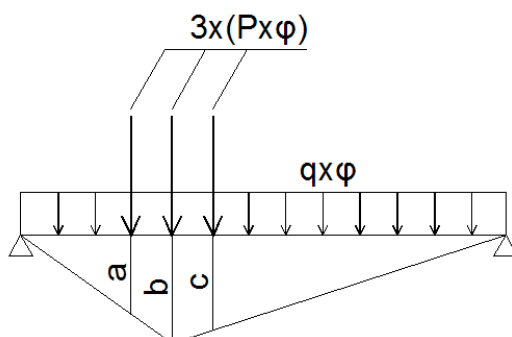
$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$

$P \text{ (tf/eixo)} = 6,856$ (com CIV e CNF)

$q_{\text{total}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,497$ (com CIV e CNF)

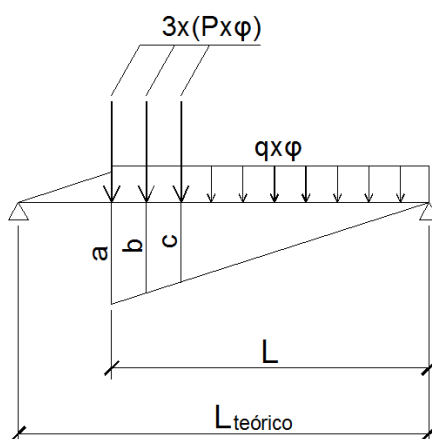


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	4,31	3,579	3,879	3,729	201,84
S2	8,62	6,296	6,896	6,596	358,13
S3	12,93	8,151	9,051	8,601	468,89
S4	17,24	9,444	10,344	9,744	536,17
S5	21,55	10,025	10,775	10,025	558,94
S6	25,86	9,444	10,344	9,744	536,17
S7	30,17	8,151	9,051	8,601	468,89
S8	34,48	6,296	6,896	6,596	358,13
S9	38,79	3,579	3,879	3,729	201,84
S10	43,10	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	43,10	1,000	0,965	0,930	65,14
S1	4,31	38,79	0,900	0,865	0,830	43,93
S2	8,62	34,48	0,800	0,765	0,730	36,39
S3	12,93	30,17	0,700	0,665	0,630	29,49
S4	17,24	25,86	0,600	0,565	0,530	23,24
S5	21,55	21,55	0,500	0,465	0,430	17,63
S6	25,86	17,24	0,400	0,365	0,330	12,67
S7	30,17	12,93	0,300	0,265	0,230	8,36
S8	34,48	8,62	0,200	0,165	0,130	4,69
S9	38,79	4,31	0,100	0,065	0,030	1,66
S10	43,10	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V1

	V _{C.M.} (tf)	M _{C.M.} (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	65,14	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	43,93	201,84	215,1	151,2	-403,9
S2	36,39	358,13	381,6	268,4	-716,6
S3	29,49	468,89	499,7	351,3	-938,3
S4	23,24	536,17	571,4	401,8	-1072,9
S5	17,63	558,94	595,6	418,8	-1118,5
S6	12,67	536,17	571,4	401,8	-1072,9
S7	8,36	468,89	499,7	351,3	-938,3
S8	4,69	358,13	381,6	268,4	-716,6
S9	1,66	201,84	215,1	151,2	-403,9
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Trem-tipo para V2 (viga central)

$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$

$i = 0,039$

$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$

$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 10,378$

	X (m)	Y
a	6,500	0,420
b	6,500	0,420
c	6,100	0,404
d	5,600	0,385
e	3,600	0,307
f	-4,278	0,000
g	-6,100	-0,071
h	-6,500	-0,087
i	-6,500	-0,087

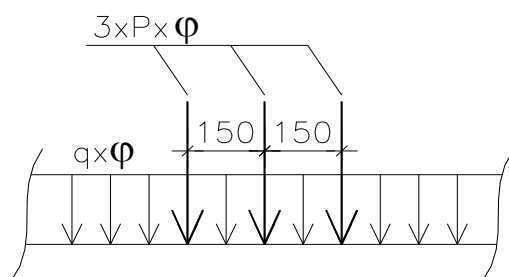
$P \text{ (tf/eixo)} = 4,151$ (sem impacto)

$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,049$ (sem impacto)

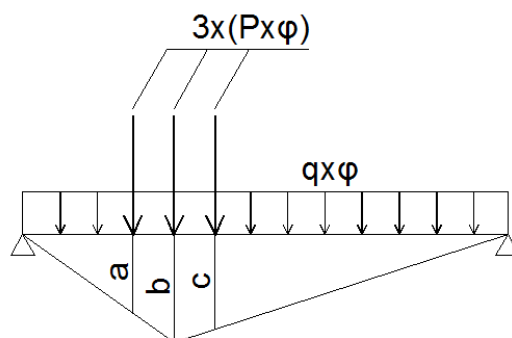
$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$

$P \text{ (tf/eixo)} = 5,096$ (com CIV e CNF)

$p \text{ (tf/m)} = 1,288$ (com CIV e CNF)

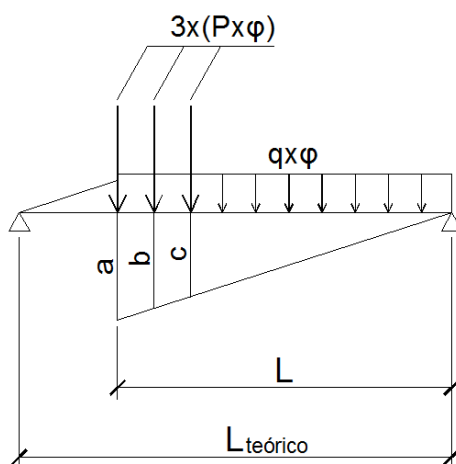


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)




	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	4,31	3,579	3,879	3,729	164,66
S2	8,62	6,296	6,896	6,596	292,23
S3	12,93	8,151	9,051	8,601	382,69
S4	17,24	9,444	10,344	9,744	437,57
S5	21,55	10,025	10,775	10,025	456,13
S6	25,86	9,444	10,344	9,744	437,57
S7	30,17	8,151	9,051	8,601	382,69
S8	34,48	6,296	6,896	6,596	292,23
S9	38,79	3,579	3,879	3,729	164,66
S10	43,10	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	43,10	1,000	0,965	0,930	53,14
S1	4,31	38,79	0,900	0,865	0,830	35,71
S2	8,62	34,48	0,800	0,765	0,730	29,46
S3	12,93	30,17	0,700	0,665	0,630	23,77
S4	17,24	25,86	0,600	0,565	0,530	18,63
S5	21,55	21,55	0,500	0,465	0,430	14,05
S6	25,86	17,24	0,400	0,365	0,330	10,02
S7	30,17	12,93	0,300	0,265	0,230	6,55
S8	34,48	8,62	0,200	0,165	0,130	3,64
S9	38,79	4,31	0,100	0,065	0,030	1,27
S10	43,10	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 24/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V2

	$V_{C.M.} \text{ (tf)}$	$M_{C.M.} \text{ (tf.m)}$	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	53,14	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	35,71	164,66	170,4	119,0	-327,8
S2	29,46	292,23	302,3	211,2	-581,7
S3	23,77	382,69	395,9	276,5	-761,8
S4	18,63	437,57	452,7	316,2	-871,1
S5	14,05	456,13	471,9	329,6	-908,0
S6	10,02	437,57	452,7	316,2	-871,1
S7	6,55	382,69	395,9	276,5	-761,8
S8	3,64	292,23	302,3	211,2	-581,7
S9	1,27	164,66	170,4	119,0	-327,8
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Cálculo da Protensão - Vigas de Bordo

Módulo de elasticidade do cabo



$$E_p \text{ (MPa)} = 200.000$$

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

Tensão inicial no cabo:

$$\begin{array}{lcl} \text{Pós-Tensão -} & \sigma_{p0} \leq & \left\{ \begin{array}{l} -0,74 * f_{ptk} = 14060 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,82 * f_{pk} = 14022 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right. \\ \\ \text{Pré-Tensão -} & \sigma_{p0} \leq & \left\{ \begin{array}{l} -0,77 * f_{ptk} = 14630 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,85 * f_{pk} = 14535 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right. \end{array}$$


onde: $f_{ptk} \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 19.000$

$f_{pyk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 17.100$

Cabo	Etapas	Sistema
C1	1	Viga isolada
C2	1	Viga isolada
C3	1	Viga isolada
C4	2	Viga isolada
C5	2	Viga isolada
C6		-
C7		-
C8		-
C9		-

onde:

- $\sigma_{p0}(x)$ é a tensão no cabo após perdas por atrito numa seção situada à uma distância (x) da ancoragem do cabo.
- (x) é a distância entre a ancoragem e a seção da viga onde está sendo calculada a tensão $\sigma_{p0}(x)$.
- μ é o coeficiente de atrito entre o cabo e a bainha. Adota-se $\mu = 0,20$.
- K é o desvio angular por unidade de comprimento. Adota-se $K = 0,01 \text{ rad/m}$.
- α é variação angular entre a ancoragem e a seção em (x).

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 26/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cabo C1

Unidade de protensão → 10 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 196

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 14$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{reco da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	43,40	1,700	8,000		16,00	1,000	14022
S1	4,540	38,86	1,091	6,600	1,40	14,60	0,986	13828
S2	8,830	34,57	0,685	4,200	3,80	12,20	0,970	13595
S3	13,120	30,28	0,464	1,700	6,30	9,70	0,953	13362
S4	17,410	25,99	0,420	0,000	8,00	8,00	0,939	13169
S5	21,700	21,70	0,420	0,000	8,00	8,00	0,931	13057
S6	25,990	17,41	0,420	0,000	8,00	8,00	0,939	13169
S7	30,280	13,12	0,464	-1,700	9,70	6,30	0,953	13362
S8	34,570	8,83	0,685	-4,200	12,20	3,80	0,970	13595
S9	38,860	4,54	1,091	-6,600	14,60	1,40	0,986	13828
S10	43,400	0,00	1,700	-8,000	16,00		1,000	14022

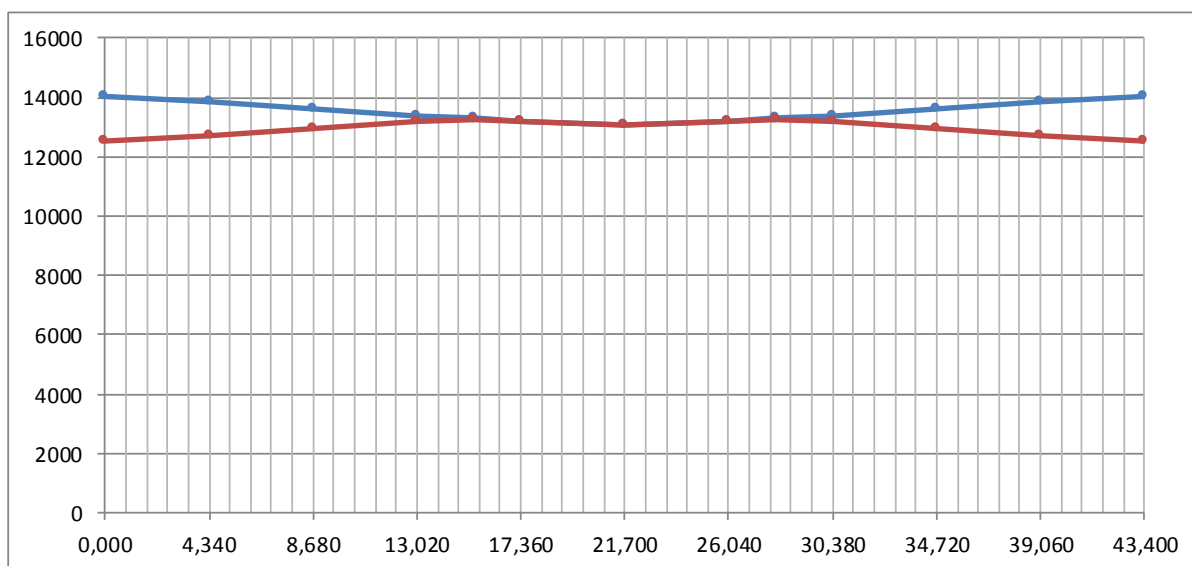
$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 147 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 147 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0
S1	12693	177,7	1,019	0,071	176,5	-20,4	12,6
S2	12926	181,0	1,019	-0,335	180,5	-13,3	-60,4
S3	13159	184,2	1,019	-0,555	184,1	-5,5	-102,1
S4	13169	184,4	1,019	-0,599	184,4	0,0	-110,5
S5	13057	182,8	1,019	-0,599	182,8	0,0	-109,5
S6	13169	184,4	1,019	-0,599	184,4	0,0	-110,5
S7	13159	184,2	1,019	-0,555	184,1	5,5	-102,1
S8	12926	181,0	1,019	-0,335	180,5	13,3	-60,4
S9	12693	177,7	1,019	0,071	176,5	20,4	12,6
S10	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem
(tensões em kgf/cm² e comprimento em metros)

Cabo C2

Unidade de protensão → 10 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 196

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 14$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	43,40	1,350	6,500		13,00	1,000	14022
S1	4,540	38,86	0,835	6,100	0,40	12,60	0,990	13876
S2	8,830	34,57	0,470	3,600	2,90	10,10	0,973	13638
S3	13,120	30,28	0,291	1,200	5,30	7,70	0,956	13408
S4	17,410	25,99	0,270	0,000	6,50	6,50	0,944	13238
S5	21,700	21,70	0,270	0,000	6,50	6,50	0,936	13125
S6	25,990	17,41	0,270	0,000	6,50	6,50	0,944	13238
S7	30,280	13,12	0,291	-1,200	7,70	5,30	0,956	13408
S8	34,570	8,83	0,470	-3,600	10,10	2,90	0,973	13638
S9	38,860	4,54	0,835	-6,100	12,60	0,40	0,990	13876
S10	43,400	0,00	1,350	-6,500	13,00		1,000	14022

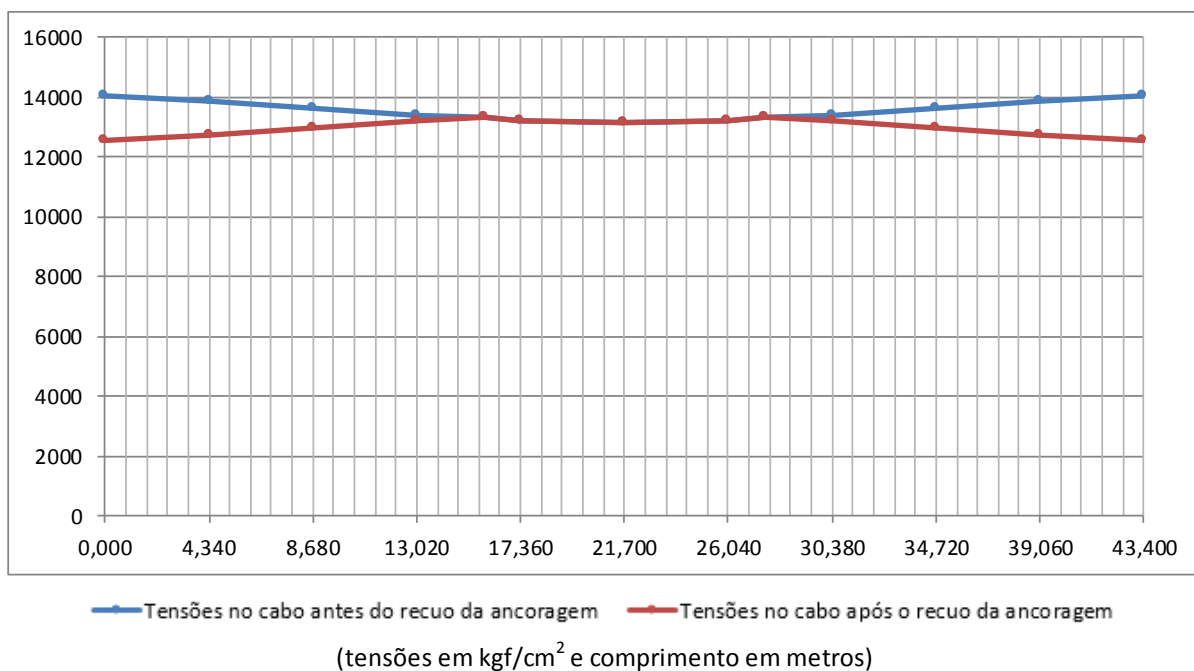
$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 147 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 147 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,310	0,0	0,0	0,0
S1	12726	178,2	1,019	-0,184	177,1	-18,9	-32,6
S2	12964	181,5	1,019	-0,549	181,1	-11,4	-99,4
S3	13193	184,7	1,019	-0,728	184,7	-3,9	-134,5
S4	13238	185,3	1,019	-0,749	185,3	0,0	-138,8
S5	13125	183,8	1,019	-0,749	183,8	0,0	-137,7
S6	13238	185,3	1,019	-0,749	185,3	0,0	-138,8
S7	13193	184,7	1,019	-0,728	184,7	3,9	-134,5
S8	12964	181,5	1,019	-0,549	181,1	11,4	-99,4
S9	12726	178,2	1,019	-0,184	177,1	18,9	-32,6
S10	0	0,0	1,040	0,310	0,0	0,0	0,0



Cabo C3

Unidade de protensão → 10 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 196

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 14$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0} (x)$
S0	0,000	43,40	1,000	5,000		10,00	1,000	14022
S1	4,540	38,86	0,603	5,00	0,00	10,00	0,991	13895
S2	8,830	34,57	0,277	3,20	1,80	8,20	0,976	13690
S3	13,120	30,28	0,129	0,70	4,30	5,70	0,960	13455
S4	17,410	25,99	0,120	0,00	5,00	5,00	0,949	13308
S5	21,700	21,70	0,120	0,00	5,00	5,00	0,941	13194
S6	25,990	17,41	0,120	0,00	5,00	5,00	0,949	13308
S7	30,280	13,12	0,129	-0,70	5,70	4,30	0,960	13455
S8	34,570	8,83	0,277	-3,20	8,20	1,80	0,976	13690
S9	38,860	4,54	0,603	-5,00	10,00	0,00	0,991	13895
S10	43,400	0,00	1,000	-5,00	10,00		1,000	14022

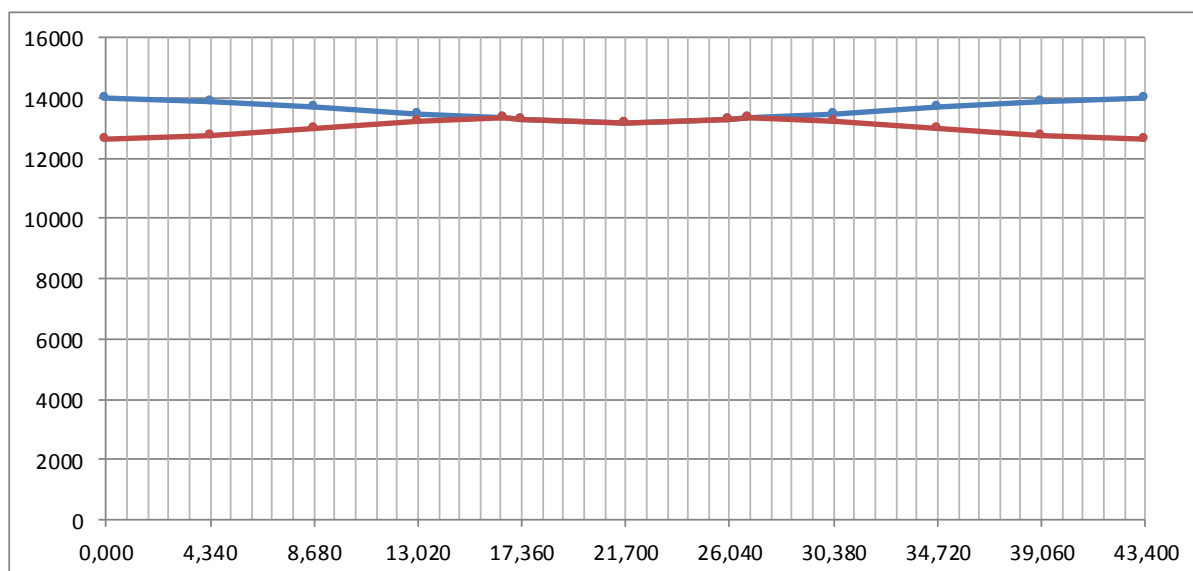
$$\Delta l^{\text{esq}} (\text{mm}) = 148 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

$$\Delta l^{\text{dir}} (\text{mm}) = 148 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem


Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (\text{tf})$	$V_i (\text{m})$	$\text{exc} (\text{m})$	$N (\text{tf})$	$V (\text{tf})$	$M (\text{tf.m})$
S0	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0
S1	12778	178,9	1,019	-0,416	178,2	-15,6	-74,2
S2	12983	181,8	1,019	-0,743	181,5	-10,1	-134,7
S3	13218	185,0	1,019	-0,891	185,0	-2,3	-164,8
S4	13308	186,3	1,019	-0,899	186,3	0,0	-167,5
S5	13194	184,7	1,019	-0,899	184,7	0,0	-166,1
S6	13308	186,3	1,019	-0,899	186,3	0,0	-167,5
S7	13218	185,0	1,019	-0,891	185,0	2,3	-164,8
S8	12983	181,8	1,019	-0,743	181,5	10,1	-134,7
S9	12778	178,9	1,019	-0,416	178,2	15,6	-74,2
S10	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm^2 e comprimento em metros)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 31/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cabo C4

Unidade de protensão → 10 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 196

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 2ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 14$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recoo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	43,40	0,650	3,500		7,00	1,000	14022
S1	4,540	38,86	0,372	3,50	0,00	7,00	0,991	13895
S2	8,830	34,57	0,157	1,60	1,90	5,10	0,976	13685
S3	13,120	30,28	0,120	0,00	3,50	3,50	0,962	13493
S4	17,410	25,99	0,120	0,00	3,50	3,50	0,954	13378
S5	21,700	21,70	0,120	0,00	3,50	3,50	0,946	13263
S6	25,990	17,41	0,120	0,00	3,50	3,50	0,954	13378
S7	30,280	13,12	0,120	0,00	3,50	3,50	0,962	13493
S8	34,570	8,83	0,157	-1,60	5,10	1,90	0,976	13685
S9	38,860	4,54	0,372	-3,50	7,00	0,00	0,991	13895
S10	43,400	0,00	0,650	-3,50	7,00		1,000	14022

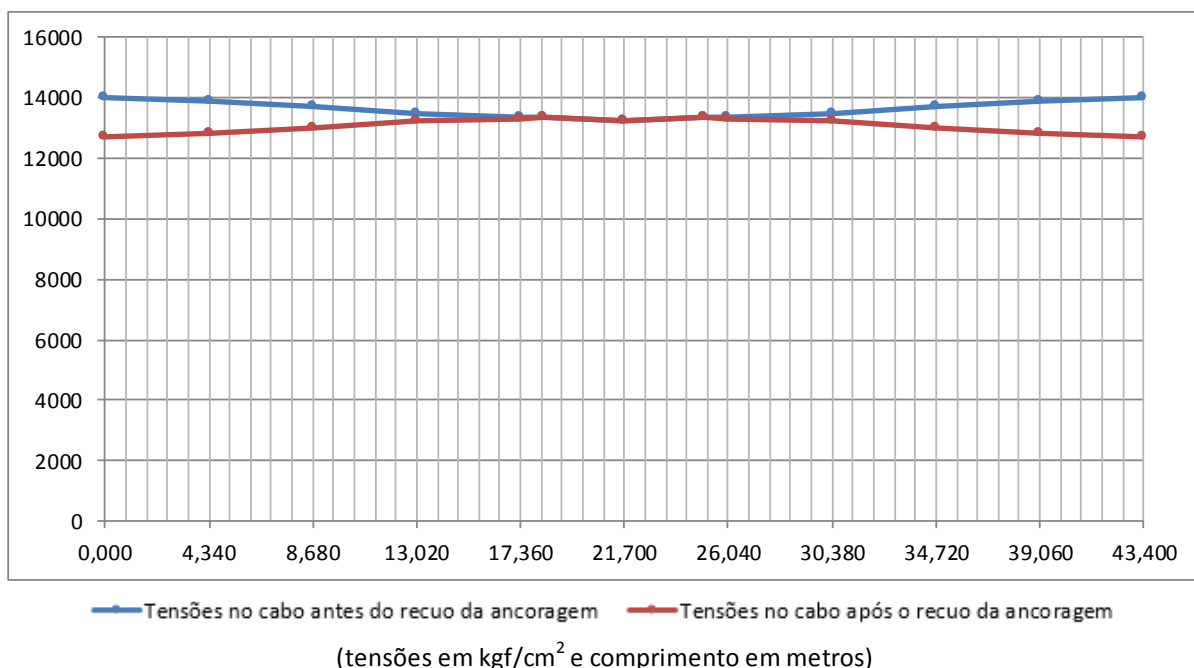
$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 148 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 148 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recoo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,390	0,0	0,0	0,0
S1	12811	179,4	1,019	-0,647	179,0	-10,9	-115,8
S2	13021	182,3	1,019	-0,862	182,2	-5,1	-157,1
S3	13213	185,0	1,019	-0,899	185,0	0,0	-166,3
S4	13329	186,6	1,019	-0,899	186,6	0,0	-167,8
S5	13263	185,7	1,019	-0,899	185,7	0,0	-167,0
S6	13329	186,6	1,019	-0,899	186,6	0,0	-167,8
S7	13213	185,0	1,019	-0,899	185,0	0,0	-166,3
S8	13021	182,3	1,019	-0,862	182,2	5,1	-157,1
S9	12811	179,4	1,019	-0,647	179,0	10,9	-115,8
S10	0	0,0	1,040	-0,390	0,0	0,0	0,0



Cabo C5

Unidade de protensão → 10 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 196

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 2ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 14$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0} (x)$
S0	0,000	43,40	0,300	2,000		4,00	1,000	14022
S1	4,540	38,86	0,145	1,40	0,60	3,40	0,989	13866
S2	8,830	34,57	0,120	0,00	2,00	2,00	0,976	13681
S3	13,120	30,28	0,120	0,00	2,00	2,00	0,967	13564
S4	17,410	25,99	0,120	0,00	2,00	2,00	0,959	13448
S5	21,700	21,70	0,120	0,00	2,00	2,00	0,951	13333
S6	25,990	17,41	0,120	0,00	2,00	2,00	0,959	13448
S7	30,280	13,12	0,120	0,00	2,00	2,00	0,967	13564
S8	34,570	8,83	0,120	0,00	2,00	2,00	0,976	13681
S9	38,860	4,54	0,145	-1,40	3,40	0,60	0,989	13866
S10	43,400	0,00	0,300	-2,00	4,00		1,000	14022

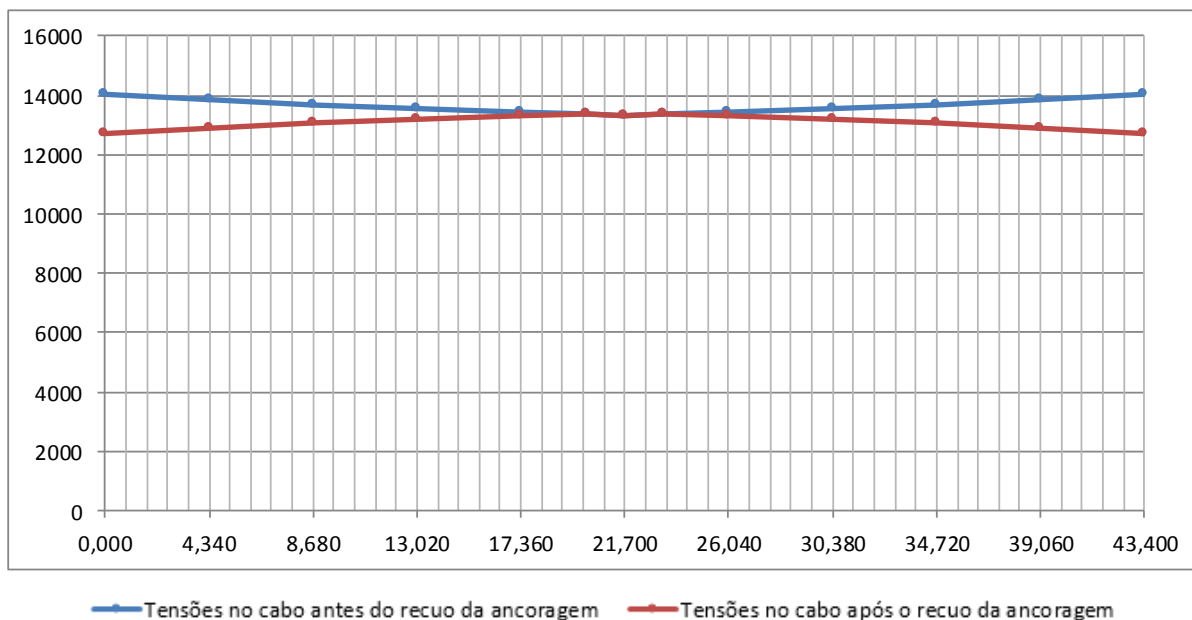
$$\Delta l^{\text{esq}} (\text{mm}) = 148 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

$$\Delta l^{\text{dir}} (\text{mm}) = 148 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (\text{tf})$	$V_i (\text{m})$	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0
S1	12885	180,4	1,019	-0,874	180,3	-4,4	-157,6
S2	13071	183,0	1,019	-0,899	183,0	0,0	-164,5
S3	13188	184,6	1,019	-0,899	184,6	0,0	-166,0
S4	13304	186,2	1,019	-0,899	186,2	0,0	-167,5
S5	13333	186,7	1,019	-0,899	186,7	0,0	-167,8
S6	13304	186,2	1,019	-0,899	186,2	0,0	-167,5
S7	13188	184,6	1,019	-0,899	184,6	0,0	-166,0
S8	13071	183,0	1,019	-0,899	183,0	0,0	-164,5
S9	12885	180,4	1,019	-0,874	180,3	4,4	-157,6
S10	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0



(tensões em kgf/cm^2 e comprimento em metros)

Perda por encurtamento imediato do concreto

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$s = 0,38$$

1ª etapa de protensão

$$\alpha_E = 1,0$$

$$t_0 \text{ (dias)} = 3$$

$$\beta_s(t_0) = 0,458$$

$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 18,3$$

$$n_{cabos} = 3$$

$$\alpha = 8,34$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 23.968,7$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	0,103	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	531,9	-94,2	-0,059	0,731	0,376	742,3	1,032	206,5
S2	543,1	-294,5	-0,181	0,731	0,376	884,5	1,230	246,0
S3	553,8	-401,4	-0,242	0,731	0,376	1015,7	1,412	282,5
S4	556,0	-416,8	-0,250	0,731	0,376	1037,6	1,443	288,6
S5	551,3	-413,2	-0,250	0,731	0,376	1028,7	1,431	286,1
S6	556,0	-416,8	-0,250	0,731	0,376	1037,6	1,443	288,6
S7	553,8	-401,4	-0,242	0,731	0,376	1015,7	1,412	282,5
S8	543,1	-294,5	-0,181	0,731	0,376	884,5	1,230	246,0
S9	531,9	-94,2	-0,059	0,731	0,376	742,3	1,032	206,5
S10	0,0	0,0	0,103	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

2ª etapa de protensão

$$t_0 \text{ (dias)} = 18$$


$$\beta_s(t_0) = 0,910$$

$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 36,4$$

$$n_{cabos} = 2$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 33.792,4$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	-0,126	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	359,4	-273,4	-0,169	0,731	0,376	614,5	0,606	121,2
S2	365,2	-321,6	-0,196	0,731	0,376	667,1	0,658	131,6
S3	369,6	-332,3	-0,200	0,731	0,376	682,3	0,673	134,6
S4	372,9	-335,2	-0,200	0,731	0,376	688,3	0,679	135,8
S5	372,4	-334,8	-0,200	0,731	0,376	687,4	0,678	135,6
S6	372,9	-335,2	-0,200	0,731	0,376	688,3	0,679	135,8
S7	369,6	-332,3	-0,200	0,731	0,376	682,3	0,673	134,6
S8	365,2	-321,6	-0,196	0,731	0,376	667,1	0,658	131,6
S9	359,4	-273,4	-0,169	0,731	0,376	614,5	0,606	121,2
S10	0,0	0,0	-0,126	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 35/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Onde:

s = coeficiente que depende do tipo de cimento

t_0 = idade de aplicação da protensão

$$\beta_s = e^{s \times (1 - \sqrt{28/t_0})} \quad f_{cj} = \beta_s \times f_{ck} \quad E_c = \alpha_E \times 5600 \times \sqrt{f_{cj}}$$

$$\Delta \varepsilon_{cp} = \frac{n-1}{2n} \times \frac{\sigma_{c, cgp}}{E_{c, t0}} \quad \Delta \sigma_p = \frac{\Delta \varepsilon_{cp}}{E_p}$$

	Seção	Fase 1	Fase 2	Fase 3
$\Delta \sigma_p$ (kgf/cm ²)	S0	0,0	0,0	0,0
	S1	327,7	121,2	0,0
	S2	377,6	131,6	0,0
	S3	417,1	134,6	0,0
	S4	424,4	135,8	0,0
	S5	421,7	135,6	0,0
	S6	424,4	135,8	0,0
	S7	417,1	134,6	0,0
	S8	377,6	131,6	0,0
	S9	327,7	121,2	0,0
	S10	0,0	0,0	0,0

Tensões nos cabos e solicitações devido à protensão após as perdas imediatas

C1

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta \sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12366	173,1	172,0	-19,9	12,3	11,8%
S2	12548	175,7	175,2	-12,9	-58,6	10,5%
S3	12742	178,4	178,3	-5,3	-98,9	9,1%
S4	12745	178,4	178,4	0,0	-106,9	9,1%
S5	12635	176,9	176,9	0,0	-106,0	9,9%
S6	12745	178,4	178,4	0,0	-106,9	9,1%
S7	12742	178,4	178,3	5,3	-98,9	9,1%
S8	12548	175,7	175,2	12,9	-58,6	10,5%
S9	12366	173,1	172,0	19,9	12,3	11,8%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C2

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12398	173,6	172,6	-18,4	-31,7	11,6%
S2	12586	176,2	175,9	-11,1	-96,5	10,2%
S3	12776	178,9	178,8	-3,7	-130,2	8,9%
S4	12814	179,4	179,4	0,0	-134,4	8,6%
S5	12704	177,8	177,8	0,0	-133,2	9,4%
S6	12814	179,4	179,4	0,0	-134,4	8,6%
S7	12776	178,9	178,8	3,7	-130,2	8,9%
S8	12586	176,2	175,9	11,1	-96,5	10,2%
S9	12398	173,6	172,6	18,4	-31,7	11,6%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C3

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12450	174,3	173,6	-15,2	-72,3	11,2%
S2	12605	176,5	176,2	-9,9	-130,8	10,1%
S3	12801	179,2	179,2	-2,2	-159,6	8,7%
S4	12883	180,4	180,4	0,0	-162,2	8,1%
S5	12772	178,8	178,8	0,0	-160,8	8,9%
S6	12883	180,4	180,4	0,0	-162,2	8,1%
S7	12801	179,2	179,2	2,2	-159,6	8,7%
S8	12605	176,5	176,2	9,9	-130,8	10,1%
S9	12450	174,3	173,6	15,2	-72,3	11,2%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C4

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12690	177,7	177,3	-10,8	-114,7	9,5%
S2	12889	180,5	180,4	-5,0	-155,5	8,1%
S3	13079	183,1	183,1	0,0	-164,6	6,7%
S4	13193	184,7	184,7	0,0	-166,1	5,9%
S5	13128	183,8	183,8	0,0	-165,2	6,4%
S6	13193	184,7	184,7	0,0	-166,1	5,9%
S7	13079	183,1	183,1	0,0	-164,6	6,7%
S8	12889	180,5	180,4	5,0	-155,5	8,1%
S9	12690	177,7	177,3	10,8	-114,7	9,5%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C5

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12764	178,7	178,6	-4,4	-156,1	9,0%
S2	12939	181,1	181,1	0,0	-162,9	7,7%
S3	13053	182,7	182,7	0,0	-164,3	6,9%
S4	13168	184,3	184,3	0,0	-165,7	6,1%
S5	13197	184,8	184,8	0,0	-166,1	5,9%
S6	13168	184,3	184,3	0,0	-165,7	6,1%
S7	13053	182,7	182,7	0,0	-164,3	6,9%
S8	12939	181,1	181,1	0,0	-162,9	7,7%
S9	12764	178,7	178,6	4,4	-156,1	9,0%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

Resumo das solicitações e tensões nas fibras extremas do concreto devido à protensão após as perdas imediatas

1ª etapa de protensão

Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	518,2	-53,5	-91,7	0,0	469,4	957,7
S2	527,3	-33,8	-285,9	0,0	-25,1	1496,8
S3	536,3	-11,2	-388,7	0,0	-281,1	1788,0
S4	538,2	0,0	-403,5	0,0	-317,0	1830,5
S5	533,6	0,0	-400,0	0,0	-314,2	1814,7
S6	538,2	0,0	-403,5	0,0	-317,0	1830,5
S7	536,3	11,2	-388,7	0,0	-281,1	1788,0
S8	527,3	33,8	-285,9	0,0	-25,1	1496,8
S9	518,2	53,5	-91,7	0,0	469,4	957,7
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

2ª etapa de protensão

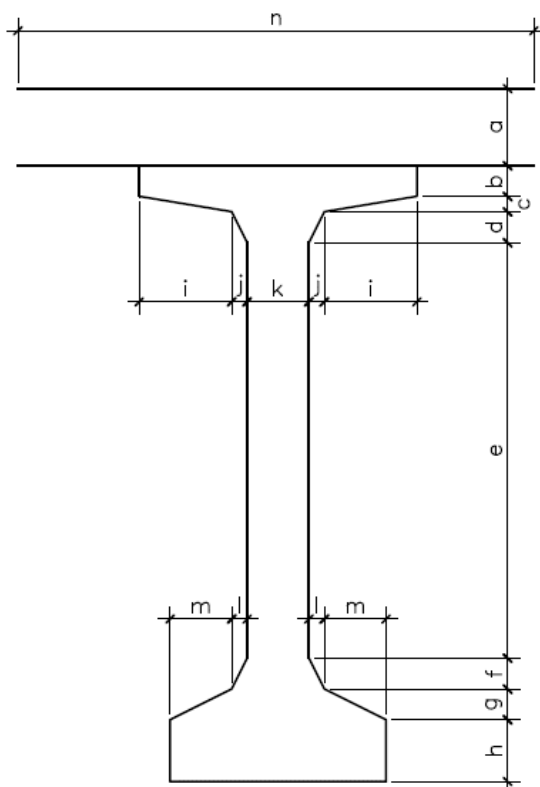
Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	356,0	-15,2	-270,8	0,0	-219,9	1221,4
S2	361,5	-5,0	-318,4	0,0	-336,5	1358,0
S3	365,8	0,0	-328,9	0,0	-358,2	1392,6
S4	369,0	0,0	-331,8	0,0	-361,3	1404,8
S5	368,6	0,0	-331,4	0,0	-360,8	1402,9
S6	369,0	0,0	-331,8	0,0	-361,3	1404,8
S7	365,8	0,0	-328,9	0,0	-358,2	1392,6
S8	361,5	5,0	-318,4	0,0	-336,5	1358,0
S9	356,0	15,2	-270,8	0,0	-219,9	1221,4
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Cálculo das perdas lentas de protensão

$U (\%) = 80$ (umidade relativa do ar)

$$\gamma = 2,22 \quad \gamma = 1 + e^{(-7,8+0,1 \times U)}$$

Cálculo da espessura fictícia



Seção	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)
S0	0,000	0,050	0,050	0,050
S1	0,000	0,050	0,050	0,100
S2	0,000	0,050	0,050	0,100
S3	0,000	0,050	0,050	0,100
S4	0,000	0,050	0,050	0,100
S5	0,000	0,050	0,050	0,100
S6	0,000	0,050	0,050	0,100
S7	0,000	0,050	0,050	0,100
S8	0,000	0,050	0,050	0,100
S9	0,000	0,050	0,050	0,100
S10	0,000	0,050	0,050	0,050

Seção	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)	i (m)	j (m)	k (m)	l (m)	m (m)	n (m)
S0	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200
S1	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S2	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S3	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S4	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S5	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S6	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S7	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S8	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S9	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S10	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200

Seção	P _{ext} (m)	P _{int} (m)	u (m)	A (m ²)	h _{fic} (m)
S0	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030
S1	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S2	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S3	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S4	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S5	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S6	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S7	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S8	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S9	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S10	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030

Onde,

P_{ext} - é o perímetro externo da seção

P_{int} - é o perímetro interno da seção

u - é o perímetro da seção em contato com o ar, dado por: $P_{ext} + P_{int}/2$

A - é a área da seção transversal

h_{fic} - é a espessura fictícia, dada por: $\gamma \times 2 \times A / u$

Cálculo da idade corrigida

$$t_* = \frac{\alpha}{30} \times \sum_{t=0}^t [(T_i + 10) \times \Delta t_i]$$

$\alpha = 1$ (fluência) $T_i (^\circ) = 25$

Δt_i (dias) = 9 (média ponderada das idades de protensão)

t_{0*} (dias) = 10,5 (fluência)


t_{0*} (dias) = 10,5 (retração)

$t_{\infty*}$ (dias) = ∞

Fluência

a deformação por fluência é dada por:

$$\varepsilon_{c\phi}(t_2; t_0) = \frac{\sigma_{c, t_0}}{E_{c, 28}} \times \varphi(t_2; t_0)$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 40/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

onde:

$$\varphi_{(t_1;t_0)} = \varphi_{d\infty} \times \beta_d + \varphi_{f\infty} \times [\beta_f(t_{1*}) - \beta_f(t_{0*})] + \varphi_a$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\beta_d = \frac{t_{1*} - t_{0*} + 20}{t_{1*} - t_{0*} + 70}$$

$$\varphi_{f\infty} = \varphi_{1c} \times \varphi_{2c}$$

$$\varphi_{1c} = 4,45 - 0,035 \times U \quad \varphi_{2c} = \frac{42 + h_{fic}(cm)}{20 + h_{fic}(cm)}$$

$$\beta_f(t) = \frac{t^2 + A \times t + B}{t^2 + C \times t + D} \quad \text{com} \quad \begin{cases} A = 42 \times h_{fic}^3 - 350 \times h_{fic}^2 + 588 \times h_{fic} + 113 \\ B = 768 \times h_{fic}^3 - 3060 \times h_{fic}^2 + 3234 \times h_{fic} - 23 \\ C = -200 \times h_{fic}^3 + 13 \times h_{fic}^2 + 1090 \times h_{fic} + 183 \\ D = 7579 \times h_{fic}^3 - 31916 \times h_{fic}^2 + 35343 \times h_{fic} + 1931 \end{cases}$$

$$\varphi_a = 0,8 \times \left[1 - \frac{9 \times t_{0*} \times (t_{0*} + 42)}{(9 \times t_{0*} + 40) \times (t_{0*} + 61)} \right]$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\varphi_a = 0,387$$

$$\varphi_{1c} = 1,7$$

$$\beta_{f\infty} = 1,0$$

$$\beta_d = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	φ_{2c}	φ_{∞}	$\beta_{f(t0)}$	$\varphi_{(\infty,t0)}$
S0	1,030	1,179	1,945	0,210	2,323
S1	0,469	1,329	2,193	0,222	2,493
S2	0,469	1,329	2,193	0,222	2,493
S3	0,412	1,360	2,243	0,224	2,527
S4	0,469	1,329	2,193	0,222	2,493
S5	0,469	1,329	2,193	0,222	2,493
S6	0,469	1,329	2,193	0,222	2,493
S7	0,412	1,360	2,243	0,224	2,527
S8	0,469	1,329	2,193	0,222	2,493
S9	0,469	1,329	2,193	0,222	2,493
S10	1,030	1,179	1,945	0,210	2,323

Retração do concreto

a deformação por retração é dada por:

$$\varepsilon_{cs,(t_1;t_0)} = \varepsilon_{cs,(t_{00})} \times [\beta_s(t_{1*}) - \beta_s(t_{0*})]$$

onde:

$$\varepsilon_{cs,(t_{\infty})} = \varepsilon_{1s} \times \varepsilon_{2s}$$

$$\varepsilon_{1s} = - \left(6,16 + \frac{U}{484} - \frac{U^2}{1590} \right) \times 10^4$$

$$\varepsilon_{2s} = \frac{33 + 2 \times h_{fic}}{20,8 + 3 \times h_{fic}}$$

$$\beta_s(t) = \frac{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + A \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + B \times \left(\frac{t}{100}\right)}{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + C \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + D \times \left(\frac{t}{100}\right) + E}$$

$$com \begin{cases} A = 40 \\ B = 116 \times h_{fic}^3 - 282 \times h_{fic}^2 + 220 \times h_{fic} - 4,8 \\ C = 2,5 \times h_{fic}^3 - 8,8 \times h_{fic} + 40,7 \\ D = -75 \times h_{fic}^3 + 585 \times h_{fic}^2 + 496 \times h_{fic} - 6,8 \\ E = -169 \times h_{fic}^4 + 88 \times h_{fic}^3 + 584 \times h_{fic}^2 - 39 \times h_{fic} + 0,8 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{1s} \times 10^4 = 2,3$$

$$\beta_{s\infty} = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	ε_{2s}	$\beta_{s(t0*)}$	$\varepsilon_{cs,(t\infty)} \times 10^4$	$\varepsilon_{cs,(t\infty,t0)} \times 10^4$
S0	1,030	1,468	0,009	3,376	3,344
S1	0,469	1,528	0,037	3,515	3,385
S2	0,469	1,528	0,037	3,515	3,385
S3	0,412	1,535	0,045	3,531	3,370
S4	0,469	1,528	0,037	3,515	3,385
S5	0,469	1,528	0,037	3,515	3,385
S6	0,469	1,528	0,037	3,515	3,385
S7	0,412	1,535	0,045	3,531	3,370
S8	0,469	1,528	0,037	3,515	3,385
S9	0,469	1,528	0,037	3,515	3,385
S10	1,030	1,468	0,009	3,376	3,344

Relaxação do aço

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$E_c \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 354.175$$

$$f_{ptk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 19.000$$

$$\alpha_p = 5,647$$

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente


Seção	M_{g1+g2} (tf.m)	I_z (m ⁴)	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,pgp,g}$ (tf/m ²)
S0	0,00	0,519	-1,040	0,0
S1	254,73	0,376	-0,410	-277,9
S2	452,06	0,376	-0,677	-814,9
S3	593,00	0,376	-0,794	-1253,6
S4	677,57	0,376	-0,809	-1459,0
S5	705,76	0,376	-0,809	-1519,7
S6	677,57	0,376	-0,809	-1459,0
S7	593,00	0,376	-0,794	-1253,6
S8	452,06	0,376	-0,677	-814,9
S9	254,73	0,376	-0,410	-277,9
S10	0,00	0,519	-1,040	0,0

Seção	M_{g3} (tf.m)	I_z (m ⁴)	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,pgp,g}$ (tf/m ²)
S0	0,00	0,941	-1,307	0,0
S1	80,72	0,727	-0,846	-93,9
S2	143,50	0,727	-1,113	-219,7
S3	188,34	0,727	-1,230	-318,7
S4	215,24	0,727	-1,245	-368,6
S5	224,21	0,727	-1,245	-383,9
S6	215,24	0,727	-1,245	-368,6
S7	188,34	0,727	-1,230	-318,7
S8	143,50	0,727	-1,113	-219,7
S9	80,72	0,727	-0,846	-93,9
S10	0,00	0,941	-1,307	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à protensão

1ª etapa de protensão

Seção	N_p (tf)	M_p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I_z (m ⁴)	$\sigma_{c,pgp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	518,2	-91,7	-0,410	0,731	0,376	809,0
S2	527,3	-285,9	-0,677	0,731	0,376	1236,7
S3	536,3	-388,7	-0,794	0,731	0,376	1555,5
S4	538,2	-403,5	-0,809	0,731	0,376	1605,0
S5	533,6	-400,0	-0,809	0,731	0,376	1591,1
S6	538,2	-403,5	-0,809	0,731	0,376	1605,0
S7	536,3	-388,7	-0,794	0,731	0,376	1555,5
S8	527,3	-285,9	-0,677	0,731	0,376	1236,7
S9	518,2	-91,7	-0,410	0,731	0,376	809,0
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 43/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	


2ª etapa de protensão

Seção	N _p (tf)	M _p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I _z (m ⁴)	σ _{c,cgp,p} (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	356,0	-270,8	-0,410	0,731	0,376	782,4
S2	361,5	-318,4	-0,677	0,731	0,376	1068,5
S3	365,8	-328,9	-0,794	0,731	0,376	1195,9
S4	369,0	-331,8	-0,809	0,731	0,376	1219,3
S5	368,6	-331,4	-0,809	0,731	0,376	1217,7
S6	369,0	-331,8	-0,809	0,731	0,376	1219,3
S7	365,8	-328,9	-0,794	0,731	0,376	1195,9
S8	361,5	-318,4	-0,677	0,731	0,376	1068,5
S9	356,0	-270,8	-0,410	0,731	0,376	782,4
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

Seção	σ _{c,cgp,p} (tf/m ²)
S0	0,0
S1	1591,3
S2	2305,2
S3	2751,4
S4	2824,3
S5	2808,8
S6	2824,3
S7	2751,4
S8	2305,2
S9	1591,3
S10	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente + protensão

Seção	σ _{c,cgp,p+g} (tf/m ²)
S0	0,0
S1	1219,6
S2	1270,6
S3	1179,1
S4	996,8
S5	905,3
S6	996,8
S7	1179,1
S8	1270,6
S9	1219,6
S10	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 44/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do coeficiente de fluência do aço

$$\chi_{(t,t_0)} = -\ln(1 - \psi_{(t,t_0)})$$

onde:

$$\psi(t_{\infty}, t_0) = 2,5 \times \psi_{1000}$$

Seção	σ_{p0} (kgf/cm ²)	σ_{p0} / f_{ptk}	ψ_{1000}	$\psi(t_{\infty}, t_0)$	$\chi_{(t_{\infty}, t_0)}$
S0		0,000	0,000	0,000	0,000
S1	12534	0,660	2,016	5,040	0,052
S2	12714	0,669	2,130	5,324	0,055
S3	12890	0,678	2,241	5,603	0,058
S4	12961	0,682	2,286	5,714	0,059
S5	12887	0,678	2,239	5,598	0,058
S6	12961	0,682	2,286	5,714	0,059
S7	12890	0,678	2,241	5,603	0,058
S8	12714	0,669	2,130	5,324	0,055
S9	12534	0,660	2,016	5,040	0,052
S10		0,000	0,000	0,000	0,000

Cálculo da perda lenta total

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t,t_0)} = \frac{\varepsilon_{cs,(t,t_0)} \times E_p + \alpha_p \times \varphi_{(t,t_0)} \times \sigma_{c,ggp,p+g} + \sigma_{p0} \times \chi_{(t,t_0)}}{\chi_p + \chi_c \times \alpha_p \times \eta \times \rho_p}$$

onde:

$$\chi_c = 1 + 0,5 \times \varphi_{(t,t_0)} \quad \chi_p = 1 + \chi_{(t,t_0)}$$

e_p - é a excentricidade de protensão

$$\eta = 1 + e_p^2 \times \frac{A_c}{I_x} \quad \rho_p = \frac{A_s}{A_c}$$

Seção	χ_c	χ_p	e_p (m)	η	ρ_p	$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t,t_0)}$ (kgf/cm ²)	$\Delta\sigma_{lenta}$ (%)
S0	2,162	1,000	-1,307	4,531	0,0000	0,0	0,0%
S1	2,246	1,052	-0,846	2,195	0,0058	2509,2	17,9%
S2	2,246	1,055	-1,113	3,069	0,0058	2471,0	17,6%
S3	2,264	1,058	-1,230	3,527	0,0058	2352,6	16,8%
S4	2,246	1,059	-1,245	3,588	0,0058	2151,4	15,3%
S5	2,246	1,058	-1,245	3,588	0,0058	2040,5	14,6%
S6	2,246	1,059	-1,245	3,588	0,0058	2151,4	15,3%
S7	2,264	1,058	-1,230	3,527	0,0058	2352,6	16,8%
S8	2,246	1,055	-1,113	3,069	0,0058	2471,0	17,6%
S9	2,246	1,052	-0,846	2,195	0,0058	2509,2	17,9%
S10	2,162	1,000	-1,307	4,531	0,0000	0,0	0,0%

Solicitações devido às perdas lentas de protensão

C1

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2509	-35,1	-34,9	4,0	-2,5
S2	-2471	-34,6	-34,5	2,5	11,5
S3	-2353	-32,9	-32,9	1,0	18,3
S4	-2151	-30,1	-30,1	0,0	18,0
S5	-2041	-28,6	-28,6	0,0	17,1
S6	-2151	-30,1	-30,1	0,0	18,0
S7	-2353	-32,9	-32,9	-1,0	18,3
S8	-2471	-34,6	-34,5	-2,5	11,5
S9	-2509	-35,1	-34,9	-4,0	-2,5
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C2

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2509	-35,1	-34,9	3,7	6,4
S2	-2471	-34,6	-34,5	2,2	18,9
S3	-2353	-32,9	-32,9	0,7	24,0
S4	-2151	-30,1	-30,1	0,0	22,6
S5	-2041	-28,6	-28,6	0,0	21,4
S6	-2151	-30,1	-30,1	0,0	22,6
S7	-2353	-32,9	-32,9	-0,7	24,0
S8	-2471	-34,6	-34,5	-2,2	18,9
S9	-2509	-35,1	-34,9	-3,7	6,4
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C3

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2509	-35,1	-35,0	3,1	14,6
S2	-2471	-34,6	-34,5	1,9	25,6
S3	-2353	-32,9	-32,9	0,4	29,3
S4	-2151	-30,1	-30,1	0,0	27,1
S5	-2041	-28,6	-28,6	0,0	25,7
S6	-2151	-30,1	-30,1	0,0	27,1
S7	-2353	-32,9	-32,9	-0,4	29,3
S8	-2471	-34,6	-34,5	-1,9	25,6
S9	-2509	-35,1	-35,0	-3,1	14,6
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C4


Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2509	-35,1	-35,1	2,1	22,7
S2	-2471	-34,6	-34,6	1,0	29,8
S3	-2353	-32,9	-32,9	0,0	29,6
S4	-2151	-30,1	-30,1	0,0	27,1
S5	-2041	-28,6	-28,6	0,0	25,7
S6	-2151	-30,1	-30,1	0,0	27,1
S7	-2353	-32,9	-32,9	0,0	29,6
S8	-2471	-34,6	-34,6	-1,0	29,8
S9	-2509	-35,1	-35,1	-2,1	22,7
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C5

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2509	-35,1	-35,1	0,9	30,7
S2	-2471	-34,6	-34,6	0,0	31,1
S3	-2353	-32,9	-32,9	0,0	29,6
S4	-2151	-30,1	-30,1	0,0	27,1
S5	-2041	-28,6	-28,6	0,0	25,7
S6	-2151	-30,1	-30,1	0,0	27,1
S7	-2353	-32,9	-32,9	0,0	29,6
S8	-2471	-34,6	-34,6	0,0	31,1
S9	-2509	-35,1	-35,1	-0,9	30,7
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

Resumo das solicitações devido às perdas de protensão e tensões nas fibras extremas do concreto

Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-175,0	13,8	71,9	-162,8	-51,8	-434,3
S2	-172,7	7,6	117,0	-111,6	69,2	-553,8
S3	-164,7	2,1	130,8	-85,9	116,2	-580,0
S4	-150,6	0,0	121,8	-76,2	112,1	-536,5
S5	-142,8	0,0	115,6	-72,2	106,3	-508,8
S6	-150,6	0,0	121,8	-76,2	112,1	-536,5
S7	-164,7	-2,1	130,8	-85,9	116,2	-580,0
S8	-172,7	-7,6	117,0	-111,6	69,2	-553,8
S9	-175,0	-13,8	71,9	-162,8	-51,8	-434,3
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 47/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação das tensões elásticas no concreto nas diversas fases de carregamento

Serão verificadas as tensões nas fibras extremas do concreto para as seguintes fases de carregamento:

- Fase 1 = peso próprio da viga isolada + 1ª etapa de protensão
- Fase 2 = fase 1 + 2ª etapa de protensão
- Fase 3 = fase 2 + peso próprio da laje e transversinas
- Fase 4 = fase 3 + 3ª etapa de protensão
- Fase 5 = fase 4 + sobrecarga permanente
- Fase 6 = fase 5 + carga móvel
- Fase 7 = fase 5 + perdas de protensão
- Fase 8 = fase 7 + carga móvel

Tensões limites

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0 \qquad f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51 \qquad s = 0,38$$

- no instante da protensão

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctm,j} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,7 f_{ckj}$$

- na vida útil da obra

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctk,inf} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,6 f_{ck}$$

idade da 1ª protensão (dias) = 3

$$\beta_1 = 0,458 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 18,32 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,08$$

idade da 2ª protensão (dias) = 18

$$\beta_2 = 0,910 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 36,41 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,30$$

idade da 3ª protensão (dias) = 28


$$\beta_3 = 1,000 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 40,00 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,51$$

	tração (tf/m ²)	compressão (tf/m ²)
t = 3	-250,17	1282,36
t = 18	-395,50	2548,94
t = 28	-294,74	2400,00
t = ∞	-294,74	2400,00

Verificação do estado limite de compressão excessiva para a combinação rara de carregamentos (ELS-CE)

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m^2) para 110% da força de protensão

		g_1	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2
S0	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	401	516	918	-242	676
	σ_i (tf/m^2)	-417	1053	636	1344	1980
S2	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	712	-28	684	-370	314
	σ_i (tf/m^2)	-739	1646	907	1494	2401
S3	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	933	-309	624	-394	230
	σ_i (tf/m^2)	-970	1967	997	1532	2529
S4	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	1066	-349	717	-397	320
	σ_i (tf/m^2)	-1108	2014	906	1545	2451
S5	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	1110	-346	765	-397	368
	σ_i (tf/m^2)	-1154	1996	842	1543	2386
S6	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	1066	-349	717	-397	320
	σ_i (tf/m^2)	-1108	2014	906	1545	2451
S7	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	933	-309	624	-394	230
	σ_i (tf/m^2)	-970	1967	997	1532	2529
S8	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	712	-28	684	-370	314
	σ_i (tf/m^2)	-739	1646	907	1494	2401
S9	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	401	516	918	-242	676
	σ_i (tf/m^2)	-417	1053	636	1344	1980
S10	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	49/500

Verificação do estado limite de formação de fissuras para a combinação frequente de carregamentos (ELS-F)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{G_{L,k}} + \psi_1 F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Q_{j,k}} \quad \text{com } \psi_1 = 0,5$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	401	469	871	-220	651	263	914
	σ _i (tf/m ²)	-417	958	541	1221	1762	-274	1488
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	712	-25	687	-336	350	468	818
	σ _i (tf/m ²)	-739	1497	757	1358	2115	-487	1629
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	933	-281	652	-358	294	615	909
	σ _i (tf/m ²)	-970	1788	818	1393	2211	-639	1572
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	1066	-317	749	-361	388	703	1090
	σ _i (tf/m ²)	-1108	1830	723	1405	2128	-730	1398
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	1110	-314	796	-361	435	732	1167
	σ _i (tf/m ²)	-1154	1815	661	1403	2064	-760	1303
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	1066	-317	749	-361	388	703	1090
	σ _i (tf/m ²)	-1108	1830	723	1405	2128	-730	1398
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	933	-281	652	-358	294	615	909
	σ _i (tf/m ²)	-970	1788	818	1393	2211	-639	1572
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	712	-25	687	-336	350	468	818
	σ _i (tf/m ²)	-739	1497	757	1358	2115	-487	1629
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	401	469	871	-220	651	263	914
	σ _i (tf/m ²)	-417	958	541	1221	1762	-274	1488
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	86	86	108	194
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	914	60	975	76	1051
	σ_i (tf/m ²)	0	1488	-162	1327	-202	1125
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	153	153	191	344
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	818	108	926	134	1060
	σ_i (tf/m ²)	0	1629	-287	1342	-358	983
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	201	201	250	451
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	909	141	1050	176	1226
	σ_i (tf/m ²)	0	1572	-377	1195	-469	726
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	229	229	286	515
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	1090	161	1252	201	1453
	σ_i (tf/m ²)	0	1398	-431	967	-536	430
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	239	239	298	537
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	1167	168	1335	209	1545
	σ_i (tf/m ²)	0	1303	-449	855	-559	296
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	229	229	286	515
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	1090	161	1252	201	1453
	σ_i (tf/m ²)	0	1398	-431	967	-536	430
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	201	201	250	451
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	909	141	1050	176	1226
	σ_i (tf/m ²)	0	1572	-377	1195	-469	726
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	153	153	191	344
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	818	108	926	134	1060
	σ_i (tf/m ²)	0	1629	-287	1342	-358	983
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	86	86	108	194
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	914	60	975	76	1051
	σ_i (tf/m ²)	0	1488	-162	1327	-202	1125
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-163	-77	108	31
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-52	923	76	999
	σ_i (tf/m ²)	-434	892	-202	690
S2	σ_s (tf/m ²)	-112	41	191	232
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	69	995	134	1129
	σ_i (tf/m ²)	-554	788	-358	430
S3	σ_s (tf/m ²)	-86	115	250	365
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	116	1166	176	1342
	σ_i (tf/m ²)	-580	615	-469	146
S4	σ_s (tf/m ²)	-76	153	286	439
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	112	1364	201	1565
	σ_i (tf/m ²)	-536	430	-536	-106
S5	σ_s (tf/m ²)	-72	167	298	464
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	106	1442	209	1651
	σ_i (tf/m ²)	-509	346	-559	-213
S6	σ_s (tf/m ²)	-76	153	286	439
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	112	1364	201	1565
	σ_i (tf/m ²)	-536	430	-536	-106
S7	σ_s (tf/m ²)	-86	115	250	365
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	116	1166	176	1342
	σ_i (tf/m ²)	-580	615	-469	146
S8	σ_s (tf/m ²)	-112	41	191	232
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	69	995	134	1129
	σ_i (tf/m ²)	-554	788	-358	430
S9	σ_s (tf/m ²)	-163	-77	108	31
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-52	923	76	999
	σ_i (tf/m ²)	-434	892	-202	690
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	52/500

Verificação do estado limite de descompressão para a combinação quase permanente de carregamentos (ELS-D)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_2 = 0,3$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	401	469	871	-220	651	263	914
	σ _i (tf/m ²)	-417	958	541	1221	1762	-274	1488
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	712	-25	687	-336	350	468	818
	σ _i (tf/m ²)	-739	1497	757	1358	2115	-487	1629
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	933	-281	652	-358	294	615	909
	σ _i (tf/m ²)	-970	1788	818	1393	2211	-639	1572
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	1066	-317	749	-361	388	703	1090
	σ _i (tf/m ²)	-1108	1830	723	1405	2128	-730	1398
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	1110	-314	796	-361	435	732	1167
	σ _i (tf/m ²)	-1154	1815	661	1403	2064	-760	1303
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	1066	-317	749	-361	388	703	1090
	σ _i (tf/m ²)	-1108	1830	723	1405	2128	-730	1398
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	933	-281	652	-358	294	615	909
	σ _i (tf/m ²)	-970	1788	818	1393	2211	-639	1572
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	712	-25	687	-336	350	468	818
	σ _i (tf/m ²)	-739	1497	757	1358	2115	-487	1629
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	401	469	871	-220	651	263	914
	σ _i (tf/m ²)	-417	958	541	1221	1762	-274	1488
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g ₃	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	86	86	65	151
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	914	60	975	45	1020
	σ_i (tf/m ²)	0	1488	-162	1327	-121	1206
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	153	153	114	267
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	818	108	926	81	1006
	σ_i (tf/m ²)	0	1629	-287	1342	-215	1127
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	201	201	150	351
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	909	141	1050	105	1155
	σ_i (tf/m ²)	0	1572	-377	1195	-281	914
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	229	229	171	401
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	1090	161	1252	121	1372
	σ_i (tf/m ²)	0	1398	-431	967	-322	645
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	239	239	179	418
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	1167	168	1335	126	1461
	σ_i (tf/m ²)	0	1303	-449	855	-336	519
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	229	229	171	401
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	1090	161	1252	121	1372
	σ_i (tf/m ²)	0	1398	-431	967	-322	645
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	201	201	150	351
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	909	141	1050	105	1155
	σ_i (tf/m ²)	0	1572	-377	1195	-281	914
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	153	153	114	267
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	818	108	926	81	1006
	σ_i (tf/m ²)	0	1629	-287	1342	-215	1127
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	86	86	65	151
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	914	60	975	45	1020
	σ_i (tf/m ²)	0	1488	-162	1327	-121	1206
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-163	-77	65	-12
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-52	923	45	968
	σ_i (tf/m ²)	-434	892	-121	771
S2	σ_s (tf/m ²)	-112	41	114	156
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	69	995	81	1076
	σ_i (tf/m ²)	-554	788	-215	573
S3	σ_s (tf/m ²)	-86	115	150	265
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	116	1166	105	1271
	σ_i (tf/m ²)	-580	615	-281	334
S4	σ_s (tf/m ²)	-76	153	171	325
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	112	1364	121	1484
	σ_i (tf/m ²)	-536	430	-322	109
S5	σ_s (tf/m ²)	-72	167	179	345
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	106	1442	126	1567
	σ_i (tf/m ²)	-509	346	-336	10
S6	σ_s (tf/m ²)	-76	153	171	325
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	112	1364	121	1484
	σ_i (tf/m ²)	-536	430	-322	109
S7	σ_s (tf/m ²)	-86	115	150	265
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	116	1166	105	1271
	σ_i (tf/m ²)	-580	615	-281	334
S8	σ_s (tf/m ²)	-112	41	114	156
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	69	995	81	1076
	σ_i (tf/m ²)	-554	788	-215	573
S9	σ_s (tf/m ²)	-163	-77	65	-12
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-52	923	45	968
	σ_i (tf/m ²)	-434	892	-121	771
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 55/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do cisalhamento - $t = \infty$

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,K} = V_p^{\text{prot}}$ em tempo $t = \infty$

Seção	$V_{g1,k}$ (tf)	$V_{g2,k}$ (tf)	$V_{g3,k}$ (tf)	$V_{p,k}$ (tf)	$V_{q,max,k}$ (tf)	$V_{q,min,k}$ (tf)	V_k^{\max} (tf)	V_k^{\min} (tf)
S0	41,30	26,02	20,81	0,00	65,14	0,00	153,27	88,13
S1	31,51	20,82	16,65	-54,91	43,93	-1,66	57,99	12,40
S2	23,63	15,61	12,49	-31,22	36,39	-4,69	56,90	15,82
S3	15,75	10,41	8,32	-9,16	29,49	-8,36	54,82	16,97
S4	7,88	5,20	4,16	0,00	23,24	-12,67	40,48	4,57
S5	0,00	0,00	0,00	0,00	17,63	-17,63	17,63	-17,63
S6	-7,88	-5,20	-4,16	0,00	12,67	-23,24	-4,57	-40,48
S7	-15,75	-10,41	-8,32	9,16	8,36	-29,49	-16,97	-54,82
S8	-23,63	-15,61	-12,49	31,22	4,69	-36,39	-15,82	-56,90
S9	-31,51	-20,82	-16,65	54,91	1,66	-43,93	-12,40	-57,99
S10	-41,30	-26,02	-20,81	0,00	0,00	-65,14	-88,13	-153,27

Verificação do concreto

$$\phi^{\text{bainha}} \text{ (m)} = 0,075$$

$$n_{\text{bainhas alinhadas na alma}} = 1$$


$$V_{sd} = 1,35 \times V_g + \left\{ \begin{matrix} 1,2 \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \times V_p + 1,5 \times V_q$$

$$V_{rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b_{w,nom} \times d$$

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \quad (f_{ck} \text{ em MPa})$$

Seção	V_{sd} (tf)	b_w (m)	H (m)	$\Sigma \Phi/2$ (m)	b_w^{nom} (m)	d (m)	V_{rd2} (tf)
S0	216,7	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2
S1	109,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S2	96,3	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S3	82,5	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S4	58,1	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S5	26,4	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S6	58,1	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S7	82,5	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S8	96,3	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S9	109,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S10	216,7	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 56/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Parcela do esforço cortante absorvida pelos mecanismos complementares à treliça

$$M_{sdu} = 1,35 \times M_g + 1,5 \times M_q$$

Seção	M _{g1,k}	M _{g2,k}	M _{g3,k}	M _{q máx,k}	M _{q mín,k}	M _{sdu} (tf.m)
S0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
S1	153,79	100,94	80,72	201,84	0,00	755,6
S2	272,61	179,45	143,50	358,13	0,00	1341,2
S3	357,48	235,52	188,34	468,89	0,00	1758,2
S4	408,40	269,17	215,24	536,17	0,00	2009,6
S5	425,38	280,38	224,21	558,94	0,00	2093,9
S6	408,40	269,17	215,24	536,17	0,00	2009,6
S7	357,48	235,52	188,34	468,89	0,00	1758,2
S8	272,61	179,45	143,50	358,13	0,00	1341,2
S9	153,79	100,94	80,72	201,84	0,00	755,6
S10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

$$V_c = V_{c0} \times (1 + M_0 / M_{sd,m\acute{a}x}) \leq 2 \times V_{c0}$$

$$M_0 = 0,90 \times (\sigma_p^{prot.} \times W)$$

$$V_{c0} = 0,60 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,70 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}}$$

com fck em MPa

Seção	$\sigma_p^{prot.}$ (tf/m ²)	W _i (m ³)	M ₀ (tf.m)	1+ M ₀ /M _{sd,máx}
S0	0	0,720	0,00	1,00
S1	1745	0,500	784,75	2,04
S2	2301	0,500	1034,91	1,77
S3	2601	0,500	1169,65	1,67
S4	2699	0,500	1213,80	1,60
S5	2709	0,500	1218,29	1,58
S6	2699	0,500	1213,80	1,60
S7	2601	0,500	1169,65	1,67
S8	2301	0,500	1034,91	1,77
S9	1745	0,500	784,75	2,04
S10	0	0,720	0,00	1,00

Seção	b_w^{nom} (m)	d (m)	Vc0 (tf)	2 * Vc0 (tf)	Vc (tf)
S0	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5
S1	0,183	1,784	34,3	68,5	68,5
S2	0,183	1,784	34,3	68,5	60,7
S3	0,183	1,784	34,3	68,5	57,1
S4	0,183	1,784	34,3	68,5	55,0
S5	0,183	1,784	34,3	68,5	54,2
S6	0,183	1,784	34,3	68,5	55,0
S7	0,183	1,784	34,3	68,5	57,1
S8	0,183	1,784	34,3	68,5	60,7
S9	0,183	1,784	34,3	68,5	68,5
S10	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

Seção	Vsd (tf)	Vc (tf)	V _{swd} (tf)
S0	216,7	131,5	85,24
S1	109,6	68,5	41,04
S2	96,3	60,7	35,60
S3	82,5	57,1	25,47
S4	58,1	55,0	3,16
S5	26,4	54,2	0,00
S6	58,1	55,0	3,16
S7	82,5	57,1	25,47
S8	96,3	60,7	35,60
S9	109,6	68,5	41,04
S10	216,7	131,5	85,24

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal

$$V_{swd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{swd} / (0,90 \times d \times f_{ywd})$$

$$\rho_{sw} = (A_{sw} / s) \times (1 / b_w) \geq 0,20 \times f_{ctm} / f_{ywk}$$

$$f_{ywk} = f_{yk}$$

Seção	b_w (m)	V _{swd} (tf)	A_{sw}/s (cm ² /m)	ρ_{sw} (cm ² /m ²)	ρ_{sw}^{min} (cm ² /m ²)
S0	0,70	85,2	12,21	17,44	14,04
S1	0,22	41,0	5,88	26,72	14,04
S2	0,22	35,6	5,10	23,18	14,04
S3	0,22	25,5	3,65	16,59	14,04
S4	0,22	3,2	0,45	2,06	14,04
S5	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S6	0,22	3,2	0,45	2,06	14,04
S7	0,22	25,5	3,65	16,59	14,04
S8	0,22	35,6	5,10	23,18	14,04
S9	0,22	41,0	5,88	26,72	14,04
S10	0,70	85,2	12,21	17,44	14,04

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\psi_{fad} = 0,50$$

$$\Delta\sigma_{sw} = \sigma_{sw}^{m\acute{a}x} - \sigma_{sw}^{m\acute{i}n} \quad \sigma_{sw}^{m\acute{a}x/m\acute{i}n} = \frac{V_{m\acute{a}x/m\acute{i}n} - V_c/2}{b_w \times d \times \rho_{sw}}$$

$$f \cdot f \cdot = \frac{\Delta\sigma_{sw}}{\Delta f_{sd}} \quad \Delta f_{sd}^{fad} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 850$$

Seção	V _{máx} (tf)	V _{mín} (tf)	V _{c/2} (tf)	$\sigma_{sw}^{m\acute{a}x}$ (tf/cm ²)	$\sigma_{sw}^{m\acute{i}n}$ (tf/cm ²)	$\Delta\sigma_{sw}$ (tf/cm ²)	f.f.	ρ_{sw} (cm ² /m ²)
S0	120,70	88,13	65,7	2,52	1,03	1,50	1,76	30,68
S1	36,02	13,23	34,3	0,17	0,00	0,17	1,00	26,72
S2	38,70	18,17	30,4	0,92	0,00	0,92	1,08	25,01
S3	40,07	21,15	28,5	1,77	0,00	1,77	2,08	34,58
S4	28,86	10,91	27,5	0,25	0,00	0,25	1,00	2,06
S5	8,82	-8,82	27,1	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S6	-10,91	-28,86	27,5	0,00	0,25	0,25	1,00	2,06
S7	-21,15	-40,07	28,5	0,00	1,77	1,77	2,08	34,58
S8	-18,17	-38,70	30,4	0,00	0,92	0,92	1,08	25,01
S9	-13,23	-36,02	34,3	0,00	0,17	0,17	1,00	26,72
S10	-88,13	-120,70	65,7	1,03	2,52	1,50	1,76	30,68

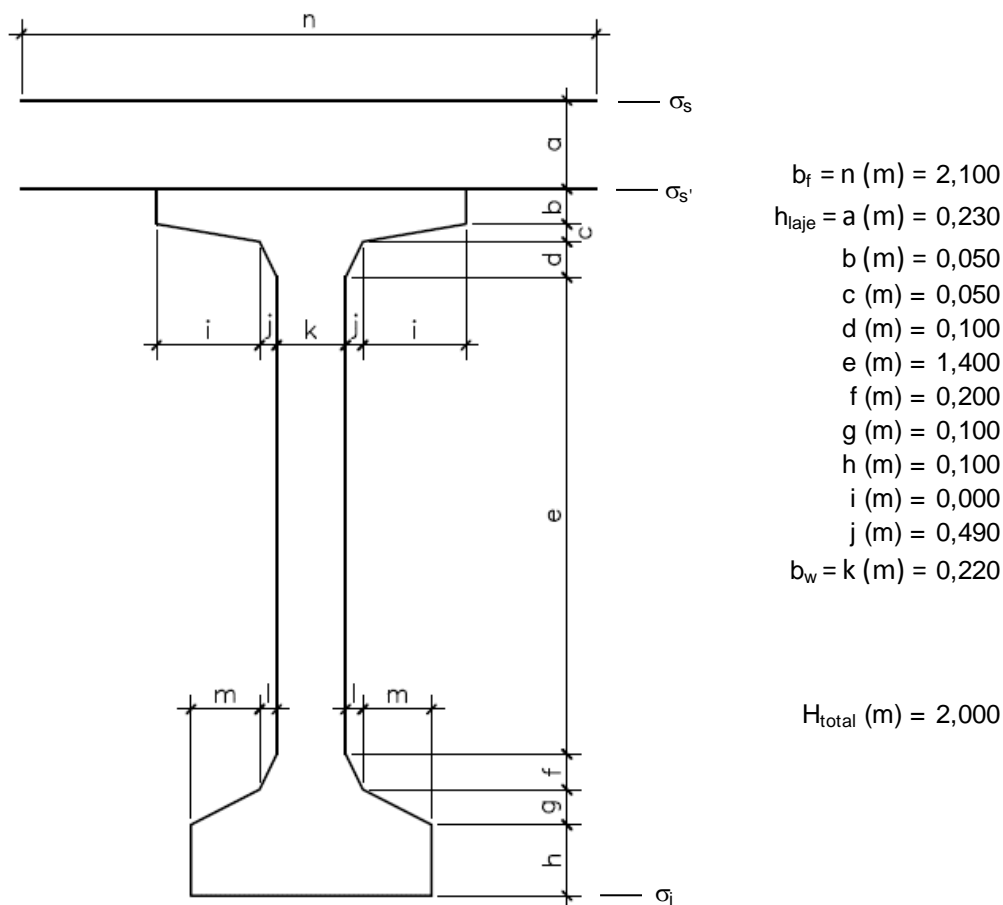
Determinação dos estribos e seus espaçamentos

$$s = (n \times A_s^{1perna}) / (\rho_{sw} \times ff \times b_w^{medio})$$

Seção	b _w (m)	ρ_{wu} (cm ² /m ²)	ρ_{wu} (Méd/Mín)	n	Φ (mm)	A _s ^{1perna}	S _{calculado} (cm)	S _{adotado} (cm)
S0	0,70	30,68						
			28,70	2	12,5	1,23	18,6	17,5
S1	0,22	26,72						
			25,87	2	8,0	0,50	17,7	17,5
S2	0,22	25,01						
			29,80	2	8,0	0,50	15,3	15,0
S3	0,22	34,58						
			18,32	2	8,0	0,50	24,9	22,5
S4	0,22	2,06						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S5	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S6	0,22	2,06						
			18,32	2	8,0	0,50	24,9	22,5
S7	0,22	34,58						
			29,80	2	8,0	0,50	15,3	15,0
S8	0,22	25,01						
			25,87	2	8,0	0,50	17,7	17,5
S9	0,22	26,72						
			28,70	2	12,5	1,23	18,6	17,5
S10	0,70	30,68						

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à ruptura)

Seção S₅



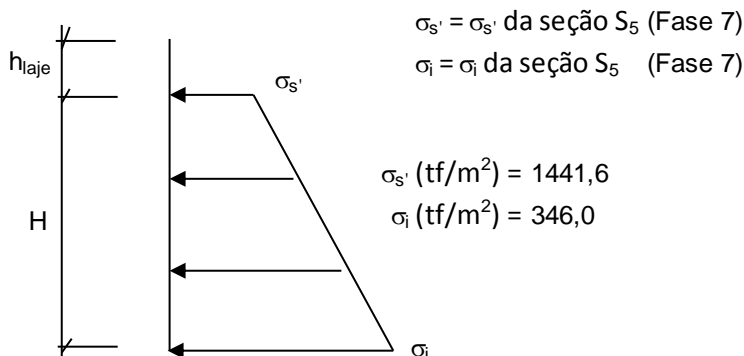
Materiais:

Concreto laje $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$ $E_{cs, laje} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Concreto viga $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$ $E_{cs, viga} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Aço: CP-190 RB $E_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

	$\sigma_{sp}^{t=\infty}$ (kgf/cm ²)
C1	10.594
C2	10.663
C3	10.732
C4	11.087
C5	11.157
C6	0
C7	0
C8	0
C9	0

Solicitações atuantes na seção S₅

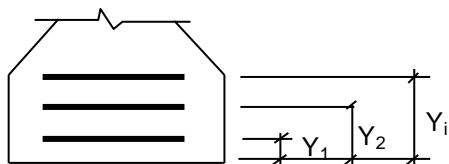
$$M_{g1} \text{ (tf.m)} = 425,4$$

$$M_q \text{ (tf.m)} = 558,9$$

$$M_{g2} \text{ (tf.m)} = 280,4$$

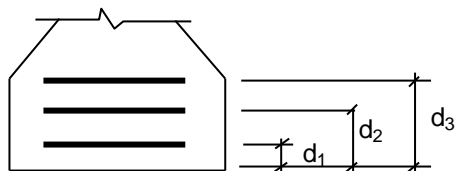
$$M_{g3} \text{ (tf.m)} = 224,2$$

Cálculo do C.G. da armadura de protensão



	y (m)
C1	0,420
C2	0,270
C3	0,120
C4	0,120
C5	0,120
C6	
C7	
C8	
C9	

Cálculo do C.G. da armadura passiva complementar



1ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 6$$

$$\phi_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 16$$

$$d_1 \text{ (m)} = 0,060$$

$$\text{C.G. (cm)} = 0,060$$

2ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\phi_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_2 \text{ (m)} = 0,100$$

3ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\phi_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

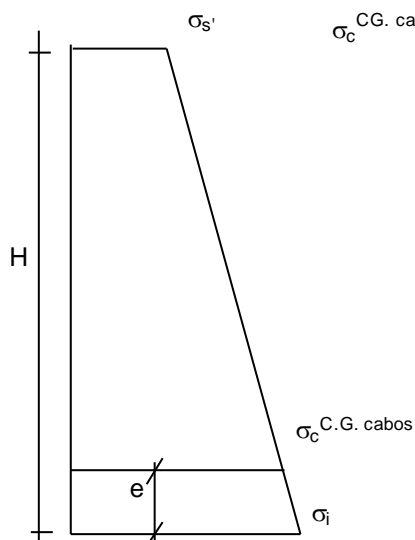
$$d_3 \text{ (m)} = 0,150$$

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\varepsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=\infty} / E_{sp}$$

	$\varepsilon_{sp}^{\text{pré-along.}}$
C1	0,0053
C2	0,0053
C3	0,0054
C4	0,0055
C5	0,0056
C6	0,0000
C7	0,0000
C8	0,0000
C9	0,0000

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



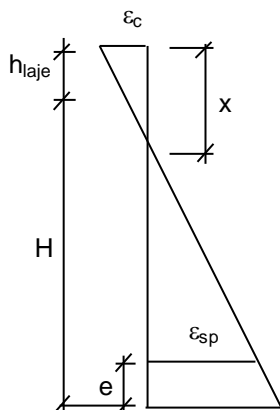
$$\sigma_c^{\text{C.G. cabos}} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma_s') / H] + \sigma_s'$$

$$\varepsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{\text{C.G. cabos}} / E_{cs}$$

	y (m)	σ_c (tf/m ²)	$\varepsilon_{sp}^{\text{descomp}}$
C1	0,420	576,0	0,00018
C2	0,270	493,9	0,00015
C3	0,120	411,7	0,00013
C4	0,120	411,7	0,00013
C5	0,120	411,7	0,00013
C6	0,000	0,0	0,00000
C7	0,000	0,0	0,00000
C8	0,000	0,0	0,00000
C9	0,000	0,0	0,00000

Equilíbrio da seção:

Deformada admitida para a seção S₅



$$\varepsilon_c (\text{‰}) = 2,006$$

$$\varepsilon_{sp} (\text{‰}) = 10,000$$

$$x = [\varepsilon_c / (\varepsilon_c + \varepsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0,353$$

Cálculo da resultante de compressão

Lamela	y_{1i} (m)	y_{2i} (m)	B1 (m)	B2 (m)	ε_{ci} (‰)	σ_{cd} (tf/m ²)	F_i (tf)
1	0,000	0,046	2,100	2,100	1,88	2419	233,7
2	0,046	0,092	2,100	2,100	1,61	2338	225,9
3	0,092	0,138	2,100	2,100	1,35	2174	210,0
4	0,138	0,184	2,100	2,100	1,09	1926	186,1
5	0,184	0,230	2,100	2,100	0,83	1595	154,1
6	0,230	0,240	1,200	1,200	0,67	1353	16,2
7	0,240	0,250	1,200	1,200	0,61	1259	15,1
8	0,250	0,260	1,200	1,200	0,56	1162	13,9
9	0,260	0,270	1,200	1,200	0,50	1060	12,7
10	0,270	0,280	1,200	1,200	0,44	954	11,4
11	0,280	0,290	1,200	1,200	0,38	844	10,1
12	0,290	0,300	1,200	1,200	0,33	731	8,8
13	0,300	0,310	1,200	1,200	0,27	613	7,4
14	0,310	0,320	1,200	1,200	0,21	492	5,9
15	0,320	0,330	1,200	1,200	0,16	367	4,4
16	0,330	0,335	1,200	1,156	0,12	273	1,5
17	0,335	0,339	1,156	1,111	0,09	214	1,1
18	0,339	0,344	1,111	1,067	0,06	154	0,8
19	0,344	0,348	1,067	1,023	0,04	93	0,4
20	0,348	0,353	1,023	0,978	0,01	31	0,1
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 1119,6$$

$$C.G._{cc} \text{ (m)} = 0,122$$

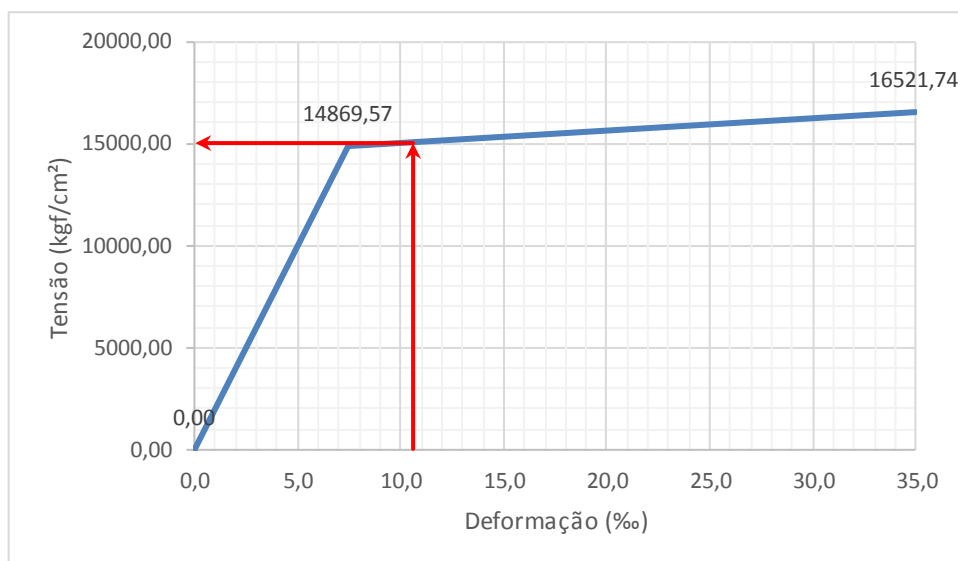
Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

	y (m)	ϵ_{sp} (‰)	ϵ_{sp}^{total} (‰)
C1	0,420	5,13	10,611
C2	0,270	5,56	11,045
C3	0,120	10,00	15,495
C4	0,120	10,00	15,673
C5	0,120	10,00	15,708
C6	0,000	0,00	0,000
C7	0,000	0,00	0,000
C8	0,000	0,00	0,000
C9	0,000	0,00	0,000

Do diagrama tensão-deformação preconizado na NBR 6118, tem-se

$$f_{pyd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.869,6 \quad f_{ptd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 16.521,7$$



$$R_{st,CP} = A_{sp} \times \sigma_{sp}$$

	σ_{sp} (kgf/cm ²)	A_{sp} (cm ²)	$R_{st,CP-190}$ (tf)
C1	15.060	14,00	210,84
C2	15.086	14,00	211,20
C3	15.353	14,00	214,94
C4	15.363	14,00	215,09
C5	15.365	14,00	215,12
C6	0	0,00	0,00
C7	0	0,00	0,00
C8	0	0,00	0,00
C9	0	0,00	0,00
$R_{st,CP}$ (tf) =			1.067,18

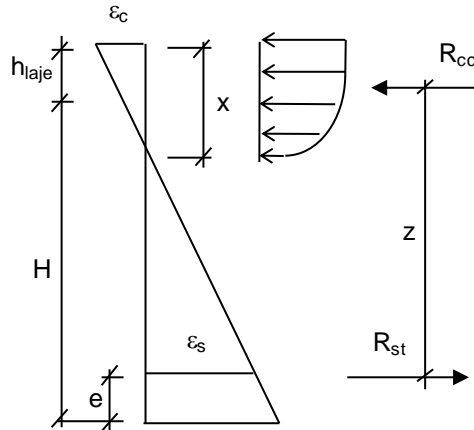
$$A_s^{CA-50} (cm^2) = 12,064$$

$$R_{st,CA-50} = A_s^{CA-50} \times \sigma_s$$

$$R_{st,CA-50} (tf) = 52,5$$

$$R_{st} = R_{st,CP} + R_{st,CA-50}$$

$$R_{st} (tf) = 1.119,6$$



	z (m)
C1	1,688
C2	1,838
C3	1,988
C4	1,988
C5	1,988
C6	0,000
C7	0,000
C8	0,000
C9	0,000
CA-50	2,048

$$z = H + h_{laje} - C.G._{cc} - e$$

$$M_i = R_{st,i} \cdot z_i$$

$$z = \sum M_i / R_{st}$$

$$z (m) = 1,906$$

Assim temos:


$$M_u = R_{st} \cdot z \quad M_u (tf.m) = 2.134$$

$$M_d = 1,35 \cdot (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,5 \cdot (M_q) + \Delta F_{sd} \cdot z$$

$$\Delta F_{sd} (tf) = 0,00$$

$$M_d (tf.m) = 2.094$$

$$\text{Então: } M_u / M_d = 1,02 > 1,00 \text{ (Atende)}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 65/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

5.2 VIGAS DE 38,7m

Características geométricas das seções

As características das seções serão calculadas considerando contribuição das armaduras passivas principais (superior e inferior), além das armaduras ativas.

As características das seções do conjunto viga+laje serão calculadas considerando a relação entre os módulos de elasticidade do concreto da viga e da laje, n .

$$f_{ck,viga} \text{ (MPa)} = 40 \quad f_{ck,laje} \text{ (MPa)} = 40 \quad \text{tipo de agregado considerado: granito ou gnaiss}$$

$$E_{CS,viga} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad E_{CS,laje} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad n = 1,00$$

$$E_s \text{ (MPa)} = 200.000 \quad \alpha = 6,27$$

Viga Isolada

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,700	0,050	1,900	1,850	0,048	1,877	0,089	0,167	0,000
4	0,700	0,700	1,450	1,850	0,400	1,015	1,125	1,142	1,285	0,178
5	0,700	0,700	0,200	0,400	0,200	0,140	0,300	0,042	0,013	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,463 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 2,101 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,519 & V_s' \text{ (m)} &= 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,541 \\
A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,499 \\
Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
\end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A_s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,463 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,541 \\
I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,519 & V_i \text{ (m)} &= 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,499
\end{aligned}$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A _s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

[illegible]

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S3

[illegible]

$$Y_{As.inf} \text{ (m)} = 0,000$$

[illegible]

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S4

[illegible]

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Conjunto viga + laje

$$h_{laje} (m) = 0,23$$

$$\text{intereixo de vigas (m)} = 2,750$$

Vigas centrais

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A (m^2) = 0,633$$

$$I_{zi} (m^4) = 0,011$$

$$V_s (m) = 0,115$$

$$H (m) = 0,230$$

$$I_z (m^4) = 0,003$$

$$V_i (m) = 0,115$$

$$A_{s,sup} (cm^2) = 0,00$$

$$A_{s,inf} (cm^2) = 0,00$$

$$Y_{As,sup} (m) = 0,000$$

$$Y_{As,inf} (m) = 0,000$$

$$A (m^2) = 2,095$$

$$V_s (m) = 0,865$$

$$w_s (m^3) = 1,193$$

$$H (m) = 2,230$$

$$V_s' (m) = 0,635$$

$$w_s' (m^3) = 1,625$$

$$I_z (m^4) = 1,032$$

$$V_i (m) = 1,365$$

$$w_i (m^3) = 0,756$$

Seção S1

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A (m^2) = 0,633$$

$$I_{zi} (m^4) = 0,011$$

$$V_s (m) = 0,115$$

$$H (m) = 0,230$$

$$I_z (m^4) = 0,003$$

$$V_i (m) = 0,115$$

$$A_{s,sup} (cm^2) = 0,00$$

$$A_{s,inf} (cm^2) = 0,00$$

$$Y_{As,sup} (m) = 0,000$$

$$Y_{As,inf} (m) = 0,000$$

$$A (m^2) = 1,364$$

$$V_s (m) = 0,703$$

$$w_s (m^3) = 1,119$$

$$H (m) = 2,230$$

$$V_s' (m) = 0,473$$

$$w_s' (m^3) = 1,663$$

$$I_z (m^4) = 0,786$$

$$V_i (m) = 1,527$$

$$w_i (m^3) = 0,514$$

Seção S2

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A (m^2) = 0,633$$

$$I_{zi} (m^4) = 0,011$$

$$V_s (m) = 0,115$$

$$H (m) = 0,230$$

$$I_z (m^4) = 0,003$$

$$V_i (m) = 0,115$$

$$A_{s,sup} (cm^2) = 0,00$$

$$A_{s,inf} (cm^2) = 0,00$$

$$Y_{As,sup} (m) = 0,000$$

$$Y_{As,inf} (m) = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Seção S3

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Seção S4

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Seção S5

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Vigas de bordo

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 2,009$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,981$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,898$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,668$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,332$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,093$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,470$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,736$$

Seção S1

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S2

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S3

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S4

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Resumo das características das seções

Viga isolada

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	1,463	0,519	-	0,960	1,040	-	0,541	0,499
S1	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S2	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S3	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S4	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S5	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369

Conjunto viga+laje

Vigas centrais

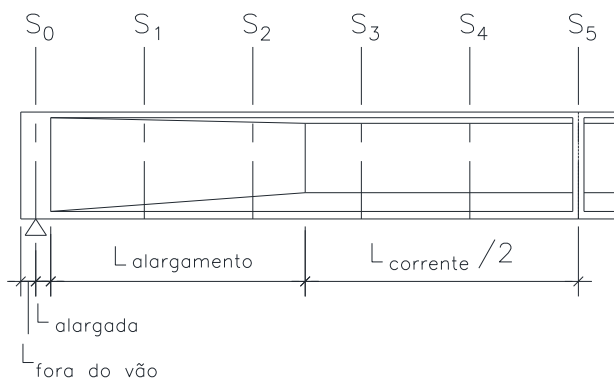
	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,095	1,032	0,865	0,635	1,365	1,193	1,625	0,756
S1	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S2	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S3	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S4	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S5	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514

Vigas de bordo

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,009	0,981	0,898	0,668	1,332	1,093	1,470	0,736
S1	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S2	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S3	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S4	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S5	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507

Cargas permanentes

Peso próprio da viga



$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 38,10$$

$$\Delta S \text{ (m)} = 3,810$$

$$\gamma_{\text{concreto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,50$$

$$L_{\text{fora do vao}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$g_{\text{fora do vao}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$L_{\text{alargada}} \text{ (m)} = 0,900$$

$$g_{\text{alargada}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$L_{\text{alargamento}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$g_{\text{corrente}} \text{ (tf/m)} = 1,828$$

$$L_{\text{corrente}} \text{ (m)} = 35,700$$

$$n_{\text{septos de vao}} = 1$$

$$X_{\text{septo de vao 1}} \text{ (m)} = -$$

$$X_{\text{septo de vao 2}} \text{ (m)} = -$$

$$e_{\text{septos de vao}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$R_{g1} \text{ (tf)} = 37,83$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	36,7	0,0	-	0,0	0,0
S1	27,9	120,4	-	314,3	-326,6
S2	20,9	213,3	-	556,7	-578,4
S3	13,9	279,6	-	729,8	-758,2
S4	7,0	319,4	-	833,7	-866,2
S5	0,0	332,6	-	868,3	-902,1

Diagrama de Cortante (tf)

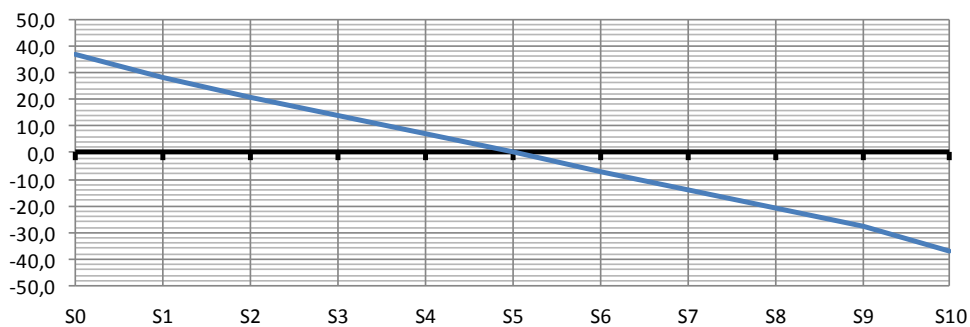
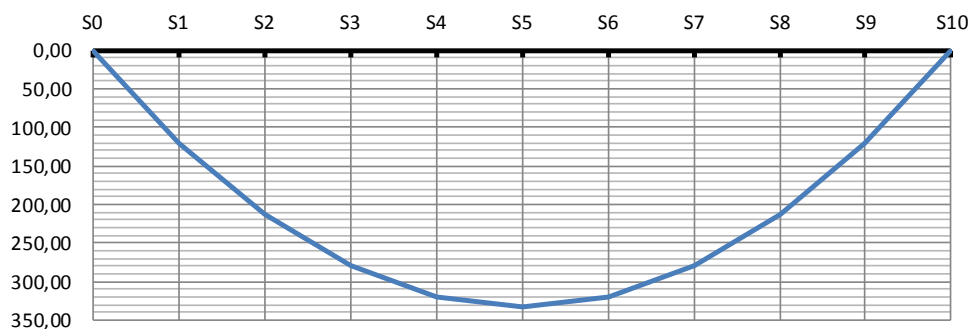


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Peso próprio da laje e transversinas

Vigas centrais

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,581$$

$$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$$

$$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 1,000$$

$$R_{g2} \text{ (tf)} = 32,78$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	30,12	0,00	-	0,0	0,0
S1	24,10	103,29	-	269,6	-280,1
S2	18,07	183,63	-	479,4	-498,0
S3	12,05	241,01	-	629,1	-653,7
S4	6,02	275,44	-	719,0	-747,0
S5	0,00	286,92	-	749,0	-778,2

Diagrama de Cortante (tf)

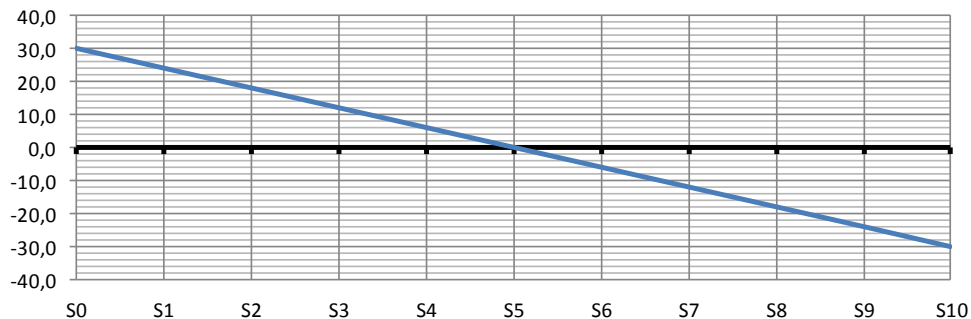
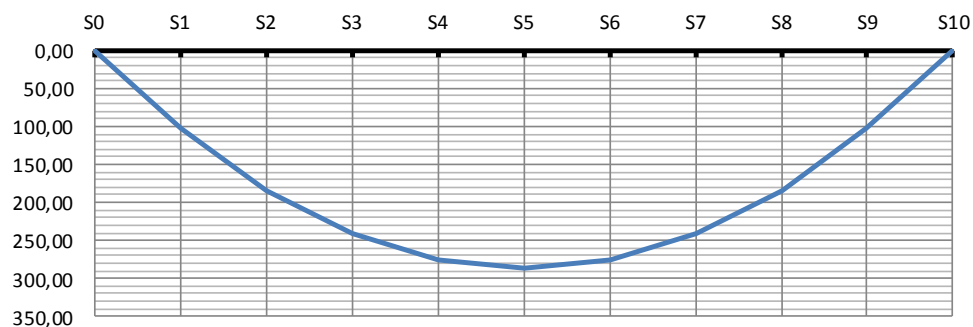


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$

$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,366$

$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 0,500$

$R_{g2} \text{ (tf)} = 27,95$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma'_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	26,02	0,00	-	0,0	0,0
S1	20,81	89,21	-	232,9	-241,9
S2	15,61	158,59	-	414,0	-430,1
S3	10,41	208,15	-	543,4	-564,5
S4	5,20	237,88	-	621,0	-645,2
S5	0,00	247,79	-	646,9	-672,1

Diagrama de Cortante (tf)

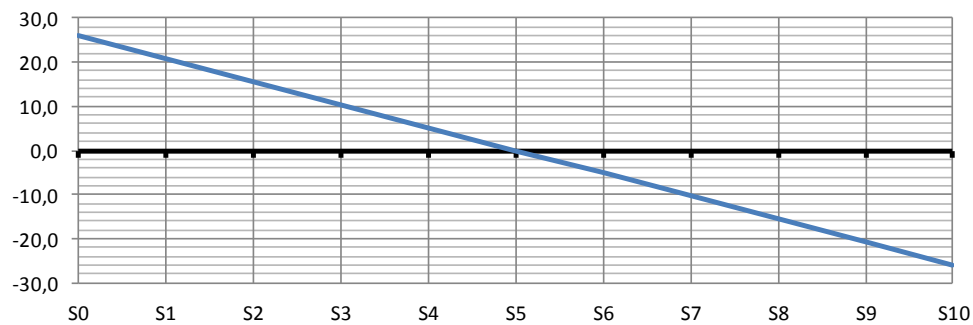
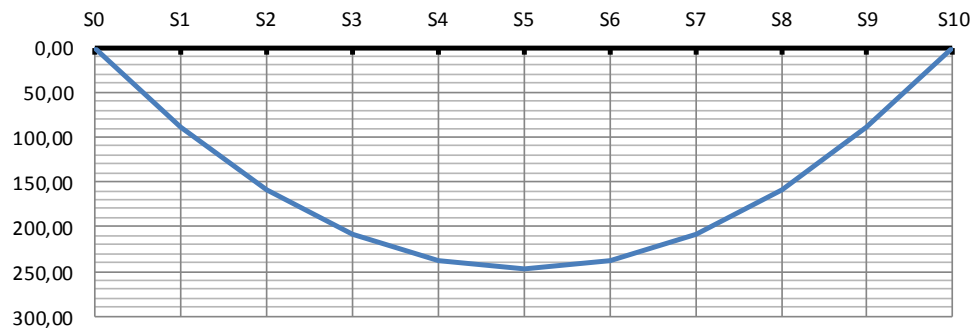


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Sobrecarga Permanente Rodoviária

Vigas centrais

$$h_{\text{asfalto}} (\text{m}) = 0,070$$

$$L_{\text{fora do vão}} (\text{m}) = 1,050$$

$$b_{\text{asfalto}} (\text{m}) = 2,750$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} (\text{tf/m}^3) = 2,40$$

$$g_3 (\text{tf/m}) = 0,462$$

$$R_{g_3} (\text{tf}) = 9,29$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	8,80	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	7,04	30,18	27,0	18,1	-58,7
S2	5,28	53,65	48,0	32,3	-104,3
S3	3,52	70,42	63,0	42,3	-136,9
S4	1,76	80,48	71,9	48,4	-156,4
S5	0,00	83,83	74,9	50,4	-163,0

Diagrama de Cortante (tf)

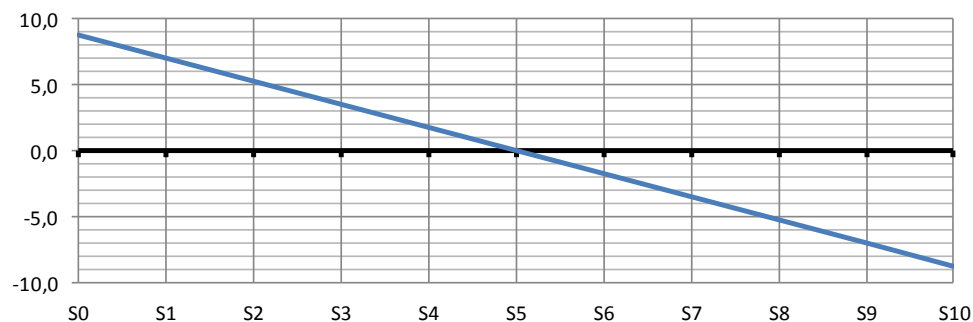
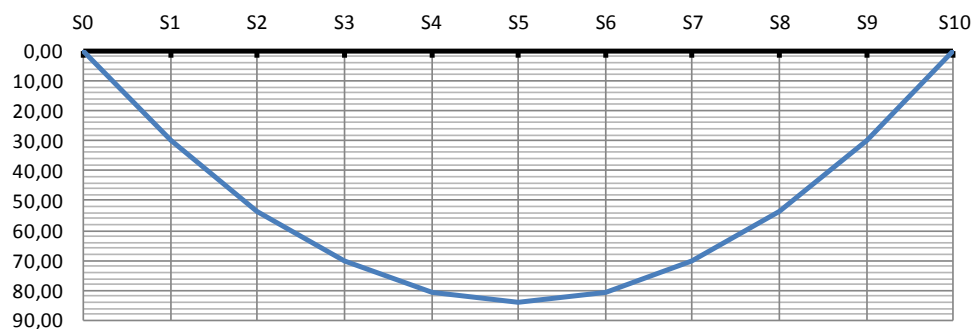


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$$

$$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$$

$$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 1,975$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

$$h_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,10$$

$$b_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,40$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$g_{\text{guarda-rodas}} \text{ (tf/m)} = 0,580$$

$$g_{\text{guarda corpo}} \text{ (tf/m)} = 0,000$$

$$g_{\text{passeio}} \text{ (tf/m)} = 0,000$$

$$g_{\text{pingadeiras}} \text{ (tf/m)} = 0,100$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 1,012$$

$$R_{g_3} \text{ (tf)} = 20,34$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	19,27	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	15,42	66,09	65,1	44,9	-130,5
S2	11,56	117,50	115,7	79,9	-232,0
S3	7,71	154,22	151,9	104,8	-304,5
S4	3,85	176,25	173,6	119,8	-347,9
S5	0,00	183,59	180,8	124,8	-362,4

Diagrama de Cortante (tf)

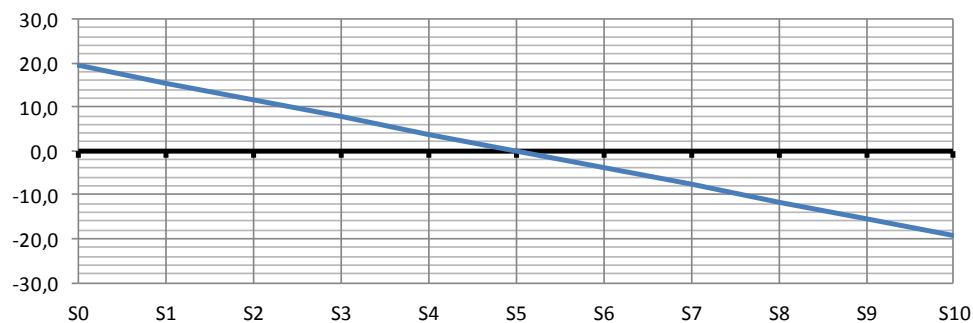
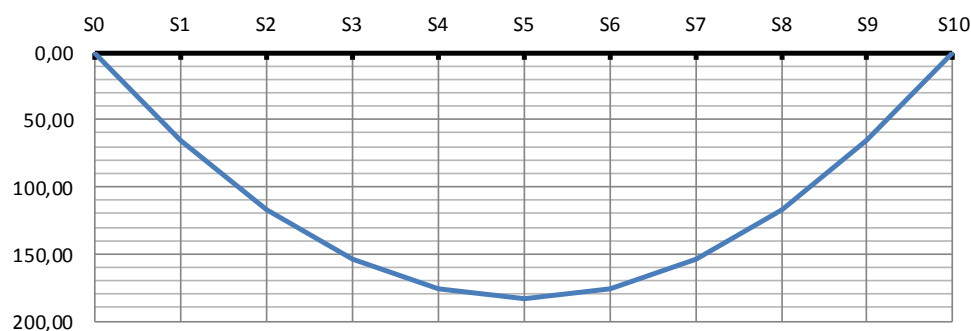


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Carga móvel rodoviária

$$L_{\text{transv}} \text{ (m)} = 13,00$$

$$n_{\text{vigas}} = 5$$

	$X_i \text{ (m)}$	X_i^2	R_{V1}	R_{V2}	R_{V3}	R_{V4}	R_{V5}	R_{V6}
V1	5,50	30,25	0,600	0,400	0,200	0,000	-0,200	-
V2	2,75	7,56	0,400	0,300	0,200	0,100	0,000	-
V3	0,00	0,00	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	-
V4	-2,75	7,56	0,000	0,100	0,200	0,300	0,400	-
V5	-5,50	30,25	-0,200	0,000	0,200	0,400	0,600	-
V6	-	-	-	-	-	-	-	-
	ΣX_i^2	75,625						

$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 38,10$$

$$P \text{ (tf/roda)} = 6,000$$

$$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,500$$

$$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$$

Coefficiente de impacto vertical (CIV)

$$CIV = 1,35 \text{ para vãos menores que } 10\text{m}$$

$$CIV = 1 + 1,06 \left(\frac{20}{L + 50} \right) \text{ para vãos maiores que } 10\text{m}$$


$$CIV = 1,24$$

Coefficiente do número de faixas (CNF)

$$CNF = 1 - 0,05(n - 2) > 0,9$$

$$n_{\text{faixas}} = 2$$

$$CNF = 1,00$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 80/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Coeficiente de impacto adicional (CIA)

CIA = 1,25 para obras em concreto ou mistas

CIA = 1,15 para obras em aço

CIA = 1,25

Aplicado apenas nas seções a uma distância normal à junta inferior a 5m.

Trem-tipo para V1 (viga de bordo)

$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$

$i = 0,073$

$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$

$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 8,850$

	X (m)	Y
a	6,500	0,673
b	6,500	0,673
c	6,100	0,644
d	5,600	0,607
e	3,600	0,462
f	-2,750	0,000
g	-6,100	-0,244
h	-6,500	-0,273
i	-6,500	-0,273

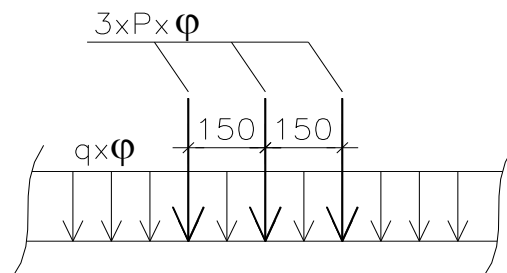
$P \text{ (tf/eixo)} = 6,415$ (sem impacto)

$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,424$ (sem impacto)

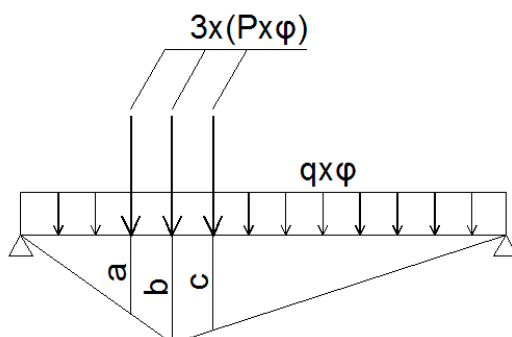
$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$

$P \text{ (tf/eixo)} = 7,958$ (com CIV e CNF)

$q_{\text{total}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,767$ (com CIV e CNF)

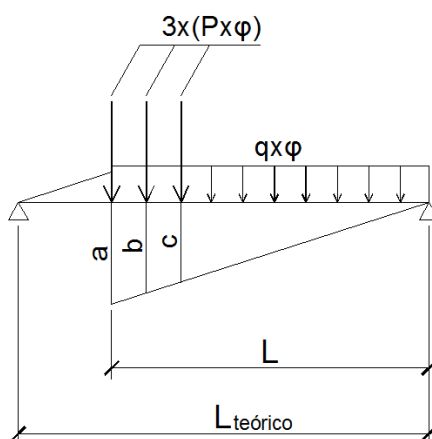


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	3,81	3,129	3,429	3,279	242,11
S2	7,62	5,496	6,096	5,796	343,54
S3	11,43	7,101	8,001	7,551	449,56
S4	15,24	8,244	9,144	8,544	514,12
S5	19,05	8,775	9,525	8,775	536,04
S6	22,86	8,244	9,144	8,544	514,12
S7	26,67	7,101	8,001	7,551	449,56
S8	30,48	5,496	6,096	5,796	343,54
S9	34,29	3,129	3,429	3,279	242,11
S10	38,10	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	38,10	1,000	0,961	0,921	70,74
S1	3,81	34,29	0,900	0,861	0,821	59,76
S2	7,62	30,48	0,800	0,761	0,721	39,70
S3	11,43	26,67	0,700	0,661	0,621	32,26
S4	15,24	22,86	0,600	0,561	0,521	25,50
S5	19,05	19,05	0,500	0,461	0,421	19,41
S6	22,86	15,24	0,400	0,361	0,321	13,99
S7	26,67	11,43	0,300	0,261	0,221	9,25
S8	30,48	7,62	0,200	0,161	0,121	5,18
S9	34,29	3,81	0,100	0,061	0,021	2,23
S10	38,10	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V1

	V _{C.M.} (tf)	M _{C.M.} (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	70,74	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	59,76	242,11	238,4	164,6	-478,0
S2	39,70	343,54	338,3	233,5	-678,2
S3	32,26	449,56	442,7	305,5	-887,5
S4	25,50	514,12	506,3	349,4	-1015,0
S5	19,41	536,04	527,9	364,3	-1058,2
S6	13,99	514,12	506,3	349,4	-1015,0
S7	9,25	449,56	442,7	305,5	-887,5
S8	5,18	343,54	338,3	233,5	-678,2
S9	2,23	242,11	238,4	164,6	-478,0
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Trem-tipo para V2 (viga central)

$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$

$i = 0,036$

$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$

$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 11,600$

	X (m)	Y
a	6,500	0,436
b	6,500	0,436
c	6,100	0,422
d	5,600	0,404
e	3,600	0,331
f	-5,500	0,000
g	-6,100	-0,022
h	-6,500	-0,036
i	-6,500	-0,036

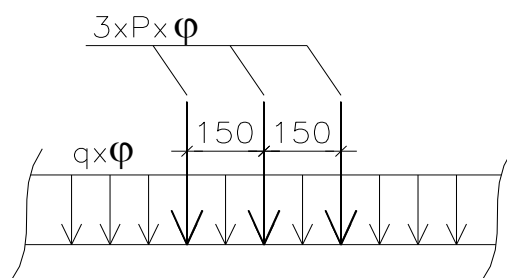
$$P \text{ (tf/eixo)} = 4,407 \quad (\text{sem impacto})$$

$$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,223 \quad (\text{sem impacto})$$

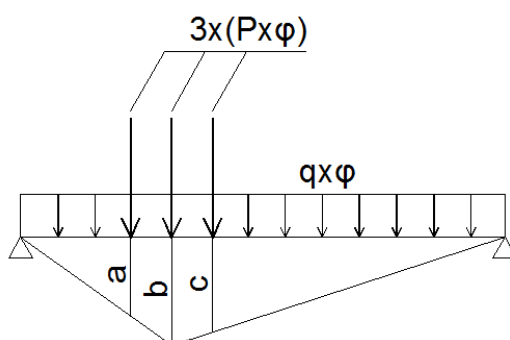
$$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$$

$$P \text{ (tf/eixo)} = 5,468 \quad (\text{com CIV e CNF})$$

$$p \text{ (tf/m)} = 1,518 \quad (\text{com CIV e CNF})$$

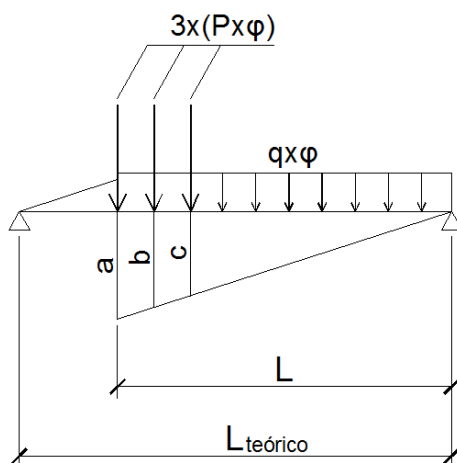


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	3,81	3,129	3,429	3,279	191,15
S2	7,62	5,496	6,096	5,796	271,32
S3	11,43	7,101	8,001	7,551	355,18
S4	15,24	8,244	9,144	8,544	406,15
S5	19,05	8,775	9,525	8,775	423,42
S6	22,86	8,244	9,144	8,544	406,15
S7	26,67	7,101	8,001	7,551	355,18
S8	30,48	5,496	6,096	5,796	271,32
S9	34,29	3,129	3,429	3,279	191,15
S10	38,10	0,000	0,000	0,000	0,00

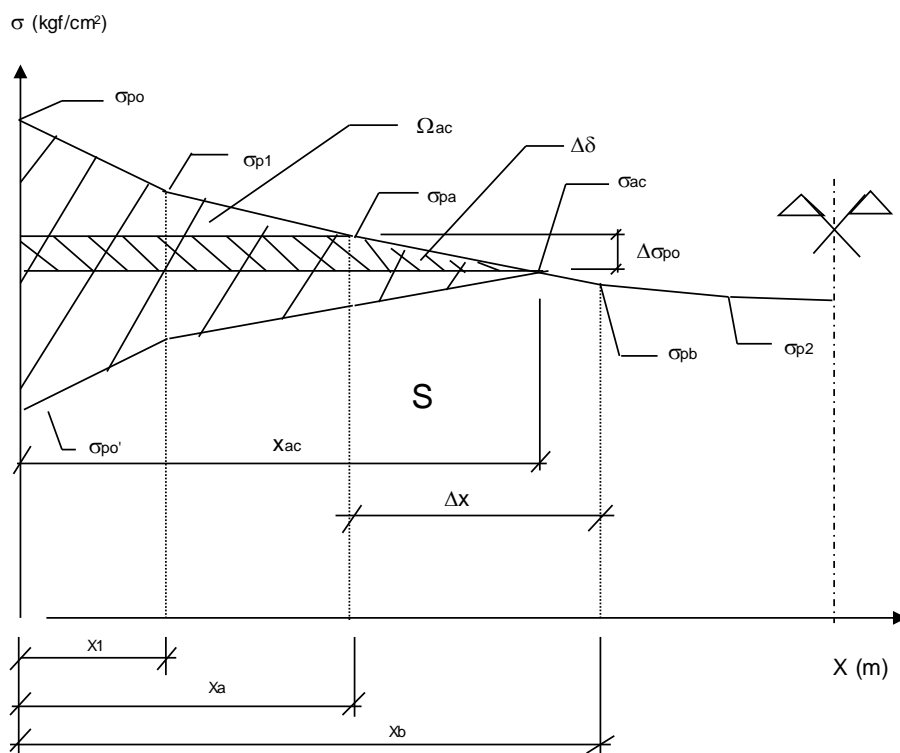
Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)




	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	38,10	1,000	0,961	0,921	55,84
S1	3,81	34,29	0,900	0,861	0,821	46,92
S2	7,62	30,48	0,800	0,761	0,721	30,98
S3	11,43	26,67	0,700	0,661	0,621	25,00
S4	15,24	22,86	0,600	0,561	0,521	19,60
S5	19,05	19,05	0,500	0,461	0,421	14,78
S6	22,86	15,24	0,400	0,361	0,321	10,54
S7	26,67	11,43	0,300	0,261	0,221	6,88
S8	30,48	7,62	0,200	0,161	0,121	3,79
S9	34,29	3,81	0,100	0,061	0,021	1,60
S10	38,10	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V2

	V _{C.M.} (tf)	M _{C.M.} (tf.m)	σ _s (tf/m ²)	σ _s ' (tf/m ²)	σ _i (tf/m ²)
S0	55,84	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	46,92	191,15	170,9	114,9	-371,6
S2	30,98	271,32	242,6	163,2	-527,4
S3	25,00	355,18	317,5	213,6	-690,4
S4	19,60	406,15	363,1	244,2	-789,5
S5	14,78	423,42	378,6	254,6	-823,1
S6	10,54	406,15	363,1	244,2	-789,5
S7	6,88	355,18	317,5	213,6	-690,4
S8	3,79	271,32	242,6	163,2	-527,4
S9	1,60	191,15	170,9	114,9	-371,6
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0



 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 86/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

A tensão após as perdas por atrito é dada por:

$$\sigma_{p0}(x) = \sigma_{p0} * e^{-\mu(\alpha + k * x)}$$

- onde:
- $\sigma_{p0}(x)$ é a tensão no cabo após perdas por atrito numa seção situada à uma distância (x) da ancoragem do cabo.
 - (x) é a distância entre a ancoragem e a seção da viga onde está sendo calculada a tensão $\sigma_{p0}(x)$.
 - μ é o coeficiente de atrito entre o cabo e a bainha. Adota-se $\mu = 0,20$.
 - K é o desvio angular por unidade de comprimento. Adota-se $K = 0,01$ rad/m.
 - α é variação angular entre a ancoragem e a seção em (x).

Cabo C1

Unidade de protensão → 9 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 177

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\begin{aligned} \sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} &= 14.022 & k \text{ (rad/m)} &= 0,01 \\ A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} &= 12,6 & \mu &= 0,20 \\ & & \delta \text{ (mm)} &= 6,0 \quad (\text{reco da ancoragem}) \end{aligned}$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0}(x)$
S0	0,000	38,40	1,700	8,000		16,00	1,000	14022
S1	4,040	34,36	1,150	6,900	1,10	14,90	0,988	13856
S2	7,830	30,57	0,763	4,700	3,30	12,70	0,973	13646
S3	11,620	26,78	0,520	2,600	5,40	10,60	0,959	13444
S4	15,410	22,99	0,422	0,400	7,60	8,40	0,944	13240
S5	19,200	19,20	0,420	0,000	8,00	8,00	0,936	13122
S6	22,990	15,41	0,422	-0,400	8,40	7,60	0,944	13240
S7	26,780	11,62	0,520	-2,600	10,60	5,40	0,959	13444
S8	30,570	7,83	0,763	-4,700	12,70	3,30	0,973	13646
S9	34,360	4,04	1,150	-6,900	14,90	1,10	0,988	13856
S10	38,400	0,00	1,700	-8,000	16,00		1,000	14022

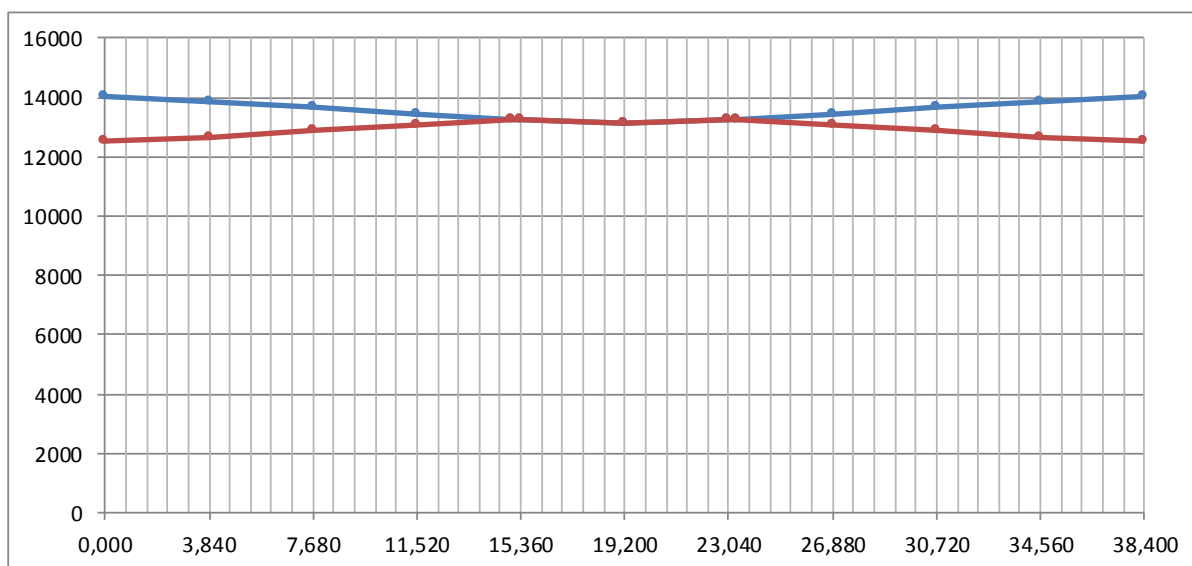
$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 130 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 130 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0
S1	12664	159,6	1,019	0,131	158,4	-19,2	20,7
S2	12874	162,2	1,019	-0,257	161,7	-13,3	-41,5
S3	13076	164,8	1,019	-0,499	164,6	-7,5	-82,1
S4	13240	166,8	1,019	-0,597	166,8	-1,2	-99,5
S5	13122	165,3	1,019	-0,599	165,3	0,0	-99,1
S6	13240	166,8	1,019	-0,597	166,8	1,2	-99,5
S7	13076	164,8	1,019	-0,499	164,6	7,5	-82,1
S8	12874	162,2	1,019	-0,257	161,7	13,3	-41,5
S9	12664	159,6	1,019	0,131	158,4	19,2	20,7
S10	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm^2 e comprimento em metros)

Cabo C2

Unidade de protensão → 9 $\phi 15,2$ Força de puxada (tf) → 177

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} (\text{kgf/cm}^2) = 14.022$$

$$k (\text{rad/m}) = 0,01$$

$$A_{sp} (\text{cm}^2) = 12,6$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta (\text{mm}) = 6,0$$

(recuo da ancoragem)

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	38,40	1,350	6,500		13,00	1,000	14022
S1	4,040	34,36	0,890	6,400	0,10	12,90	0,992	13904
S2	7,830	30,57	0,539	4,200	2,30	10,70	0,977	13694
S3	11,620	26,78	0,333	2,000	4,50	8,50	0,962	13486
S4	15,410	22,99	0,270	0,000	6,50	6,50	0,948	13291
S5	19,200	19,20	0,270	0,000	6,50	6,50	0,941	13191
S6	22,990	15,41	0,270	0,000	6,50	6,50	0,948	13291
S7	26,780	11,62	0,333	-2,000	8,50	4,50	0,962	13486
S8	30,570	7,83	0,539	-4,200	10,70	2,30	0,977	13694
S9	34,360	4,04	0,890	-6,400	12,90	0,10	0,992	13904
S10	38,400	0,00	1,350	-6,500	13,00		1,000	14022

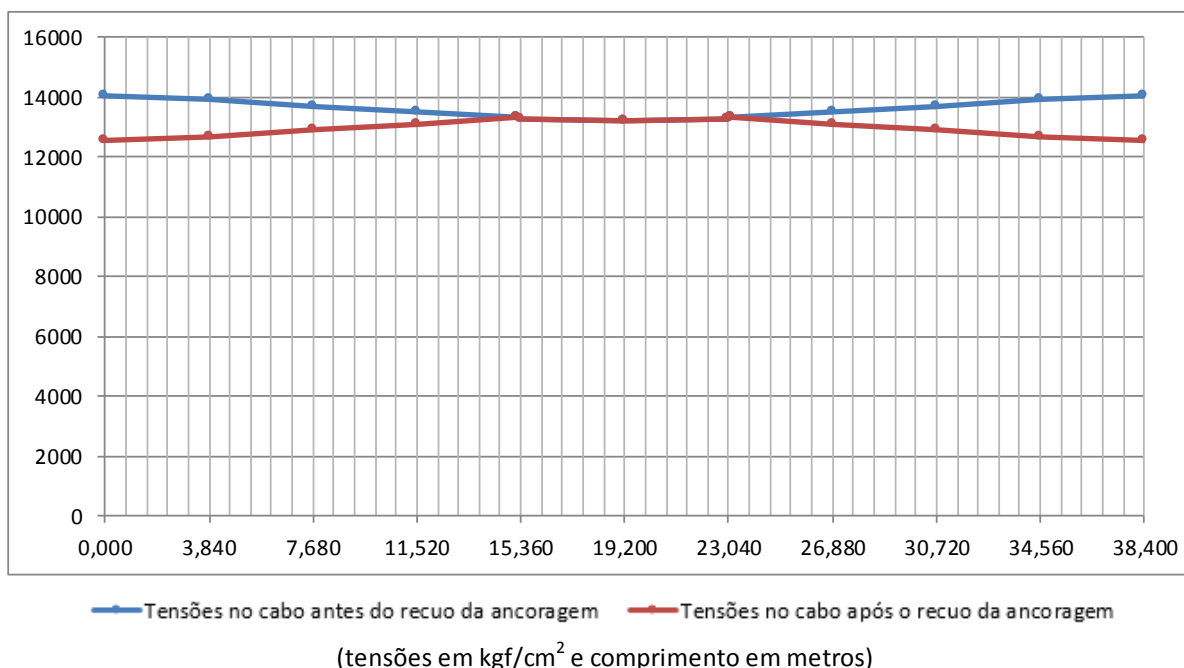
$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 131 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 131 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,310	0,0	0,0	0,0
S1	12697	160,0	1,019	-0,129	159,0	-17,8	-20,5
S2	12907	162,6	1,019	-0,480	162,2	-11,9	-77,9
S3	13115	165,2	1,019	-0,687	165,1	-5,8	-113,4
S4	13291	167,5	1,019	-0,749	167,5	0,0	-125,5
S5	13191	166,2	1,019	-0,749	166,2	0,0	-124,5
S6	13291	167,5	1,019	-0,749	167,5	0,0	-125,5
S7	13115	165,2	1,019	-0,687	165,1	5,8	-113,4
S8	12907	162,6	1,019	-0,480	162,2	11,9	-77,9
S9	12697	160,0	1,019	-0,129	159,0	17,8	-20,5
S10	0	0,0	1,040	0,310	0,0	0,0	0,0



Cabo C3

Unidade de protensão → 9 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 177

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 12,6$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0} (x)$
S0	0,000	38,40	1,000	5,000		10,00	1,000	14022
S1	4,040	34,36	0,647	5,00	0,00	10,00	0,992	13909
S2	7,830	30,57	0,338	3,80	1,20	8,80	0,980	13746
S3	11,620	26,78	0,159	1,60	3,40	6,60	0,966	13538
S4	15,410	22,99	0,120	0,00	5,00	5,00	0,953	13361
S5	19,200	19,20	0,120	0,00	5,00	5,00	0,946	13260
S6	22,990	15,41	0,120	0,00	5,00	5,00	0,953	13361
S7	26,780	11,62	0,159	-1,60	6,60	3,40	0,966	13538
S8	30,570	7,83	0,338	-3,80	8,80	1,20	0,980	13746
S9	34,360	4,04	0,647	-5,00	10,00	0,00	0,992	13909
S10	38,400	0,00	1,000	-5,00	10,00		1,000	14022

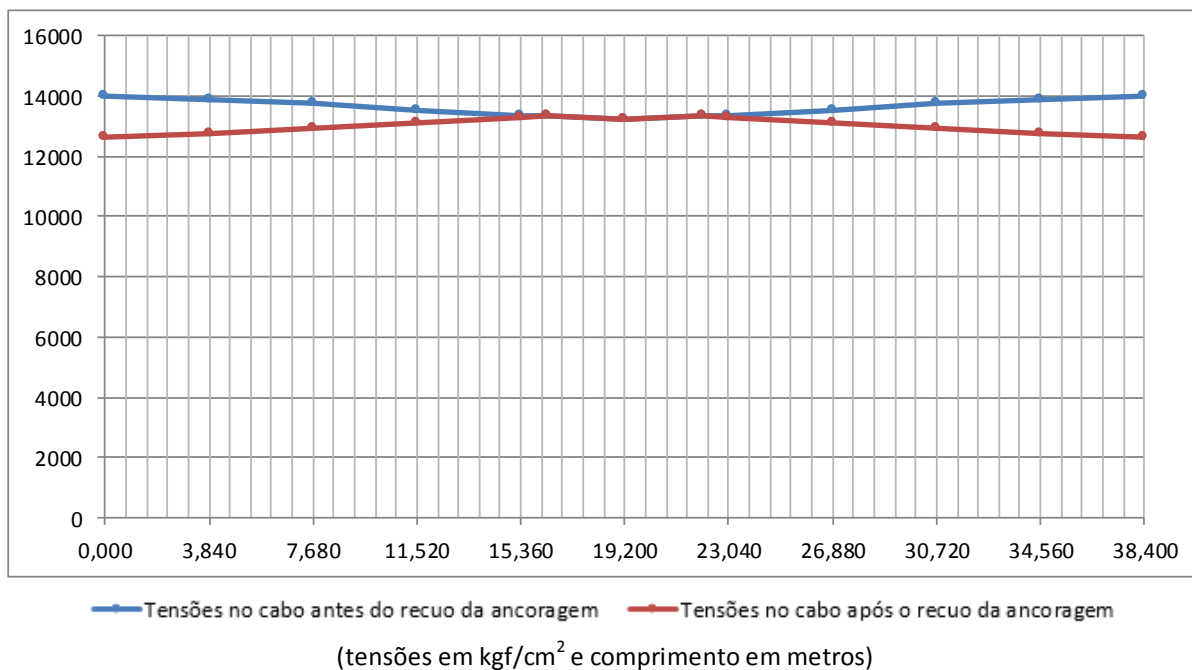
Δl^{esq} (mm) = 131 (alongamento previsto na ancoragem esquerda)*

Δl^{dir} (mm) = 131 (alongamento previsto na ancoragem direita)*

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0
S1	12764	160,8	1,019	-0,373	160,2	-14,0	-59,7
S2	12927	162,9	1,019	-0,681	162,5	-10,8	-110,7
S3	13135	165,5	1,019	-0,860	165,4	-4,6	-142,2
S4	13312	167,7	1,019	-0,899	167,7	0,0	-150,8
S5	13260	167,1	1,019	-0,899	167,1	0,0	-150,2
S6	13312	167,7	1,019	-0,899	167,7	0,0	-150,8
S7	13135	165,5	1,019	-0,860	165,4	4,6	-142,2
S8	12927	162,9	1,019	-0,681	162,5	10,8	-110,7
S9	12764	160,8	1,019	-0,373	160,2	14,0	-59,7
S10	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0




Cabo C4

Unidade de protensão → 9 $\phi 15,2$

Força de puxada (tf) → 177

Tipo de ancoragem → Viva-Viva

Etapa de protensão → 2ª

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 91/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 12,6$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{reco da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	38,40	0,650	3,500		7,00	1,000	14022
S1	4,040	34,36	0,403	3,50	0,00	7,00	0,992	13909
S2	7,830	30,57	0,191	2,30	1,20	5,80	0,980	13746
S3	11,620	26,78	0,120	0,00	3,50	3,50	0,965	13534
S4	15,410	22,99	0,120	0,00	3,50	3,50	0,958	13431
S5	19,200	19,20	0,120	0,00	3,50	3,50	0,951	13330
S6	22,990	15,41	0,120	0,00	3,50	3,50	0,958	13431
S7	26,780	11,62	0,120	0,00	3,50	3,50	0,965	13534
S8	30,570	7,83	0,191	-2,30	5,80	1,20	0,980	13746
S9	34,360	4,04	0,403	-3,50	7,00	0,00	0,992	13909
S10	38,400	0,00	0,650	-3,50	7,00		1,000	14022

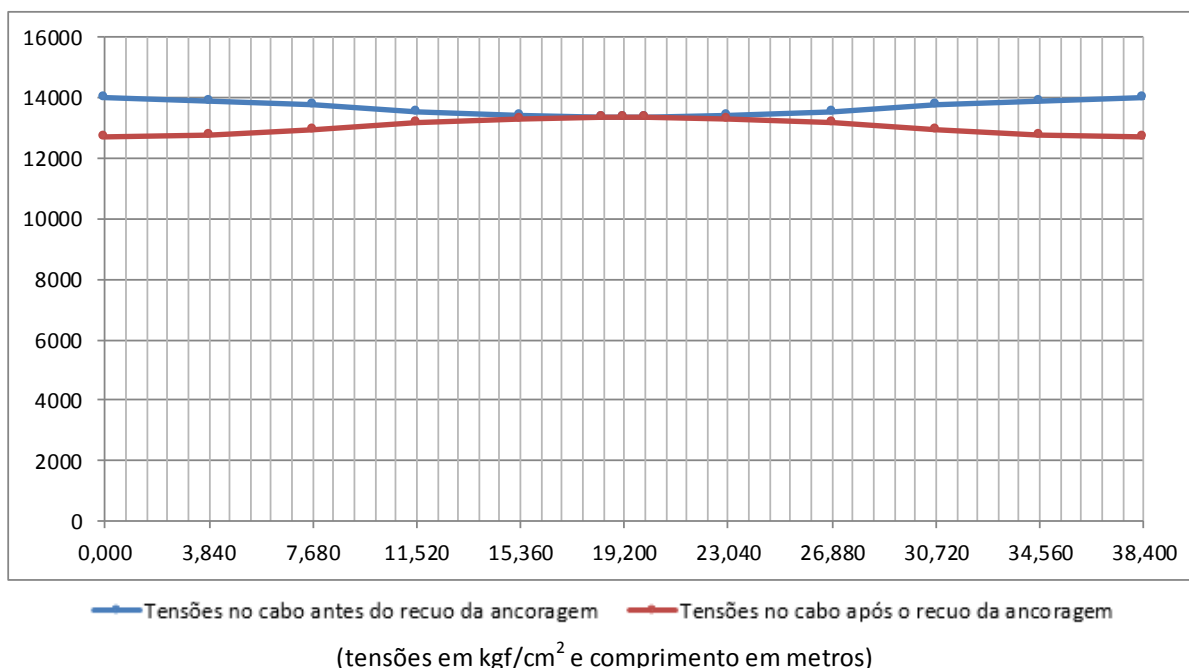
$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 131 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 131 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por reco da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,390	0,0	0,0	0,0
S1	12793	161,2	1,019	-0,616	160,9	-9,8	-99,1
S2	12956	163,2	1,019	-0,828	163,1	-6,6	-135,0
S3	13169	165,9	1,019	-0,899	165,9	0,0	-149,2
S4	13271	167,2	1,019	-0,899	167,2	0,0	-150,3
S5	13330	168,0	1,019	-0,899	168,0	0,0	-151,0
S6	13271	167,2	1,019	-0,899	167,2	0,0	-150,3
S7	13169	165,9	1,019	-0,899	165,9	0,0	-149,2
S8	12956	163,2	1,019	-0,828	163,1	6,6	-135,0
S9	12793	161,2	1,019	-0,616	160,9	9,8	-99,1
S10	0	0,0	1,040	-0,390	0,0	0,0	0,0



Cabo C5

Unidade de protensão → 9 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 177

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 2ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 12,6$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0} (x)$
S0	0,000	38,40	0,300	2,000		4,00	1,000	14022
S1	4,040	34,36	0,159	1,80	0,20	3,80	0,991	13899
S2	7,830	30,57	0,120	0,00	2,00	2,00	0,978	13708
S3	11,620	26,78	0,120	0,00	2,00	2,00	0,970	13605
S4	15,410	22,99	0,120	0,00	2,00	2,00	0,963	13502
S5	19,200	19,20	0,120	0,00	2,00	2,00	0,956	13400
S6	22,990	15,41	0,120	0,00	2,00	2,00	0,963	13502
S7	26,780	11,62	0,120	0,00	2,00	2,00	0,970	13605
S8	30,570	7,83	0,120	0,00	2,00	2,00	0,978	13708
S9	34,360	4,04	0,159	-1,80	3,80	0,20	0,991	13899
S10	38,400	0,00	0,300	-2,00	4,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} (\text{mm}) = 131 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

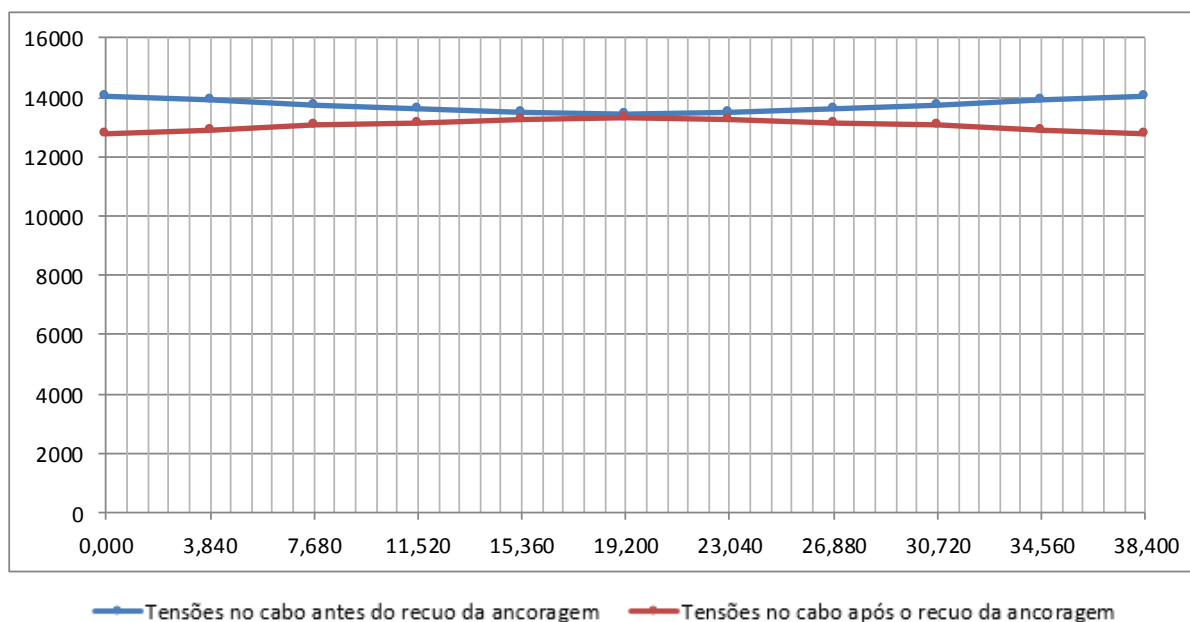
$$\Delta l^{\text{dir}} (\text{mm}) = 131 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (\text{tf})$	$V_i (\text{m})$	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0
S1	12871	162,2	1,019	-0,860	162,1	-5,1	-139,3
S2	13051	164,4	1,019	-0,899	164,4	0,0	-147,9
S3	13151	165,7	1,019	-0,899	165,7	0,0	-149,0
S4	13251	167,0	1,019	-0,899	167,0	0,0	-150,1
S5	13306	167,7	1,019	-0,899	167,7	0,0	-150,7
S6	13251	167,0	1,019	-0,899	167,0	0,0	-150,1
S7	13151	165,7	1,019	-0,899	165,7	0,0	-149,0
S8	13051	164,4	1,019	-0,899	164,4	0,0	-147,9
S9	12871	162,2	1,019	-0,860	162,1	5,1	-139,3
S10	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



(tensões em kgf/cm^2 e comprimento em metros)

Perda por encurtamento imediato do concreto

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$s = 0,38$$

1ª etapa de protensão

$$\alpha_E = 1,0$$

$$t_0 \text{ (dias)} = 3$$

$$\beta_s(t_0) = 0,458$$

$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 18,3$$

$$n_{cabos} = 3$$

$$\alpha = 8,34$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 23.968,7$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	0,103	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	477,6	-59,5	-0,041	0,731	0,376	659,9	0,918	183,5
S2	486,4	-230,1	-0,158	0,731	0,376	761,9	1,060	211,9
S3	495,2	-337,7	-0,227	0,731	0,376	881,6	1,226	245,2
S4	502,0	-375,8	-0,249	0,731	0,376	936,2	1,302	260,4
S5	498,6	-373,8	-0,250	0,731	0,376	930,5	1,294	258,8
S6	502,0	-375,8	-0,249	0,731	0,376	936,2	1,302	260,4
S7	495,2	-337,7	-0,227	0,731	0,376	881,6	1,226	245,2
S8	486,4	-230,1	-0,158	0,731	0,376	761,9	1,060	211,9
S9	477,6	-59,5	-0,041	0,731	0,376	659,9	0,918	183,5
S10	0,0	0,0	0,103	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

2ª etapa de protensão

$$t_0 \text{ (dias)} = 13$$


$$\beta_s(t_0) = 0,837$$

$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 33,5$$

$$n_{cabos} = 2$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 32.406,6$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	-0,126	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	323,0	-238,5	-0,164	0,731	0,376	545,9	0,562	112,3
S2	327,6	-282,9	-0,192	0,731	0,376	592,5	0,609	121,9
S3	331,6	-298,2	-0,200	0,731	0,376	612,2	0,630	125,9
S4	334,2	-300,5	-0,200	0,731	0,376	616,9	0,635	126,9
S5	335,6	-301,7	-0,200	0,731	0,376	619,6	0,637	127,5
S6	334,2	-300,5	-0,200	0,731	0,376	616,9	0,635	126,9
S7	331,6	-298,2	-0,200	0,731	0,376	612,2	0,630	125,9
S8	327,6	-282,9	-0,192	0,731	0,376	592,5	0,609	121,9
S9	323,0	-238,5	-0,164	0,731	0,376	545,9	0,562	112,3
S10	0,0	0,0	-0,126	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 95/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Onde:

s = coeficiente que depende do tipo de cimento

t_0 = idade de aplicação da protensão

$$\beta_s = e^{s \times (1 - \sqrt{28/t_0})} \quad f_{cj} = \beta_s \times f_{ck} \quad E_c = \alpha_E \times 5600 \times \sqrt{f_{cj}}$$

$$\Delta \varepsilon_{cp} = \frac{n-1}{2n} \times \frac{\sigma_{c, cgp}}{E_{c, t0}} \quad \Delta \sigma_p = \frac{\Delta \varepsilon_{cp}}{E_p}$$

	Seção	Fase 1	Fase 2	Fase 3
$\Delta \sigma_p$ (kgf/cm ²)	S0	0,0	0,0	0,0
	S1	295,9	112,3	0,0
	S2	333,8	121,9	0,0
	S3	371,1	125,9	0,0
	S4	387,3	126,9	0,0
	S5	386,3	127,5	0,0
	S6	387,3	126,9	0,0
	S7	371,1	125,9	0,0
	S8	333,8	121,9	0,0
	S9	295,9	112,3	0,0
	S10	0,0	0,0	0,0

Tensões nos cabos e solicitações devido à protensão após as perdas imediatas

C1

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta \sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12368	155,8	154,7	-18,7	20,2	11,8%
S2	12540	158,0	157,5	-12,9	-40,4	10,6%
S3	12705	160,1	159,9	-7,3	-79,8	9,4%
S4	12853	161,9	161,9	-1,1	-96,6	8,3%
S5	12736	160,5	160,5	0,0	-96,1	9,2%
S6	12853	161,9	161,9	1,1	-96,6	8,3%
S7	12705	160,1	159,9	7,3	-79,8	9,4%
S8	12540	158,0	157,5	12,9	-40,4	10,6%
S9	12368	155,8	154,7	18,7	20,2	11,8%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C2


Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12401	156,3	155,3	-17,4	-20,1	11,6%
S2	12573	158,4	158,0	-11,6	-75,9	10,3%
S3	12743	160,6	160,5	-5,6	-110,2	9,1%
S4	12904	162,6	162,6	0,0	-121,8	8,0%
S5	12805	161,3	161,3	0,0	-120,9	8,7%
S6	12904	162,6	162,6	0,0	-121,8	8,0%
S7	12743	160,6	160,5	5,6	-110,2	9,1%
S8	12573	158,4	158,0	11,6	-75,9	10,3%
S9	12401	156,3	155,3	17,4	-20,1	11,6%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C3

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12468	157,1	156,5	-13,7	-58,3	11,1%
S2	12593	158,7	158,3	-10,5	-107,9	10,2%
S3	12764	160,8	160,8	-4,5	-138,2	9,0%
S4	12925	162,9	162,9	0,0	-146,4	7,8%
S5	12874	162,2	162,2	0,0	-145,8	8,2%
S6	12925	162,9	162,9	0,0	-146,4	7,8%
S7	12764	160,8	160,8	4,5	-138,2	9,0%
S8	12593	158,7	158,3	10,5	-107,9	10,2%
S9	12468	157,1	156,5	13,7	-58,3	11,1%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C4

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12681	159,8	159,5	-9,8	-98,3	9,6%
S2	12834	161,7	161,6	-6,5	-133,7	8,5%
S3	13043	164,3	164,3	0,0	-147,8	7,0%
S4	13144	165,6	165,6	0,0	-148,9	6,3%
S5	13202	166,4	166,4	0,0	-149,6	5,8%
S6	13144	165,6	165,6	0,0	-148,9	6,3%
S7	13043	164,3	164,3	0,0	-147,8	7,0%
S8	12834	161,7	161,6	6,5	-133,7	8,5%
S9	12681	159,8	159,5	9,8	-98,3	9,6%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 97/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

C5

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12758	160,8	160,7	-5,0	-138,1	9,0%
S2	12929	162,9	162,9	0,0	-146,5	7,8%
S3	13025	164,1	164,1	0,0	-147,6	7,1%
S4	13124	165,4	165,4	0,0	-148,7	6,4%
S5	13178	166,0	166,0	0,0	-149,3	6,0%
S6	13124	165,4	165,4	0,0	-148,7	6,4%
S7	13025	164,1	164,1	0,0	-147,6	7,1%
S8	12929	162,9	162,9	0,0	-146,5	7,8%
S9	12758	160,8	160,7	5,0	-138,1	9,0%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

Resumo das solicitações e tensões nas fibras extremas do concreto devido à protensão após as perdas imediatas

1ª etapa de protensão

Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	466,5	-49,8	-58,1	0,0	486,4	795,8
S2	473,8	-35,1	-224,2	0,0	63,0	1256,1
S3	481,1	-17,4	-328,1	0,0	-198,4	1548,2
S4	487,4	-1,1	-364,9	0,0	-285,7	1656,3
S5	484,0	0,0	-362,8	0,0	-285,0	1646,2
S6	487,4	1,1	-364,9	0,0	-285,7	1656,3
S7	481,1	17,4	-328,1	0,0	-198,4	1548,2
S8	473,8	35,1	-224,2	0,0	63,0	1256,1
S9	466,5	49,8	-58,1	0,0	486,4	795,8
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

2ª etapa de protensão

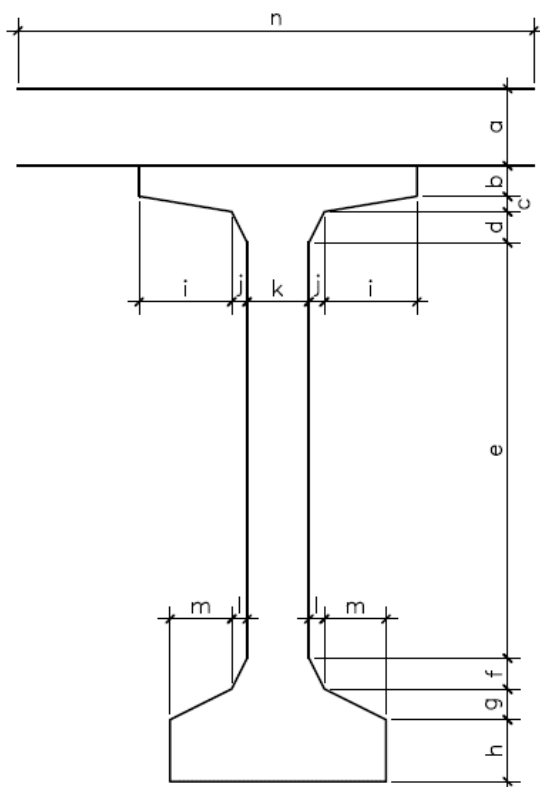
Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	320,2	-14,8	-236,4	0,0	-179,2	1079,1
S2	324,5	-6,5	-280,2	0,0	-287,6	1203,9
S3	328,5	0,0	-295,3	0,0	-321,6	1250,2
S4	331,0	0,0	-297,6	0,0	-324,1	1259,9
S5	332,4	0,0	-298,9	0,0	-325,4	1265,3
S6	331,0	0,0	-297,6	0,0	-324,1	1259,9
S7	328,5	0,0	-295,3	0,0	-321,6	1250,2
S8	324,5	6,5	-280,2	0,0	-287,6	1203,9
S9	320,2	14,8	-236,4	0,0	-179,2	1079,1
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Cálculo das perdas lentas de protensão

$U (\%) = 80$ (umidade relativa do ar)

$$\gamma = 2,22 \quad \gamma = 1 + e^{(-7,8+0,1 \times U)}$$

Cálculo da espessura fictícia



Seção	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)
S0	0,000	0,050	0,050	0,050
S1	0,000	0,050	0,050	0,100
S2	0,000	0,050	0,050	0,100
S3	0,000	0,050	0,050	0,100
S4	0,000	0,050	0,050	0,100
S5	0,000	0,050	0,050	0,100
S6	0,000	0,050	0,050	0,100
S7	0,000	0,050	0,050	0,100
S8	0,000	0,050	0,050	0,100
S9	0,000	0,050	0,050	0,100
S10	0,000	0,050	0,050	0,050

Seção	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)	i (m)	j (m)	k (m)	l (m)	m (m)	n (m)
S0	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200
S1	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S2	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S3	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S4	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S5	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S6	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S7	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S8	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S9	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S10	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200

Seção	P _{ext} (m)	P _{int} (m)	u (m)	A (m ²)	h _{fic} (m)
S0	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030
S1	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S2	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S3	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S4	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S5	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S6	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S7	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S8	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S9	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S10	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030

Onde,

P_{ext} - é o perímetro externo da seção

P_{int} - é o perímetro interno da seção

u - é o perímetro da seção em contato com o ar, dado por: $P_{ext} + P_{int}/2$

A - é a área da seção transversal

h_{fic} - é a espessura fictícia, dada por: $\gamma \times 2 \times A / u$

Cálculo da idade corrigida

$$t_* = \frac{\alpha}{30} \times \sum_{t=0}^t [(T_i + 10) \times \Delta t_i]$$

$\alpha = 1$ (fluência) $T_i (^\circ) = 25$

Δt_i (dias) = 7 (média ponderada das idades de protensão)

t_{0*} (dias) = 8,2 (fluência)


t_{0*} (dias) = 8,2 (retração)

$t_{\infty*}$ (dias) = ∞

Fluência

a deformação por fluência é dada por:

$$\varepsilon_{c\phi}(t_1; t_0) = \frac{\sigma_{c, t_0}}{E_{c, 28}} \times \varphi(t_1; t_0)$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 100/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

onde:

$$\varphi_{(t_1;t_0)} = \varphi_{d\infty} \times \beta_d + \varphi_{f\infty} \times [\beta_f(t_{1*}) - \beta_f(t_{0*})] + \varphi_a$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\beta_d = \frac{t_{1*} - t_{0*} + 20}{t_{1*} - t_{0*} + 70}$$

$$\varphi_{f\infty} = \varphi_{1c} \times \varphi_{2c}$$

$$\varphi_{1c} = 4,45 - 0,035 \times U \quad \varphi_{2c} = \frac{42 + h_{fic}(cm)}{20 + h_{fic}(cm)}$$

$$\beta_f(t) = \frac{t^2 + A \times t + B}{t^2 + C \times t + D} \quad \text{com} \quad \begin{cases} A = 42 \times h_{fic}^3 - 350 \times h_{fic}^2 + 588 \times h_{fic} + 113 \\ B = 768 \times h_{fic}^3 - 3060 \times h_{fic}^2 + 3234 \times h_{fic} - 23 \\ C = -200 \times h_{fic}^3 + 13 \times h_{fic}^2 + 1090 \times h_{fic} + 183 \\ D = 7579 \times h_{fic}^3 - 31916 \times h_{fic}^2 + 35343 \times h_{fic} + 1931 \end{cases}$$

$$\varphi_a = 0,8 \times \left[1 - \frac{9 \times t_{0*} \times (t_{0*} + 42)}{(9 \times t_{0*} + 40) \times (t_{0*} + 61)} \right]$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\varphi_a = 0,424$$

$$\varphi_{1c} = 1,7$$

$$\varphi_{f\infty} = 1,0$$


$$\beta_d = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	φ_{2c}	φ_{∞}	$\beta_{f(t)}$	$\varphi_{(\infty,t)}$
S0	1,030	1,179	1,945	0,192	2,397
S1	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S2	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S3	0,412	1,360	2,243	0,200	2,618
S4	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S5	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S6	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S7	0,412	1,360	2,243	0,200	2,618
S8	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S9	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S10	1,030	1,179	1,945	0,192	2,397

Retração do concreto

a deformação por retração é dada por:

$$\varepsilon_{cs,(t_1;t_0)} = \varepsilon_{cs,(t_{00})} \times [\beta_s(t_{1*}) - \beta_s(t_{0*})]$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 101/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

onde:

$$\varepsilon_{cs,(t_{\infty})} = \varepsilon_{1s} \times \varepsilon_{2s}$$

$$\varepsilon_{1s} = - \left(6,16 + \frac{U}{484} - \frac{U^2}{1590} \right) \times 10^4$$

$$\varepsilon_{2s} = \frac{33 + 2 \times h_{fic}}{20,8 + 3 \times h_{fic}}$$

$$\beta_s(t) = \frac{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + A \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + B \times \left(\frac{t}{100}\right)}{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + C \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + D \times \left(\frac{t}{100}\right) + E}$$

$$com \begin{cases} A = 40 \\ B = 116 \times h_{fic}^3 - 282 \times h_{fic}^2 + 220 \times h_{fic} - 4,8 \\ C = 2,5 \times h_{fic}^3 - 8,8 \times h_{fic} + 40,7 \\ D = -75 \times h_{fic}^3 + 585 \times h_{fic}^2 + 496 \times h_{fic} - 6,8 \\ E = -169 \times h_{fic}^4 + 88 \times h_{fic}^3 + 584 \times h_{fic}^2 - 39 \times h_{fic} + 0,8 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{1s} \times 10^4 = 2,3$$

$$\beta_{s\infty} = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	ε_{2s}	$\beta_{s(t0^*)}$	$\varepsilon_{cs,(t\infty)} \times 10^4$	$\varepsilon_{cs,(t\infty,t0)} \times 10^4$
S0	1,030	1,468	0,008	3,376	3,350
S1	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S2	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S3	0,412	1,535	0,037	3,531	3,400
S4	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S5	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S6	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S7	0,412	1,535	0,037	3,531	3,400
S8	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S9	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S10	1,030	1,468	0,008	3,376	3,350

Relaxação do aço

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$E_c \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 354.175$$

$$f_{ptk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 19.000$$

$$\alpha_p = 5,647$$

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente


Seção	M_{g1+g2} (tf.m)	I_z (m ⁴)	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,pgp,g}$ (tf/m ²)
S0	0,00	0,519	-1,040	0,0
S1	209,61	0,376	-0,369	-206,1
S2	371,84	0,376	-0,629	-622,5
S3	487,72	0,376	-0,769	-997,7
S4	557,25	0,376	-0,809	-1199,2
S5	580,43	0,376	-0,809	-1249,8
S6	557,25	0,376	-0,809	-1199,2
S7	487,72	0,376	-0,769	-997,7
S8	371,84	0,376	-0,629	-622,5
S9	209,61	0,376	-0,369	-206,1
S10	0,00	0,519	-1,040	0,0

Seção	M_{g3} (tf.m)	I_z (m ⁴)	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,pgp,g}$ (tf/m ²)
S0	0,00	0,981	-1,332	0,0
S1	66,09	0,754	-0,838	-73,5
S2	117,50	0,754	-1,098	-171,1
S3	154,22	0,754	-1,237	-253,2
S4	176,25	0,754	-1,277	-298,7
S5	183,59	0,754	-1,278	-311,3
S6	176,25	0,754	-1,277	-298,7
S7	154,22	0,754	-1,237	-253,2
S8	117,50	0,754	-1,098	-171,1
S9	66,09	0,754	-0,838	-73,5
S10	0,00	0,981	-1,332	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à protensão

1ª etapa de protensão

Seção	N_p (tf)	M_p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I_z (m ⁴)	$\sigma_{c,pgp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	466,5	-58,1	-0,369	0,731	0,376	695,3
S2	473,8	-224,2	-0,629	0,731	0,376	1023,4
S3	481,1	-328,1	-0,769	0,731	0,376	1329,4
S4	487,4	-364,9	-0,809	0,731	0,376	1451,9
S5	484,0	-362,8	-0,809	0,731	0,376	1443,4
S6	487,4	-364,9	-0,809	0,731	0,376	1451,9
S7	481,1	-328,1	-0,769	0,731	0,376	1329,4
S8	473,8	-224,2	-0,629	0,731	0,376	1023,4
S9	466,5	-58,1	-0,369	0,731	0,376	695,3
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 103/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	


2ª etapa de protensão

Seção	N_p (tf)	M_p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I_z (m ⁴)	$\sigma_{c,cbp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	320,2	-236,4	-0,369	0,731	0,376	670,4
S2	324,5	-280,2	-0,629	0,731	0,376	913,0
S3	328,5	-295,3	-0,769	0,731	0,376	1053,4
S4	331,0	-297,6	-0,809	0,731	0,376	1093,2
S5	332,4	-298,9	-0,809	0,731	0,376	1098,2
S6	331,0	-297,6	-0,809	0,731	0,376	1093,2
S7	328,5	-295,3	-0,769	0,731	0,376	1053,4
S8	324,5	-280,2	-0,629	0,731	0,376	913,0
S9	320,2	-236,4	-0,369	0,731	0,376	670,4
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

Seção	$\sigma_{c,cbp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0
S1	1365,7
S2	1936,4
S3	2382,9
S4	2545,1
S5	2541,7
S6	2545,1
S7	2382,9
S8	1936,4
S9	1365,7
S10	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente + protensão

Seção	$\sigma_{c,cbp,p+g}$ (tf/m ²)
S0	0,0
S1	1086,1
S2	1142,8
S3	1132,0
S4	1047,2
S5	980,6
S6	1047,2
S7	1132,0
S8	1142,8
S9	1086,1
S10	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 104/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do coeficiente de fluência do aço

$$\chi_{(t,t_0)} = -\ln(1 - \psi_{(t,t_0)})$$

onde:

$$\psi(t_{\infty}, t_0) = 2,5 \times \psi_{1000}$$

Seção	σ_{p0} (kgf/cm ²)	σ_{p0} / f_{ptk}	ψ_{1000}	$\psi(t_{\infty}, t_0)$	$\chi_{(t_{\infty}, t_0)}$
S0		0,000	0,000	0,000	0,000
S1	12535	0,660	2,017	5,043	0,052
S2	12694	0,668	2,117	5,293	0,054
S3	12856	0,677	2,220	5,549	0,057
S4	12990	0,684	2,304	5,761	0,059
S5	12959	0,682	2,285	5,712	0,059
S6	12990	0,684	2,304	5,761	0,059
S7	12856	0,677	2,220	5,549	0,057
S8	12694	0,668	2,117	5,293	0,054
S9	12535	0,660	2,017	5,043	0,052
S10		0,000	0,000	0,000	0,000

Cálculo da perda lenta total

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t,t_0)} = \frac{\varepsilon_{cs,(t,t_0)} \times E_p + \alpha_p \times \varphi_{(t,t_0)} \times \sigma_{c,ggp,p+g} + \sigma_{p0} \times \chi_{(t,t_0)}}{\chi_p + \chi_c \times \alpha_p \times \eta \times \rho_p}$$

onde:

$$\chi_c = 1 + 0,5 \times \varphi_{(t,t_0)} \quad \chi_p = 1 + \chi_{(t,t_0)}$$

e_p - é a excentricidade de protensão

$$\eta = 1 + e_p^2 \times \frac{A_c}{I_x} \quad \rho_p = \frac{A_s}{A_c}$$

Seção	χ_c	χ_p	e_p (m)	η	ρ_p	$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t,t_0)}$ (kgf/cm ²)	$\Delta\sigma_{lenta}$ (%)
S0	2,198	1,000	-1,332	4,634	0,0000	0,0	0,0%
S1	2,291	1,052	-0,838	2,190	0,0049	2445,5	17,4%
S2	2,291	1,054	-1,098	3,042	0,0049	2433,4	17,4%
S3	2,309	1,057	-1,237	3,595	0,0049	2396,8	17,1%
S4	2,291	1,059	-1,277	3,765	0,0049	2292,4	16,3%
S5	2,291	1,059	-1,278	3,767	0,0049	2211,8	15,8%
S6	2,291	1,059	-1,277	3,765	0,0049	2292,4	16,3%
S7	2,309	1,057	-1,237	3,595	0,0049	2396,8	17,1%
S8	2,291	1,054	-1,098	3,042	0,0049	2433,4	17,4%
S9	2,291	1,052	-0,838	2,190	0,0049	2445,5	17,4%
S10	2,198	1,000	-1,332	4,634	0,0000	0,0	0,0%

Solicitações devido às perdas lentas de protensão

C1

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2445	-30,8	-30,6	3,7	-4,0
S2	-2433	-30,7	-30,6	2,5	7,8
S3	-2397	-30,2	-30,2	1,4	15,0
S4	-2292	-28,9	-28,9	0,2	17,2
S5	-2212	-27,9	-27,9	0,0	16,7
S6	-2292	-28,9	-28,9	-0,2	17,2
S7	-2397	-30,2	-30,2	-1,4	15,0
S8	-2433	-30,7	-30,6	-2,5	7,8
S9	-2445	-30,8	-30,6	-3,7	-4,0
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C2

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2445	-30,8	-30,6	3,4	4,0
S2	-2433	-30,7	-30,6	2,2	14,7
S3	-2397	-30,2	-30,2	1,1	20,7
S4	-2292	-28,9	-28,9	0,0	21,6
S5	-2212	-27,9	-27,9	0,0	20,9
S6	-2292	-28,9	-28,9	0,0	21,6
S7	-2397	-30,2	-30,2	-1,1	20,7
S8	-2433	-30,7	-30,6	-2,2	14,7
S9	-2445	-30,8	-30,6	-3,4	4,0
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C3

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2445	-30,8	-30,7	2,7	11,4
S2	-2433	-30,7	-30,6	2,0	20,8
S3	-2397	-30,2	-30,2	0,8	26,0
S4	-2292	-28,9	-28,9	0,0	26,0
S5	-2212	-27,9	-27,9	0,0	25,1
S6	-2292	-28,9	-28,9	0,0	26,0
S7	-2397	-30,2	-30,2	-0,8	26,0
S8	-2433	-30,7	-30,6	-2,0	20,8
S9	-2445	-30,8	-30,7	-2,7	11,4
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C4


Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2445	-30,8	-30,8	1,9	19,0
S2	-2433	-30,7	-30,6	1,2	25,4
S3	-2397	-30,2	-30,2	0,0	27,2
S4	-2292	-28,9	-28,9	0,0	26,0
S5	-2212	-27,9	-27,9	0,0	25,1
S6	-2292	-28,9	-28,9	0,0	26,0
S7	-2397	-30,2	-30,2	0,0	27,2
S8	-2433	-30,7	-30,6	-1,2	25,4
S9	-2445	-30,8	-30,8	-1,9	19,0
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C5

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2445	-30,8	-30,8	1,0	26,5
S2	-2433	-30,7	-30,7	0,0	27,6
S3	-2397	-30,2	-30,2	0,0	27,2
S4	-2292	-28,9	-28,9	0,0	26,0
S5	-2212	-27,9	-27,9	0,0	25,1
S6	-2292	-28,9	-28,9	0,0	26,0
S7	-2397	-30,2	-30,2	0,0	27,2
S8	-2433	-30,7	-30,7	0,0	27,6
S9	-2445	-30,8	-30,8	-1,0	26,5
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

Resumo das solicitações devido às perdas de protensão e tensões nas fibras extremas do concreto

Seção	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$	$\sigma_s (tf/m^2)$	$\sigma_s' (tf/m^2)$	$\sigma_i (tf/m^2)$
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-153,5	12,7	56,8	-154,0	-61,6	-364,0
S2	-153,0	8,0	96,3	-114,5	42,0	-470,5
S3	-150,9	3,3	116,0	-92,2	96,4	-521,2
S4	-144,4	0,2	116,8	-82,6	107,3	-514,3
S5	-139,3	0,0	112,7	-79,6	103,7	-496,4
S6	-144,4	-0,2	116,8	-82,6	107,3	-514,3
S7	-150,9	-3,3	116,0	-92,2	96,4	-521,2
S8	-153,0	-8,0	96,3	-114,5	42,0	-470,5
S9	-153,5	-12,7	56,8	-154,0	-61,6	-364,0
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 107/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação das tensões elásticas no concreto nas diversas fases de carregamento

Serão verificadas as tensões nas fibras extremas do concreto para as seguintes fases de carregamento:

- Fase 1 = peso próprio da viga isolada + 1ª etapa de protensão
- Fase 2 = fase 1 + 2ª etapa de protensão
- Fase 3 = fase 2 + peso próprio da laje e transversinas
- Fase 4 = fase 3 + 3ª etapa de protensão
- Fase 5 = fase 4 + sobrecarga permanente
- Fase 6 = fase 5 + carga móvel
- Fase 7 = fase 5 + perdas de protensão
- Fase 8 = fase 7 + carga móvel

Tensões limites

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0 \qquad f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51 \qquad s = 0,38$$

- no instante da protensão

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctm,j} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,7 f_{ckj}$$

- na vida útil da obra

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctk,inf} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,6 f_{ck}$$

idade da 1ª protensão (dias) = 3

$$\beta_1 = 0,458 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 18,32 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,08$$

idade da 2ª protensão (dias) = 13

$$\beta_2 = 0,837 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 33,49 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,12$$

idade da 3ª protensão (dias) = 28


$$\beta_3 = 1,000 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 40,00 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,51$$

	tração (tf/m ²)	compressão (tf/m ²)
t = 3	-250,17	1282,36
t = 13	-374,02	2344,17
t = 28	-294,74	2400,00
t = ∞	-294,74	2400,00

Verificação do estado limite de compressão excessiva para a combinação rara de carregamentos (ELS-CE)

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m^2) para 110% da força de protensão

		g_1	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2
S0	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	314	535	849	-197	652
	σ_i (tf/m^2)	-327	875	549	1187	1736
S2	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	557	69	626	-316	310
	σ_i (tf/m^2)	-578	1382	803	1324	2128
S3	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	730	-218	512	-354	158
	σ_i (tf/m^2)	-758	1703	945	1375	2320
S4	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	834	-314	519	-356	163
	σ_i (tf/m^2)	-866	1822	956	1386	2342
S5	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	868	-314	555	-358	197
	σ_i (tf/m^2)	-902	1811	909	1392	2301
S6	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	834	-314	519	-356	163
	σ_i (tf/m^2)	-866	1822	956	1386	2342
S7	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	730	-218	512	-354	158
	σ_i (tf/m^2)	-758	1703	945	1375	2320
S8	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	557	69	626	-316	310
	σ_i (tf/m^2)	-578	1382	803	1324	2128
S9	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	314	535	849	-197	652
	σ_i (tf/m^2)	-327	875	549	1187	1736
S10	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	109/500

Verificação do estado limite de formação de fissuras para a combinação frequente de carregamentos (ELS-F)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{G_{L,k}} + \psi_1 F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Q_{j,k}} \quad \text{com } \psi_1 = 0,5$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	314	486	801	-179	622	233	854
	σ _i (tf/m ²)	-327	796	469	1079	1548	-242	1306
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	557	63	620	-288	332	414	746
	σ _i (tf/m ²)	-578	1256	678	1204	1882	-430	1451
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	730	-198	531	-322	210	543	753
	σ _i (tf/m ²)	-758	1548	790	1250	2040	-565	1476
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	834	-286	548	-324	224	621	845
	σ _i (tf/m ²)	-866	1656	790	1260	2050	-645	1405
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	868	-285	583	-325	258	647	905
	σ _i (tf/m ²)	-902	1646	744	1265	2009	-672	1337
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	834	-286	548	-324	224	621	845
	σ _i (tf/m ²)	-866	1656	790	1260	2050	-645	1405
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	730	-198	531	-322	210	543	753
	σ _i (tf/m ²)	-758	1548	790	1250	2040	-565	1476
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	557	63	620	-288	332	414	746
	σ _i (tf/m ²)	-578	1256	678	1204	1882	-430	1451
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	314	486	801	-179	622	233	854
	σ _i (tf/m ²)	-327	796	469	1079	1548	-242	1306
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	65	65	119	184
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	854	45	899	82	982
	σ_i (tf/m ²)	0	1306	-130	1176	-239	937
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	116	116	169	285
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	746	80	826	117	943
	σ_i (tf/m ²)	0	1451	-232	1220	-339	880
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	152	152	221	373
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	753	105	858	153	1011
	σ_i (tf/m ²)	0	1476	-304	1171	-444	727
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	174	174	253	427
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	845	120	965	175	1139
	σ_i (tf/m ²)	0	1405	-348	1057	-507	549
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	181	181	264	445
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	905	125	1029	182	1212
	σ_i (tf/m ²)	0	1337	-362	975	-529	446
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	174	174	253	427
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	845	120	965	175	1139
	σ_i (tf/m ²)	0	1405	-348	1057	-507	549
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	152	152	221	373
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	753	105	858	153	1011
	σ_i (tf/m ²)	0	1476	-304	1171	-444	727
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	116	116	169	285
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	746	80	826	117	943
	σ_i (tf/m ²)	0	1451	-232	1220	-339	880
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	65	65	119	184
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	854	45	899	82	982
	σ_i (tf/m ²)	0	1306	-130	1176	-239	937
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-154	-89	119
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-62	838	82
	σ_i (tf/m ²)	-364	812	-239
S2	σ_s (tf/m ²)	-115	1	169
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	42	868	117
	σ_i (tf/m ²)	-471	749	-339
S3	σ_s (tf/m ²)	-92	60	221
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	96	954	153
	σ_i (tf/m ²)	-521	650	-444
S4	σ_s (tf/m ²)	-83	91	253
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	107	1072	175
	σ_i (tf/m ²)	-514	543	-507
S5	σ_s (tf/m ²)	-80	101	264
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	104	1133	182
	σ_i (tf/m ²)	-496	478	-529
S6	σ_s (tf/m ²)	-83	91	253
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	107	1072	175
	σ_i (tf/m ²)	-514	543	-507
S7	σ_s (tf/m ²)	-92	60	221
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	96	954	153
	σ_i (tf/m ²)	-521	650	-444
S8	σ_s (tf/m ²)	-115	1	169
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	42	868	117
	σ_i (tf/m ²)	-471	749	-339
S9	σ_s (tf/m ²)	-154	-89	119
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-62	838	82
	σ_i (tf/m ²)	-364	812	-239
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	112/500

Verificação do estado limite de descompressão para a combinação quase permanente de carregamentos (ELS-D)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_2 = 0,3$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	314	486	801	-179	622	233	854
	σ _i (tf/m ²)	-327	796	469	1079	1548	-242	1306
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	557	63	620	-288	332	414	746
	σ _i (tf/m ²)	-578	1256	678	1204	1882	-430	1451
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	730	-198	531	-322	210	543	753
	σ _i (tf/m ²)	-758	1548	790	1250	2040	-565	1476
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	834	-286	548	-324	224	621	845
	σ _i (tf/m ²)	-866	1656	790	1260	2050	-645	1405
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	868	-285	583	-325	258	647	905
	σ _i (tf/m ²)	-902	1646	744	1265	2009	-672	1337
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	834	-286	548	-324	224	621	845
	σ _i (tf/m ²)	-866	1656	790	1260	2050	-645	1405
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	730	-198	531	-322	210	543	753
	σ _i (tf/m ²)	-758	1548	790	1250	2040	-565	1476
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	557	63	620	-288	332	414	746
	σ _i (tf/m ²)	-578	1256	678	1204	1882	-430	1451
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	314	486	801	-179	622	233	854
	σ _i (tf/m ²)	-327	796	469	1079	1548	-242	1306
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	65	65	72	137
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	854	45	899	49	949
	σ_i (tf/m ²)	0	1306	-130	1176	-143	1033
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	116	116	102	217
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	746	80	826	70	896
	σ_i (tf/m ²)	0	1451	-232	1220	-203	1016
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	152	152	133	285
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	753	105	858	92	950
	σ_i (tf/m ²)	0	1476	-304	1171	-266	905
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	174	174	152	325
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	845	120	965	105	1070
	σ_i (tf/m ²)	0	1405	-348	1057	-304	752
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	181	181	158	339
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	905	125	1029	109	1139
	σ_i (tf/m ²)	0	1337	-362	975	-317	657
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	174	174	152	325
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	845	120	965	105	1070
	σ_i (tf/m ²)	0	1405	-348	1057	-304	752
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	152	152	133	285
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	753	105	858	92	950
	σ_i (tf/m ²)	0	1476	-304	1171	-266	905
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	116	116	102	217
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	746	80	826	70	896
	σ_i (tf/m ²)	0	1451	-232	1220	-203	1016
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	65	65	72	137
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	854	45	899	49	949
	σ_i (tf/m ²)	0	1306	-130	1176	-143	1033
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-154	-89	72	-17
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-62	838	49	887
	σ_i (tf/m ²)	-364	812	-143	669
S2	σ_s (tf/m ²)	-115	1	102	103
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	42	868	70	938
	σ_i (tf/m ²)	-471	749	-203	546
S3	σ_s (tf/m ²)	-92	60	133	192
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	96	954	92	1046
	σ_i (tf/m ²)	-521	650	-266	384
S4	σ_s (tf/m ²)	-83	91	152	243
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	107	1072	105	1177
	σ_i (tf/m ²)	-514	543	-304	238
S5	σ_s (tf/m ²)	-80	101	158	260
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	104	1133	109	1242
	σ_i (tf/m ²)	-496	478	-317	161
S6	σ_s (tf/m ²)	-83	91	152	243
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	107	1072	105	1177
	σ_i (tf/m ²)	-514	543	-304	238
S7	σ_s (tf/m ²)	-92	60	133	192
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	96	954	92	1046
	σ_i (tf/m ²)	-521	650	-266	384
S8	σ_s (tf/m ²)	-115	1	102	103
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	42	868	70	938
	σ_i (tf/m ²)	-471	749	-203	546
S9	σ_s (tf/m ²)	-154	-89	72	-17
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-62	838	49	887
	σ_i (tf/m ²)	-364	812	-143	669
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 115/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do cisalhamento - $t = \infty$

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,k} = V_p^{prot}$ em tempo $t = \infty$

Seção	$V_{g1,k}$ (tf)	$V_{g2,k}$ (tf)	$V_{g3,k}$ (tf)	$V_{p,k}$ (tf)	$V_{q,max,k}$ (tf)	$V_{q,min,k}$ (tf)	V_k^{max} (tf)	V_k^{min} (tf)
S0	36,73	26,02	19,27	0,00	70,74	0,00	152,76	82,02
S1	27,85	20,81	15,42	-51,96	59,76	-2,23	71,88	9,89
S2	20,89	15,61	11,56	-33,53	39,70	-5,18	54,23	9,35
S3	13,93	10,41	7,71	-14,09	32,26	-9,25	50,22	8,70
S4	6,96	5,20	3,85	-0,93	25,50	-13,99	40,59	1,10
S5	0,00	0,00	0,00	0,00	19,41	-19,41	19,41	-19,41
S6	-6,96	-5,20	-3,85	0,93	13,99	-25,50	-1,10	-40,59
S7	-13,93	-10,41	-7,71	14,09	9,25	-32,26	-8,70	-50,22
S8	-20,89	-15,61	-11,56	33,53	5,18	-39,70	-9,35	-54,23
S9	-27,85	-20,81	-15,42	51,96	2,23	-59,76	-9,89	-71,88
S10	-36,73	-26,02	-19,27	0,00	0,00	-70,74	-82,02	-152,76

Verificação do concreto

$$\phi^{bainha} \text{ (m)} = 0,075$$

$$n_{bainhas \text{ alinhadas na alma}} = 1$$


$$V_{sd} = 1,35 \times V_g + \left\{ \begin{matrix} 1,2 \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \times V_p + 1,5 \times V_q$$

$$V_{rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b_{w,nom} \times d$$

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) (f_{ck} \text{ em MPa})$$

Seção	V_{sd} (tf)	b_w (m)	H (m)	$\Sigma \Phi/2$ (m)	b_w^{nom} (m)	d (m)	V_{rd2} (tf)
S0	216,8	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2
S1	129,4	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S2	94,3	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S3	79,0	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S4	59,0	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S5	29,1	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S6	59,0	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S7	79,0	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S8	94,3	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S9	129,4	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S10	216,8	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 116/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Parcela do esforço cortante absorvida pelos mecanismos complementares à treliça

$$M_{sdu} = 1,35 \times M_g + 1,5 \times M_q$$

Seção	M _{g1,k}	M _{g2,k}	M _{g3,k}	M _{q máx,k}	M _{q mín,k}	M _{sdu} (tf.m)
S0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
S1	120,41	89,21	66,09	242,11	0,00	735,4
S2	213,25	158,59	117,50	343,54	0,00	1175,9
S3	279,57	208,15	154,22	449,56	0,00	1541,0
S4	319,37	237,88	176,25	514,12	0,00	1761,4
S5	332,63	247,79	183,59	536,04	0,00	1835,5
S6	319,37	237,88	176,25	514,12	0,00	1761,4
S7	279,57	208,15	154,22	449,56	0,00	1541,0
S8	213,25	158,59	117,50	343,54	0,00	1175,9
S9	120,41	89,21	66,09	242,11	0,00	735,4
S10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

$$V_c = V_{c0} \times (1 + M_0 / M_{sd,m\acute{a}x}) \leq 2 \times V_{c0}$$

$$M_0 = 0,90 \times (\sigma_p^{prot.} \times W)$$

$$V_{c0} = 0,60 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,70 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}}$$

com f_{ck} em MPa

Seção	$\sigma_p^{prot.}$ (tf/m ²)	W _i (m ³)	M ₀ (tf.m)	1+ M ₀ /M _{sd,máx}
S0	0	0,736	0,00	1,00
S1	1511	0,507	688,82	1,94
S2	1989	0,507	906,98	1,77
S3	2277	0,507	1038,18	1,67
S4	2402	0,507	1094,98	1,62
S5	2415	0,507	1101,02	1,60
S6	2402	0,507	1094,98	1,62
S7	2277	0,507	1038,18	1,67
S8	1989	0,507	906,98	1,77
S9	1511	0,507	688,82	1,94
S10	0	0,736	0,00	1,00

Seção	b_w^{nom} (m)	d (m)	Vc0 (tf)	2 * Vc0 (tf)	Vc (tf)
S0	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5
S1	0,183	1,784	34,3	68,5	66,4
S2	0,183	1,784	34,3	68,5	60,7
S3	0,183	1,784	34,3	68,5	57,4
S4	0,183	1,784	34,3	68,5	55,6
S5	0,183	1,784	34,3	68,5	54,8
S6	0,183	1,784	34,3	68,5	55,6
S7	0,183	1,784	34,3	68,5	57,4
S8	0,183	1,784	34,3	68,5	60,7
S9	0,183	1,784	34,3	68,5	66,4
S10	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

Seção	Vsd (tf)	Vc (tf)	V _{swd} (tf)
S0	216,8	131,5	85,39
S1	129,4	66,4	63,01
S2	94,3	60,7	33,55
S3	79,0	57,4	21,61
S4	59,0	55,6	3,47
S5	29,1	54,8	0,00
S6	59,0	55,6	3,47
S7	79,0	57,4	21,61
S8	94,3	60,7	33,55
S9	129,4	66,4	63,01
S10	216,8	131,5	85,39

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal

$$V_{swd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{swd} / (0,90 \times d \times f_{ywd})$$

$$\rho_{sw} = (A_{sw} / s) \times (1 / b_w) \geq 0,20 \times f_{ctm} / f_{ywk}$$

$$f_{ywk} = f_{yk}$$

Seção	b_w (m)	V _{swd} (tf)	A_{sw}/s (cm ² /m)	ρ_{sw} (cm ² /m ²)	ρ_{sw}^{min} (cm ² /m ²)
S0	0,70	85,4	12,23	17,47	14,04
S1	0,22	63,0	9,03	41,03	14,04
S2	0,22	33,5	4,81	21,84	14,04
S3	0,22	21,6	3,10	14,07	14,04
S4	0,22	3,5	0,50	2,26	14,04
S5	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S6	0,22	3,5	0,50	2,26	14,04
S7	0,22	21,6	3,10	14,07	14,04
S8	0,22	33,5	4,81	21,84	14,04
S9	0,22	63,0	9,03	41,03	14,04
S10	0,70	85,4	12,23	17,47	14,04

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\psi_{fad} = 0,50$$

$$\Delta\sigma_{sw} = \sigma_{sw}^{m\acute{a}x} - \sigma_{sw}^{m\acute{i}n} \quad \sigma_{sw}^{m\acute{a}x/m\acute{i}n} = \frac{V_{m\acute{a}x/m\acute{i}n} - V_c/2}{b_w \times d \times \rho_{sw}}$$

$$f \cdot f \cdot = \frac{\Delta\sigma_{sw}}{\Delta f_{sd}^{fad}} \quad \Delta f_{sd}^{fad} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 850$$

Seção	V _{máx} (tf)	V _{mín} (tf)	V _c /2 (tf)	$\sigma_{sw}^{m\acute{a}x}$ (tf/cm ²)	$\sigma_{sw}^{m\acute{i}n}$ (tf/cm ²)	$\Delta\sigma_{sw}$ (tf/cm ²)	f.f.	ρ_{sw} (cm ² /m ²)
S0	117,39	82,02	65,7	2,37	0,75	1,62	1,91	33,32
S1	42,00	11,00	33,2	0,55	0,00	0,55	1,00	41,03
S2	34,38	11,94	30,4	0,47	0,00	0,47	1,00	21,84
S3	34,08	13,33	28,7	0,98	0,00	0,98	1,15	16,20
S4	27,84	8,09	27,8	0,01	0,00	0,01	1,00	2,26
S5	9,71	-9,71	27,4	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S6	-8,09	-27,84	27,8	0,00	0,01	0,01	1,00	2,26
S7	-13,33	-34,08	28,7	0,00	0,98	0,98	1,15	16,20
S8	-11,94	-34,38	30,4	0,00	0,47	0,47	1,00	21,84
S9	-11,00	-42,00	33,2	0,00	0,55	0,55	1,00	41,03
S10	-82,02	-117,39	65,7	0,75	2,37	1,62	1,91	33,32

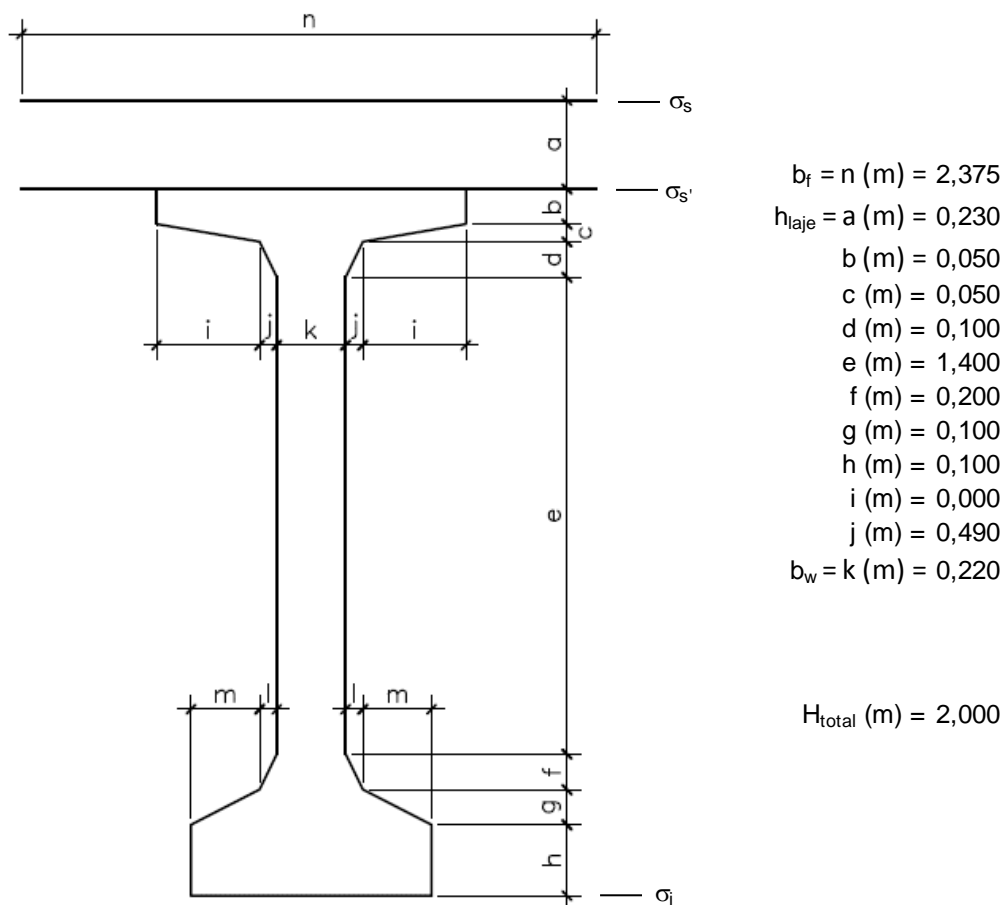
Determinação dos estribos e seus espaçamentos

$$s = (n \times A_s^{1perna}) / (\rho_{sw} \times ff \times b_w^{medio})$$

Seção	b _w (m)	ρ_{wu} (cm ² /m ²)	ρ_{wu} (Méd/Mín)	n	Φ (mm)	A _s ^{1perna}	s _{calculado} (cm)	s _{adotado} (cm)
S0	0,70	33,32						
			37,17	2	12,5	1,23	14,4	12,5
S1	0,22	41,03						
			31,44	2	10,0	0,79	22,7	22,5
S2	0,22	21,84						
			19,02	2	8,0	0,50	24,0	22,5
S3	0,22	16,20						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S4	0,22	2,26						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S5	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S6	0,22	2,26						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S7	0,22	16,20						
			19,02	2	8,0	0,50	24,0	22,5
S8	0,22	21,84						
			31,44	2	10,0	0,79	22,7	22,5
S9	0,22	41,03						
			37,17	2	12,5	1,23	14,4	12,5
S10	0,70	33,32						

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à ruptura)

Seção S₅



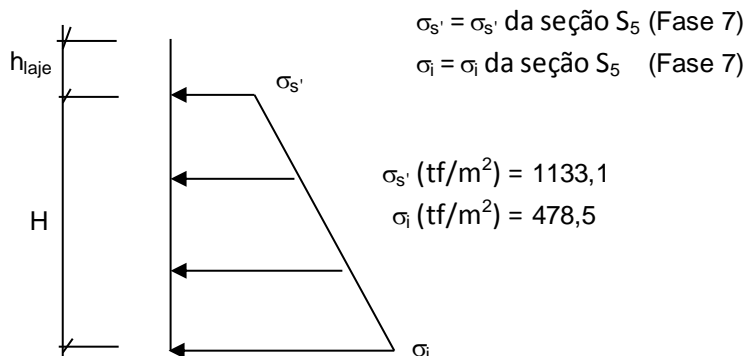
Materiais:

Concreto laje $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$ $E_{cs,laje} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Concreto viga $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$ $E_{cs,viga} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Aço: CP-190 RB $E_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

	$\sigma_{sp}^{t=\infty}$ (kgf/cm ²)
C1	10.524
C2	10.593
C3	10.662
C4	10.991
C5	10.966
C6	0
C7	0
C8	0
C9	0

Solicitações atuantes na seção S₅

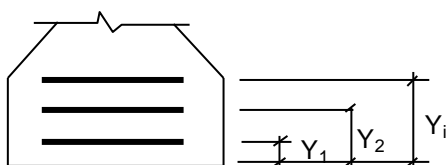
$$M_{g1} \text{ (tf.m)} = 332,6$$

$$M_q \text{ (tf.m)} = 536,0$$

$$M_{g2} \text{ (tf.m)} = 247,8$$

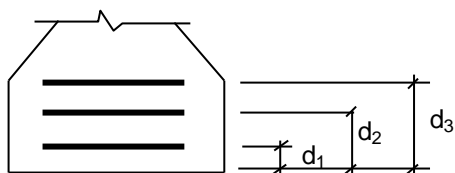
$$M_{g3} \text{ (tf.m)} = 183,6$$

Cálculo do C.G. da armadura de protensão



	y (m)
C1	0,420
C2	0,270
C3	0,120
C4	0,120
C5	0,120
C6	
C7	
C8	
C9	

Cálculo do C.G. da armadura passiva complementar



1ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 6$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 16$$

$$d_1 \text{ (m)} = 0,060$$

$$\text{C.G. (cm)} = 0,060$$

2ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_2 \text{ (m)} = 0,100$$

3ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

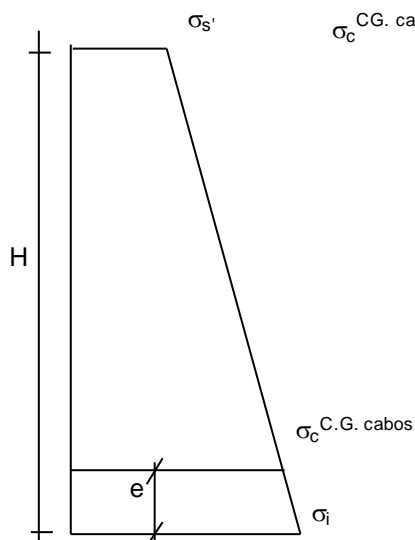
$$d_3 \text{ (m)} = 0,150$$

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=00} / E_{sp}$$

	$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}}$
C1	0,0053
C2	0,0053
C3	0,0053
C4	0,0055
C5	0,0055
C6	0,0000
C7	0,0000
C8	0,0000
C9	0,0000

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



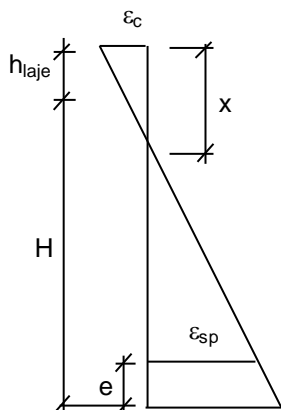
$$\sigma_c^{\text{CG. cabos}} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma_s') / H] + \sigma_s'$$

$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{\text{C.G. cabos}} / E_{cs}$$

	y (m)	σ_c (tf/m ²)	$\epsilon_{sp}^{\text{descomp}}$
C1	0,420	616,0	0,00019
C2	0,270	566,9	0,00018
C3	0,120	517,8	0,00016
C4	0,120	517,8	0,00016
C5	0,120	517,8	0,00016
C6	0,000	0,0	0,00000
C7	0,000	0,0	0,00000
C8	0,000	0,0	0,00000
C9	0,000	0,0	0,00000

Equilíbrio da seção:

Deformada admitida para a seção S₅



$$\epsilon_c (\text{‰}) = 1,671$$

$$\epsilon_{sp} (\text{‰}) = 10,000$$

$$x = [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0,302$$

Cálculo da resultante de compressão

Lamela	y_{1i} (m)	y_{2i} (m)	B1 (m)	B2 (m)	ε_{ci} (‰)	σ_{cd} (tf/m ²)	F_i (tf)
1	0,000	0,046	2,375	2,375	1,54	2302	251,5
2	0,046	0,092	2,375	2,375	1,29	2122	231,9
3	0,092	0,138	2,375	2,375	1,04	1864	203,6
4	0,138	0,184	2,375	2,375	0,78	1526	166,7
5	0,184	0,230	2,375	2,375	0,53	1110	121,3
6	0,230	0,240	1,200	1,200	0,37	818	9,8
7	0,240	0,250	1,200	1,200	0,32	707	8,5
8	0,250	0,260	1,200	1,200	0,26	592	7,1
9	0,260	0,270	1,200	1,200	0,21	474	5,7
10	0,270	0,280	1,200	1,200	0,15	351	4,2
11	0,280	0,284	1,200	1,200	0,11	261	1,4
12	0,284	0,289	1,200	1,200	0,09	204	1,1
13	0,289	0,293	1,200	1,200	0,06	147	0,8
14	0,293	0,298	1,200	1,200	0,04	89	0,5
15	0,298	0,302	1,200	1,200	0,01	30	0,2
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 1014,2$$

$$C.G._{cc} \text{ (m)} = 0,106$$

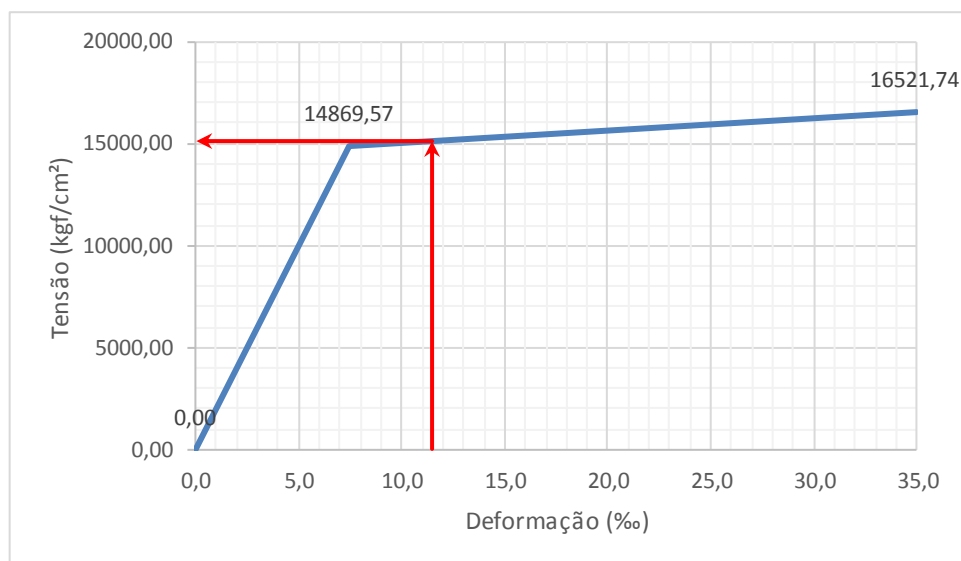
Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

	y (m)	ϵ_{sp} (‰)	ϵ_{sp}^{total} (‰)
C1	0,420	5,99	11,445
C2	0,270	6,49	11,961
C3	0,120	10,00	15,494
C4	0,120	10,00	15,658
C5	0,120	10,00	15,646
C6	0,000	0,00	0,000
C7	0,000	0,00	0,000
C8	0,000	0,00	0,000
C9	0,000	0,00	0,000

Do diagrama tensão-deformação preconizado na NBR 6118, tem-se

$$f_{pyd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.869,6 \quad f_{ptd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 16.521,7$$



$$R_{st,CP} = A_{sp} \times \sigma_{sp}$$

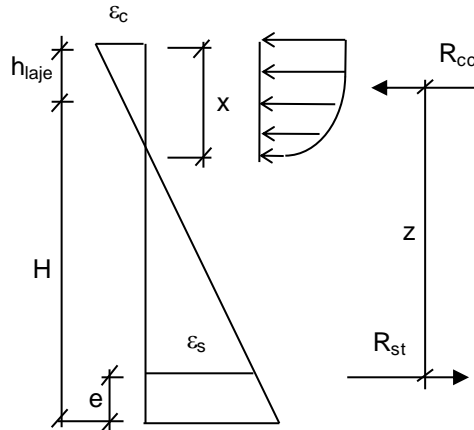
	σ_{sp} (kgf/cm ²)	A_{sp} (cm ²)	$R_{st,CP-190}$ (tf)
C1	15.110	12,60	190,39
C2	15.141	12,60	190,77
C3	15.353	12,60	193,44
C4	15.362	12,60	193,57
C5	15.362	12,60	193,56
C6	0	0,00	0,00
C7	0	0,00	0,00
C8	0	0,00	0,00
C9	0	0,00	0,00
$R_{st,CP}$ (tf) =			961,73

$$A_s^{CA-50} (cm^2) = 12,064$$

$$R_{st,CA-50} = A_s^{CA-50} \times \sigma_s \quad R_{st,CA-50} (tf) = 52,5$$

$$R_{st} = R_{st,CP} + R_{st,CA-50}$$

$$R_{st} (tf) = 1.014,2$$



	z (m)
C1	1,704
C2	1,854
C3	2,004
C4	2,004
C5	2,004
C6	0,000
C7	0,000
C8	0,000
C9	0,000
CA-50	2,064

$$z = H + h_{laje} - C.G._{cc} - e$$

$$M_i = R_{st,i} \cdot z_i$$

$$z = \sum M_i / R_{st}$$

$$z (m) = 1,923$$

Assim temos:


$$M_u = R_{st} \cdot z \quad M_u (tf.m) = 1.950$$

$$M_d = 1,35 \cdot (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,5 \cdot (M_q) + \Delta F_{sd} \cdot z$$

$$\Delta F_{sd} (tf) = 0,00$$

$$M_d (tf.m) = 1.835$$

$$\text{Então: } M_u / M_d = 1,06 > 1,00 \text{ (Atende)}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 125/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

5.3 VIGAS DE 31,70m

Características geométricas das seções

As características das seções serão calculadas considerando contribuição das armaduras passivas principais (superior e inferior), além das armaduras ativas.

As características das seções do conjunto viga+laje serão calculadas considerando a relação entre os módulos de elasticidade do concreto da viga e da laje, n .

$$f_{ck,viga} \text{ (MPa)} = 40 \quad f_{ck,laje} \text{ (MPa)} = 40 \quad \text{tipo de agregado considerado: granito ou gnaiss}$$

$$E_{CS,viga} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad E_{CS,laje} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad n = 1,00$$

$$E_s \text{ (MPa)} = 200.000 \quad \alpha = 6,27$$

Viga Isolada

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,700	0,050	1,900	1,850	0,048	1,877	0,089	0,167	0,000
4	0,700	0,700	1,450	1,850	0,400	1,015	1,125	1,142	1,285	0,178
5	0,700	0,700	0,200	0,400	0,200	0,140	0,300	0,042	0,013	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{array}{llll}
A \text{ (m}^2\text{)} = 1,463 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 2,101 & V_s \text{ (m)} = - & w_s \text{ (m}^3\text{)} = - \\
H \text{ (m)} = 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,519 & V_s' \text{ (m)} = 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,541 \\
A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00 & V_i \text{ (m)} = 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,499 \\
Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000 & &
\end{array}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A_s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{array}{lll}
A \text{ (m}^2\text{)} = 1,463 & V_s \text{ (m)} = - & w_s \text{ (m}^3\text{)} = - \\
H \text{ (m)} = 2,000 & V_s' \text{ (m)} = 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,541 \\
I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,519 & V_i \text{ (m)} = 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,499
\end{array}$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A _s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

[illegible]

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S3

[illegible]

$$Y_{As.inf} (m) = 0,000$$

[illegible]

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S4

[illegible]

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Conjunto viga + laje

$$h_{laje} (m) = 0,23$$

$$\text{intereixo de vigas (m)} = 2,750$$

Vigas centrais

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A (m^2) = 0,633$$

$$I_{zi} (m^4) = 0,011$$

$$V_s (m) = 0,115$$

$$H (m) = 0,230$$

$$I_z (m^4) = 0,003$$

$$V_i (m) = 0,115$$

$$A_{s,sup} (cm^2) = 0,00$$

$$A_{s,inf} (cm^2) = 0,00$$

$$Y_{As,sup} (m) = 0,000$$

$$Y_{As,inf} (m) = 0,000$$

$$A (m^2) = 2,095$$

$$V_s (m) = 0,865$$

$$w_s (m^3) = 1,193$$

$$H (m) = 2,230$$

$$V_s' (m) = 0,635$$

$$w_s' (m^3) = 1,625$$

$$I_z (m^4) = 1,032$$

$$V_i (m) = 1,365$$

$$w_i (m^3) = 0,756$$

Seção S1

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A (m^2) = 0,633$$

$$I_{zi} (m^4) = 0,011$$

$$V_s (m) = 0,115$$

$$H (m) = 0,230$$

$$I_z (m^4) = 0,003$$

$$V_i (m) = 0,115$$

$$A_{s,sup} (cm^2) = 0,00$$

$$A_{s,inf} (cm^2) = 0,00$$

$$Y_{As,sup} (m) = 0,000$$

$$Y_{As,inf} (m) = 0,000$$

$$A (m^2) = 1,364$$

$$V_s (m) = 0,703$$

$$w_s (m^3) = 1,119$$

$$H (m) = 2,230$$

$$V_s' (m) = 0,473$$

$$w_s' (m^3) = 1,663$$

$$I_z (m^4) = 0,786$$

$$V_i (m) = 1,527$$

$$w_i (m^3) = 0,514$$

Seção S2

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A (m^2) = 0,633$$

$$I_{zi} (m^4) = 0,011$$

$$V_s (m) = 0,115$$

$$H (m) = 0,230$$

$$I_z (m^4) = 0,003$$

$$V_i (m) = 0,115$$

$$A_{s,sup} (cm^2) = 0,00$$

$$A_{s,inf} (cm^2) = 0,00$$

$$Y_{As,sup} (m) = 0,000$$

$$Y_{As,inf} (m) = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Seção S3

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Seção S4

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Seção S5

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Vigas de bordo

Seção S0

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 2,009$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,981$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,898$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,668$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,332$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,093$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,470$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,736$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S3

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S4

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S5

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Resumo das características das seções

Viga isolada

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	1,463	0,519	-	0,960	1,040	-	0,541	0,499
S1	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S2	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S3	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S4	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S5	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369

Conjunto viga+laje

Vigas centrais

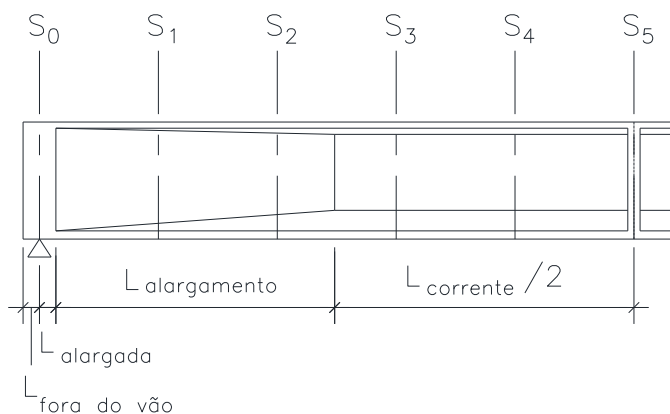
	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,095	1,032	0,865	0,635	1,365	1,193	1,625	0,756
S1	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S2	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S3	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S4	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S5	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514

Vigas de bordo

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,009	0,981	0,898	0,668	1,332	1,093	1,470	0,736
S1	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S2	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S3	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S4	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S5	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507

Cargas permanentes

Peso próprio da viga



$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 31,10$$

$$\Delta S \text{ (m)} = 3,110$$

$$\gamma_{\text{concreto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,50$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$L_{\text{alargada}} \text{ (m)} = 0,900$$

$$L_{\text{alargamento}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$L_{\text{corrente}} \text{ (m)} = 28,700$$

$$g_{\text{fora do vão}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$g_{\text{alargada}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$g_{\text{corrente}} \text{ (tf/m)} = 1,828$$

$$n_{\text{septos de vão}} = 1$$

$$X_{\text{septo de vão 1}} \text{ (m)} = -$$

$$X_{\text{septo de vão 2}} \text{ (m)} = -$$

$$e_{\text{septos de vão}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$R_{g1} \text{ (tf)} = 31,43$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	30,3	0,0	-	0,0	0,0
S1	22,7	80,6	-	210,3	-218,5
S2	17,1	142,4	-	371,8	-386,3
S3	11,4	186,6	-	487,2	-506,1
S4	5,7	213,1	-	556,4	-578,1
S5	0,0	222,0	-	579,5	-602,0

Diagrama de Cortante (tf)

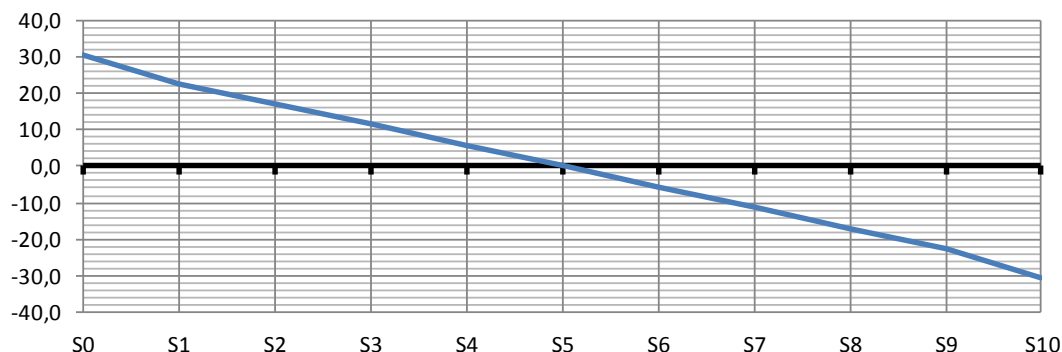
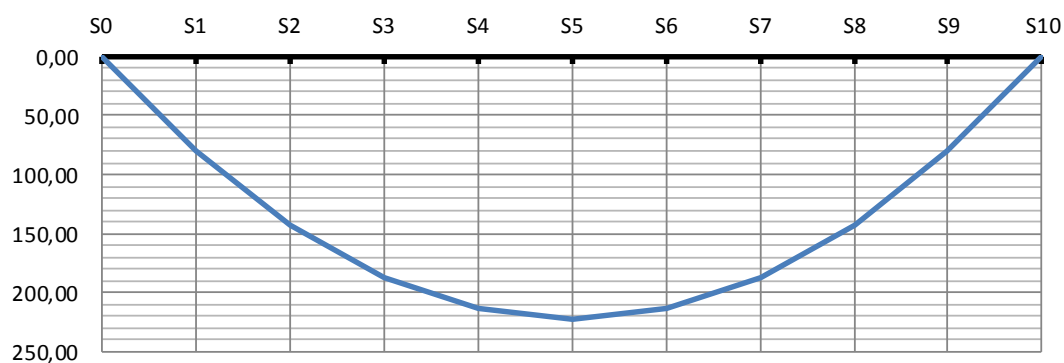


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Peso próprio da laje e transversinas

Vigas centrais

$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$

$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,581$

$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 1,000$

$R_{g2} \text{ (tf)} = 27,25$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	24,59	0,00	-	0,0	0,0
S1	19,67	68,82	-	179,7	-186,7
S2	14,75	122,35	-	319,4	-331,8
S3	9,84	160,59	-	419,2	-435,5
S4	4,92	183,53	-	479,1	-497,8
S5	0,00	191,18	-	499,1	-518,5

Diagrama de Cortante (tf)

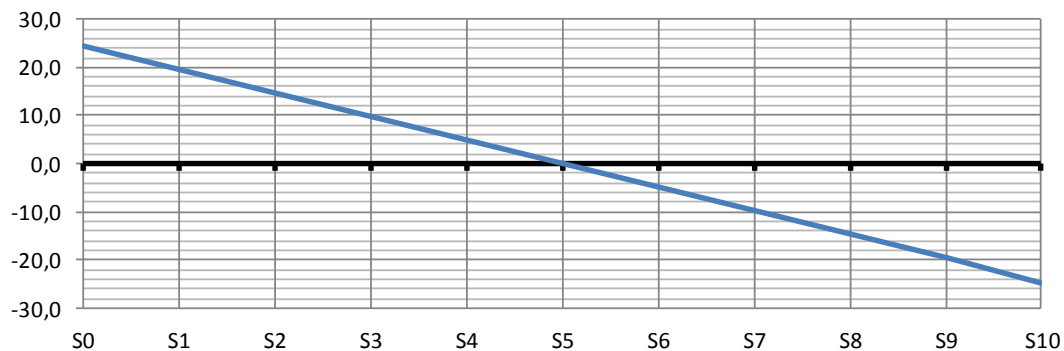
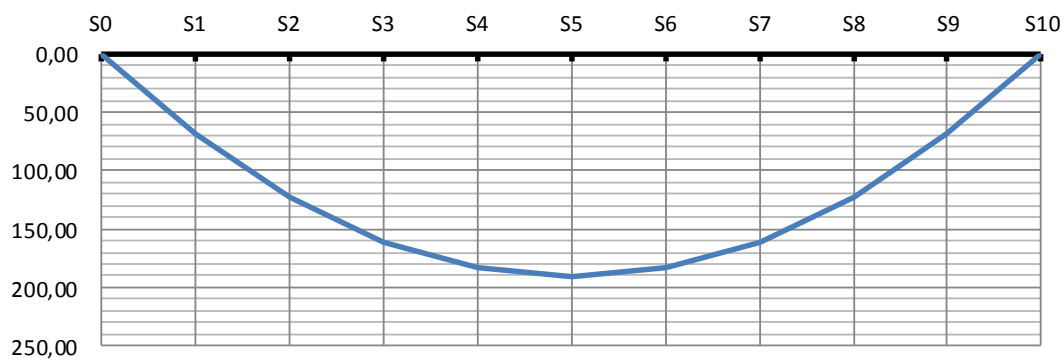


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$L_{\text{fora do vão}} (m) = 1,050$

$g_2 (tf/m) = 1,366$

$P_{\text{transv. de vão}} (tf) = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} (tf) = 0,500$

$R_{g2} (tf) = 23,17$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s (tf/m^2)$	$\sigma_s' (tf/m^2)$	$\sigma_i (tf/m^2)$
S0	21,24	0,00	-	0,0	0,0
S1	16,99	59,44	-	155,2	-161,2
S2	12,74	105,67	-	275,8	-286,6
S3	8,49	138,69	-	362,0	-376,1
S4	4,25	158,50	-	413,8	-429,9
S5	0,00	165,11	-	431,0	-447,8

Diagrama de Cortante (tf)

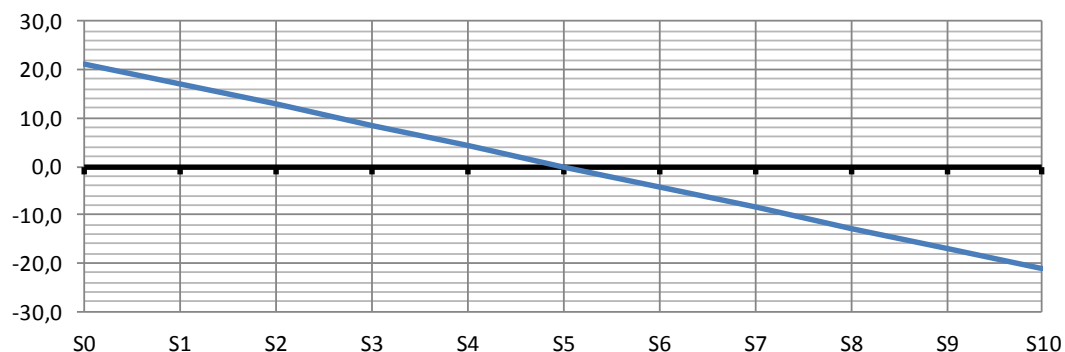
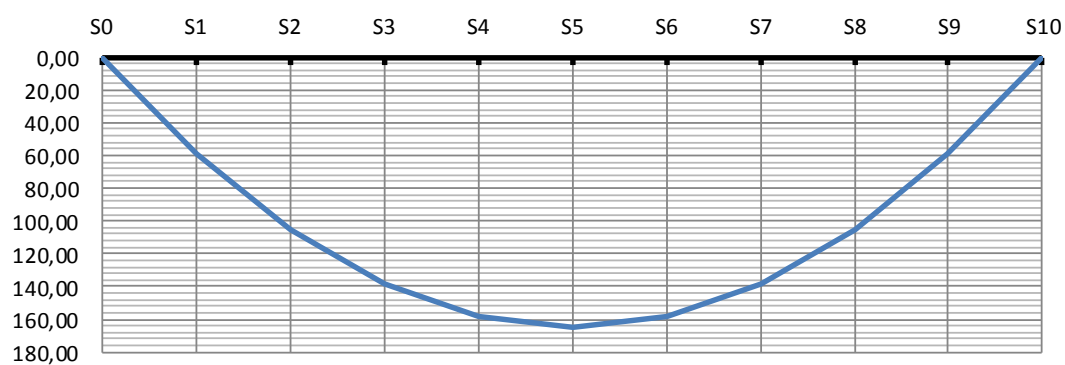


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Sobrecarga Permanente Rodoviária

Vigas centrais

$$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 2,750$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0,462$$

$$R_{g3} \text{ (tf)} = 7,67$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	7,18	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	5,75	20,11	18,0	12,1	-39,1
S2	4,31	35,75	32,0	21,5	-69,5
S3	2,87	46,92	41,9	28,2	-91,2
S4	1,44	53,62	47,9	32,2	-104,2
S5	0,00	55,86	49,9	33,6	-108,6

Diagrama de Cortante (tf)

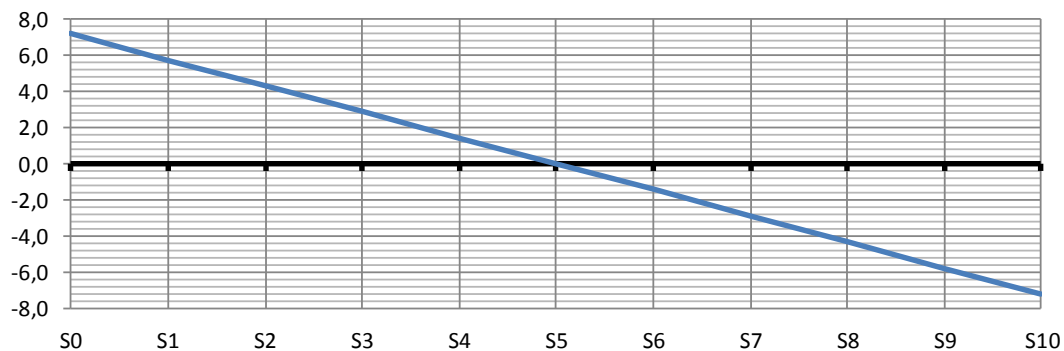
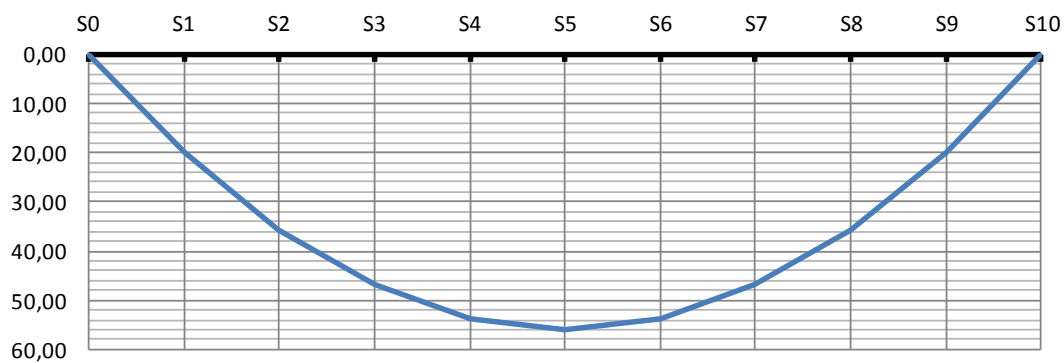


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$$

$$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$$

$$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 1,975$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

$$h_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,10$$

$$b_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,40$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$g_{\text{guarda-rodas}} \text{ (tf/m)} = 0,580$$

$$g_{\text{guarda corpo}} \text{ (tf/m)} = 0,000$$

$$g_{\text{passeio}} \text{ (tf/m)} = 0,000$$

$$g_{\text{pingadeiras}} \text{ (tf/m)} = 0,100$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 1,012$$

$$R_{g3} \text{ (tf)} = 16,80$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	15,73	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	12,59	44,04	43,4	29,9	-86,9
S2	9,44	78,29	77,1	53,2	-154,6
S3	6,29	102,76	101,2	69,8	-202,9
S4	3,15	117,43	115,7	79,8	-231,8
S5	0,00	122,33	120,5	83,1	-241,5

Diagrama de Cortante (tf)

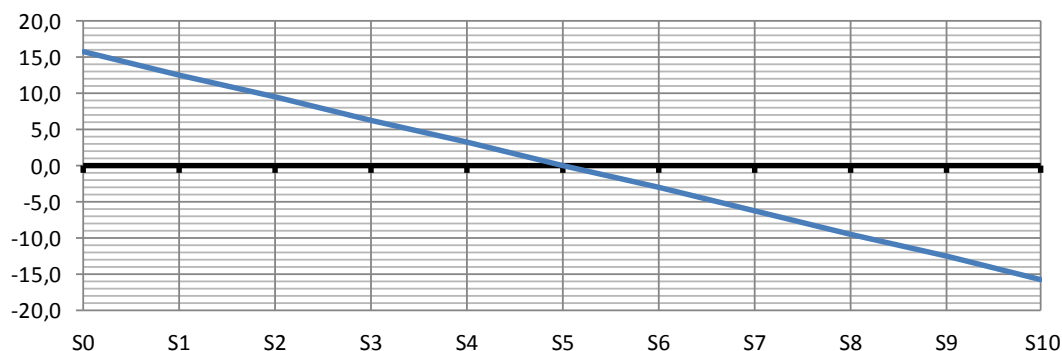
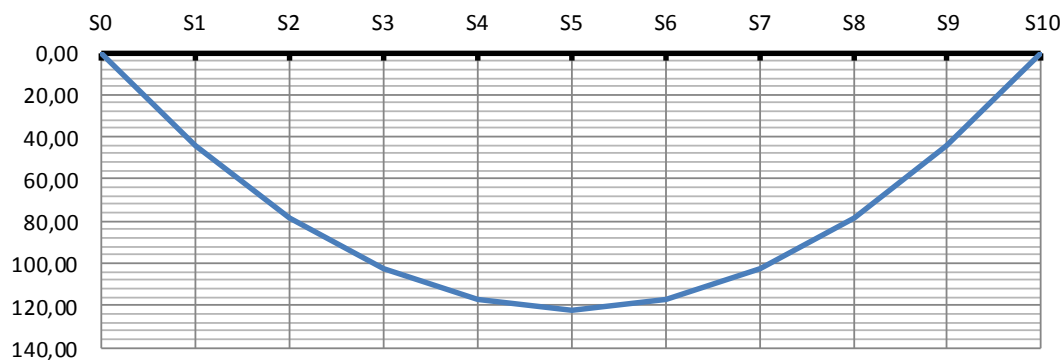


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)




Carga móvel rodoviária

$$L_{\text{transv}} \text{ (m)} = 13,00$$

$$n_{\text{vigas}} = 5$$

	X_i (m)	X_i^2	R_{V1}	R_{V2}	R_{V3}	R_{V4}	R_{V5}	R_{V6}
V1	5,50	30,25	0,600	0,400	0,200	0,000	-0,200	-
V2	2,75	7,56	0,400	0,300	0,200	0,100	0,000	-
V3	0,00	0,00	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	-
V4	-2,75	7,56	0,000	0,100	0,200	0,300	0,400	-
V5	-5,50	30,25	-0,200	0,000	0,200	0,400	0,600	-
V6	-	-	-	-	-	-	-	-
	ΣX_i^2	75,625						

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 140/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 31,10$$

$$P \text{ (tf/roda)} = 6,000$$

$$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,500$$

$$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$$

Coefficiente de impacto vertical (CIV)

$$CIV = 1,35 \text{ para vãos menores que } 10\text{m}$$

$$CIV = 1 + 1,06 \left(\frac{20}{L + 50} \right) \text{ para vãos maiores que } 10\text{m}$$

$$CIV = 1,26$$

Coefficiente do número de faixas (CNF)

$$CNF = 1 - 0,05(n - 2) > 0,9$$

$$n_{\text{faixas}} = 2$$

$$CNF = 1,00$$

Coefficiente de impacto adicional (CIA)

$$CIA = 1,25 \text{ para obras em concreto ou mistas}$$

$$CIA = 1,15 \text{ para obras em aço}$$

$$CIA = 1,25$$

Aplicado apenas nas seções a uma distância normal à junta inferior a 5m.

Trem-tipo para V1 (viga de bordo)

$$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$$

$$i = 0,073$$

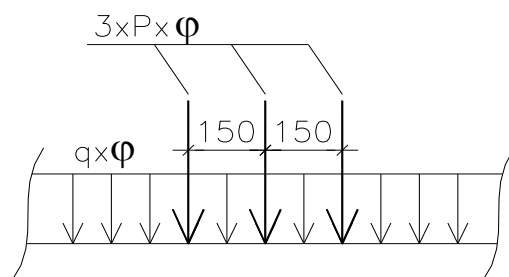
$$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$$

$$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 8,850$$

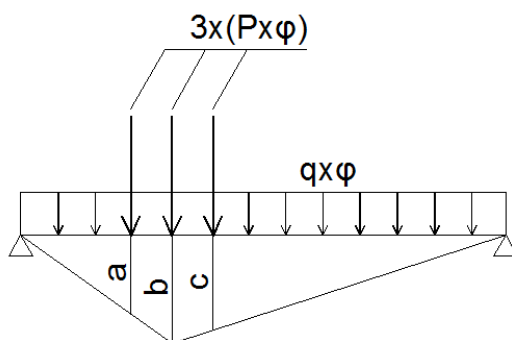
	X (m)	Y
a	6,500	0,673
b	6,500	0,673
c	6,100	0,644
d	5,600	0,607
e	3,600	0,462
f	-2,750	0,000
g	-6,100	-0,244
h	-6,500	-0,273
i	-6,500	-0,273

$$\begin{aligned} P \text{ (tf/eixo)} &= 6,415 && \text{(sem impacto)} \\ q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 1,424 && \text{(sem impacto)} \\ q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ (tf/eixo)} &= 8,091 && \text{(com CIV e CNF)} \\ q_{\text{total}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 1,796 && \text{(com CIV e CNF)} \end{aligned}$$

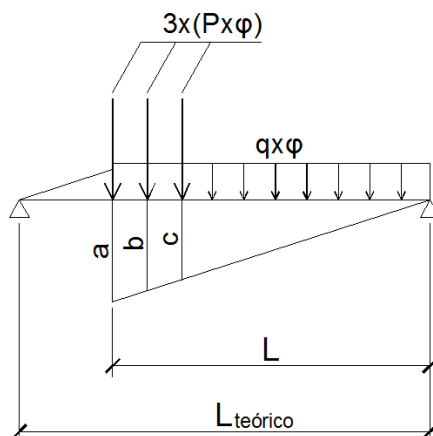


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	3,11	2,499	2,799	2,649	178,11
S2	6,22	4,376	4,976	4,676	252,50
S3	9,33	5,631	6,531	6,081	330,04
S4	12,44	6,564	7,464	6,864	377,53
S5	15,55	7,025	7,775	7,025	393,77
S6	18,66	6,564	7,464	6,864	377,53
S7	21,77	5,631	6,531	6,081	330,04
S8	24,88	4,376	4,976	4,676	252,50
S9	27,99	2,499	2,799	2,649	178,11
S10	31,10	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	31,10	1,000	0,952	0,904	63,79
S1	3,11	27,99	0,900	0,852	0,804	54,13
S2	6,22	24,88	0,800	0,752	0,704	36,13
S3	9,33	21,77	0,700	0,652	0,604	29,51
S4	12,44	18,66	0,600	0,552	0,504	23,45
S5	15,55	15,55	0,500	0,452	0,404	17,95
S6	18,66	12,44	0,400	0,352	0,304	13,01
S7	21,77	9,33	0,300	0,252	0,204	8,63
S8	24,88	6,22	0,200	0,152	0,104	4,80
S9	27,99	3,11	0,100	0,052	0,004	1,92
S10	31,10	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V1

	V _{C.M.} (tf)	M _{C.M.} (tf.m)	σ _s (tf/m ²)	σ _s ' (tf/m ²)	σ _i (tf/m ²)
S0	63,79	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	54,13	178,11	175,4	121,0	-351,6
S2	36,13	252,50	248,7	171,6	-498,5
S3	29,51	330,04	325,0	224,3	-651,5
S4	23,45	377,53	371,8	256,6	-745,3
S5	17,95	393,77	387,8	267,6	-777,4
S6	13,01	377,53	371,8	256,6	-745,3
S7	8,63	330,04	325,0	224,3	-651,5
S8	4,80	252,50	248,7	171,6	-498,5
S9	1,92	178,11	175,4	121,0	-351,6
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Trem-tipo para V2 (viga central)

$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$

$i = 0,036$

$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$

$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 11,600$

	X (m)	Y
a	6,500	0,436
b	6,500	0,436
c	6,100	0,422
d	5,600	0,404
e	3,600	0,331
f	-5,500	0,000
g	-6,100	-0,022
h	-6,500	-0,036
i	-6,500	-0,036

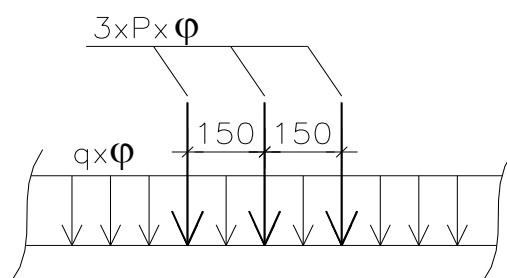
$P \text{ (tf/eixo)} = 4,407$ (sem impacto)

$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,223$ (sem impacto)

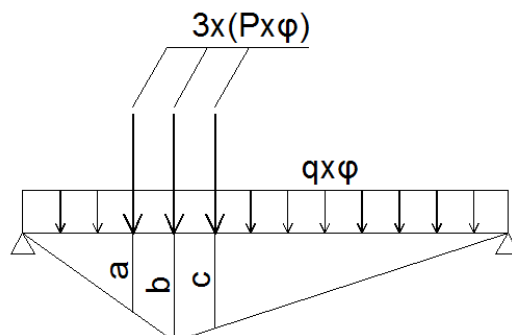
$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$

$P \text{ (tf/eixo)} = 5,559$ (com CIV e CNF)

$p \text{ (tf/m)} = 1,543$ (com CIV e CNF)

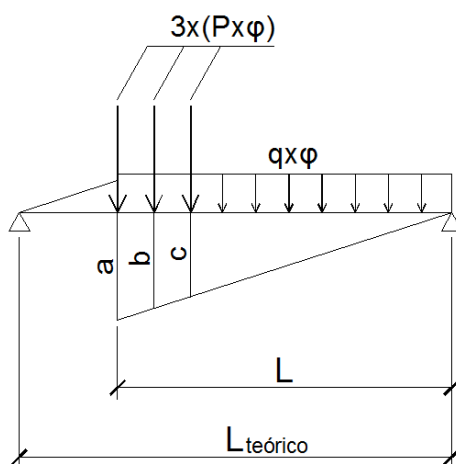


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)




	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	3,11	2,499	2,799	2,649	139,18
S2	6,22	4,376	4,976	4,676	197,38
S3	9,33	5,631	6,531	6,081	258,13
S4	12,44	6,564	7,464	6,864	295,24
S5	15,55	7,025	7,775	7,025	307,89
S6	18,66	6,564	7,464	6,864	295,24
S7	21,77	5,631	6,531	6,081	258,13
S8	24,88	4,376	4,976	4,676	197,38
S9	27,99	2,499	2,799	2,649	139,18
S10	31,10	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	31,10	1,000	0,952	0,904	49,83
S1	3,11	27,99	0,900	0,852	0,804	42,05
S2	6,22	24,88	0,800	0,752	0,704	27,89
S3	9,33	21,77	0,700	0,652	0,604	22,63
S4	12,44	18,66	0,600	0,552	0,504	17,84
S5	15,55	15,55	0,500	0,452	0,404	13,53
S6	18,66	12,44	0,400	0,352	0,304	9,71
S7	21,77	9,33	0,300	0,252	0,204	6,36
S8	24,88	6,22	0,200	0,152	0,104	3,49
S9	27,99	3,11	0,100	0,052	0,004	1,38
S10	31,10	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 145/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V2

	$V_{C.M.} \text{ (tf)}$	$M_{C.M.} \text{ (tf.m)}$	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	49,83	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	42,05	139,18	124,4	83,7	-270,5
S2	27,89	197,38	176,5	118,7	-383,7
S3	22,63	258,13	230,8	155,2	-501,8
S4	17,84	295,24	264,0	177,5	-573,9
S5	13,53	307,89	275,3	185,1	-598,5
S6	9,71	295,24	264,0	177,5	-573,9
S7	6,36	258,13	230,8	155,2	-501,8
S8	3,49	197,38	176,5	118,7	-383,7
S9	1,38	139,18	124,4	83,7	-270,5
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Cálculo da protensão - Vigas de Bordo

Módulo de elasticidade do cabo



$$E_p \text{ (MPa)} = 200.000$$

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

Tensão inicial no cabo:

Pós-Tensão -

$\sigma_{p0} \leq$

$$\left\{ \begin{array}{l} -0,74 * f_{ptk} = 14060 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,82 * f_{pk} = 14022 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

Pré-Tensão -

$\sigma_{p0} \leq$

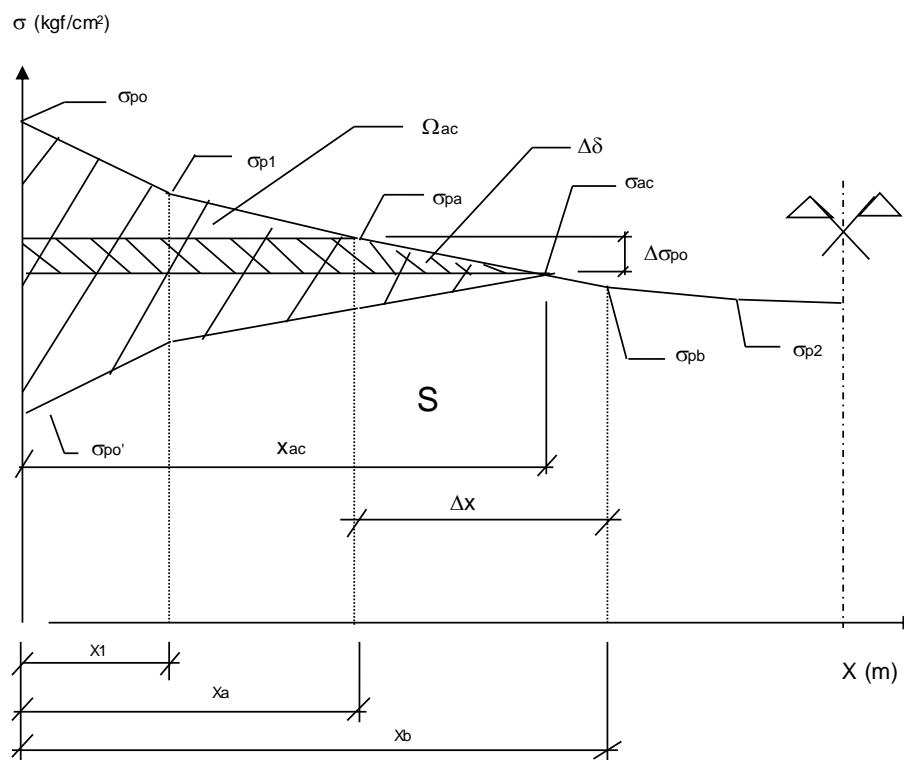
$$\left\{ \begin{array}{l} -0,77 * f_{ptk} = 14630 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,85 * f_{pk} = 14535 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

onde: $f_{ptk} \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 19.000$

$f_{pyk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 17.100$

Cabo	Etapas	Sistema
C1	1	Viga isolada
C2	1	Viga isolada
C3	1	Viga isolada
C4	2	Viga isolada
C5	2	Viga isolada
C6		-
C7		-
C8		-
C9		-

Cálculo das perdas imediatas de protensão



A tensão após as perdas por atrito é dada por:

$$\sigma_{p0}(x) = \sigma_{p0} * e^{-\mu(\alpha + k * x)}$$

- onde:
- $\sigma_{p0}(x)$ é a tensão no cabo após perdas por atrito numa seção situada à uma distância (x) da ancoragem do cabo.
 - (x) é a distância entre a ancoragem e a seção da viga onde está sendo calculada a tensão $\sigma_{p0}(x)$.
 - μ é o coeficiente de atrito entre o cabo e a bainha. Adota-se $\mu = 0,20$.
 - K é o desvio angular por unidade de comprimento. Adota-se $K = 0,01$ rad/m.
 - α é variação angular entre a ancoragem e a seção em (x).

Cabo C1

Unidade de protensão → 6 $\phi 15,2$ Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0$$

(recoo da ancoragem)

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	31,40	1,700	8,000		16,00	1,000	14022
S1	3,340	28,06	1,231	8,000	0,00	16,00	0,993	13929
S2	6,430	24,97	0,849	5,900	2,10	13,90	0,980	13742
S3	9,520	21,88	0,588	3,700	4,30	11,70	0,967	13553
S4	12,610	18,79	0,447	1,500	6,50	9,50	0,953	13366
S5	15,700	15,70	0,420	0,000	8,00	8,00	0,942	13214
S6	18,790	12,61	0,447	-1,500	9,50	6,50	0,953	13366
S7	21,880	9,52	0,588	-3,700	11,70	4,30	0,967	13553
S8	24,970	6,43	0,849	-5,900	13,90	2,10	0,980	13742
S9	28,060	3,34	1,231	-8,000	16,00	0,00	0,993	13929
S10	31,400	0,00	1,700	-8,000	16,00		1,000	14022

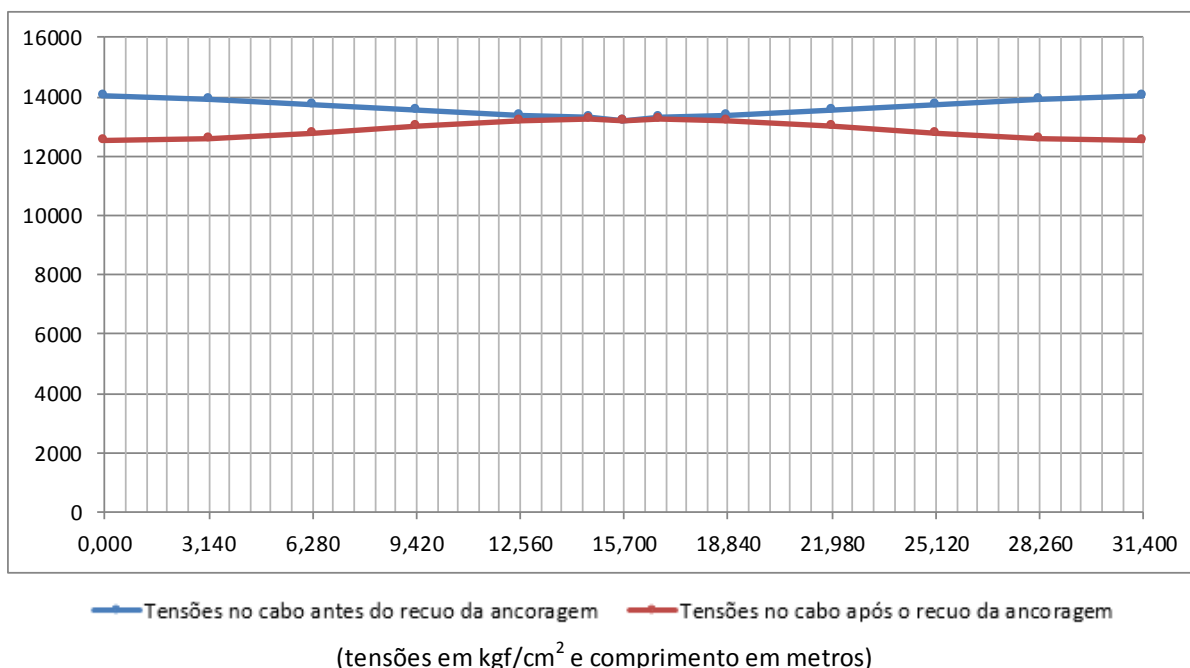
$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 107 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 107 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0
S1	12604	105,9	1,019	0,211	104,8	-14,7	22,2
S2	12791	107,4	1,019	-0,170	106,9	-11,0	-18,2
S3	12980	109,0	1,019	-0,431	108,8	-7,0	-46,9
S4	13167	110,6	1,019	-0,572	110,6	-2,9	-63,2
S5	13214	111,0	1,019	-0,599	111,0	0,0	-66,5
S6	13167	110,6	1,019	-0,572	110,6	2,9	-63,2
S7	12980	109,0	1,019	-0,431	108,8	7,0	-46,9
S8	12791	107,4	1,019	-0,170	106,9	11,0	-18,2
S9	12604	105,9	1,019	0,211	104,8	14,7	22,2
S10	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0



Cabo C2

Unidade de protensão → 6 ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0} (x)$
S0	0,000	31,40	1,350	6,500		13,00	1,000	14022
S1	3,340	28,06	0,969	6,500	0,00	13,00	0,993	13929
S2	6,430	24,97	0,631	5,400	1,10	11,90	0,983	13790
S3	9,520	21,88	0,397	3,200	3,30	9,70	0,970	13600
S4	12,610	18,79	0,283	1,000	5,50	7,50	0,957	13413
S5	15,700	15,70	0,270	0,000	6,50	6,50	0,947	13284
S6	18,790	12,61	0,283	-1,000	7,50	5,50	0,957	13413
S7	21,880	9,52	0,397	-3,200	9,70	3,30	0,970	13600
S8	24,970	6,43	0,631	-5,400	11,90	1,10	0,983	13790
S9	28,060	3,34	0,969	-6,500	13,00	0,00	0,993	13929
S10	31,400	0,00	1,350	-6,500	13,00		1,000	14022

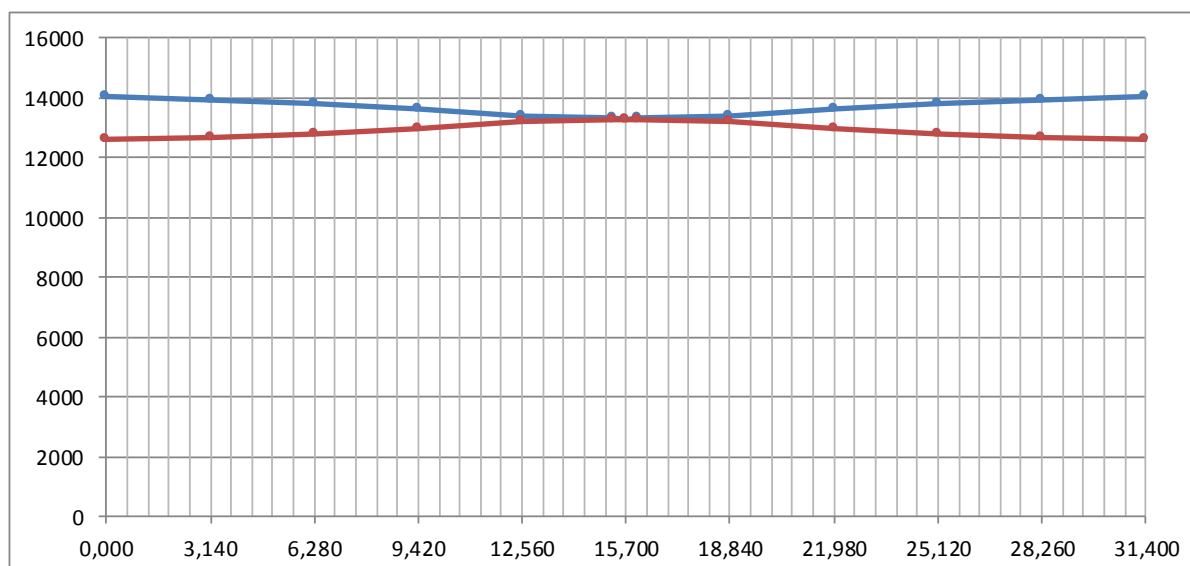
Δl^{esq} (mm) = 107 (alongamento previsto na ancoragem esquerda)*

Δl^{dir} (mm) = 107 (alongamento previsto na ancoragem direita)*

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,310	0,0	0,0	0,0
S1	12671	106,4	1,019	-0,050	105,7	-12,0	-5,3
S2	12809	107,6	1,019	-0,388	107,1	-10,1	-41,6
S3	12999	109,2	1,019	-0,622	109,0	-6,1	-67,8
S4	13186	110,8	1,019	-0,737	110,7	-1,9	-81,6
S5	13284	111,6	1,019	-0,749	111,6	0,0	-83,6
S6	13186	110,8	1,019	-0,737	110,7	1,9	-81,6
S7	12999	109,2	1,019	-0,622	109,0	6,1	-67,8
S8	12809	107,6	1,019	-0,388	107,1	10,1	-41,6
S9	12671	106,4	1,019	-0,050	105,7	12,0	-5,3
S10	0	0,0	1,040	0,310	0,0	0,0	0,0



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm^2 e comprimento em metros)

Cabo C3

Unidade de protensão → 6 $\phi 15,2$

Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva

Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	31,40	1,000	5,000		10,00	1,000	14022
S1	3,340	28,06	0,708	5,00	0,00	10,00	0,993	13929
S2	6,430	24,97	0,440	4,60	0,40	9,60	0,986	13824
S3	9,520	21,88	0,240	2,80	2,20	7,80	0,974	13652
S4	12,610	18,79	0,137	1,00	4,00	6,00	0,962	13483
S5	15,700	15,70	0,120	0,00	5,00	5,00	0,952	13353
S6	18,790	12,61	0,137	-1,00	6,00	4,00	0,962	13483
S7	21,880	9,52	0,240	-2,80	7,80	2,20	0,974	13652
S8	24,970	6,43	0,440	-4,60	9,60	0,40	0,986	13824
S9	28,060	3,34	0,708	-5,00	10,00	0,00	0,993	13929
S10	31,400	0,00	1,000	-5,00	10,00		1,000	14022

$$\Delta l^{esq} \text{ (mm)} = 108 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

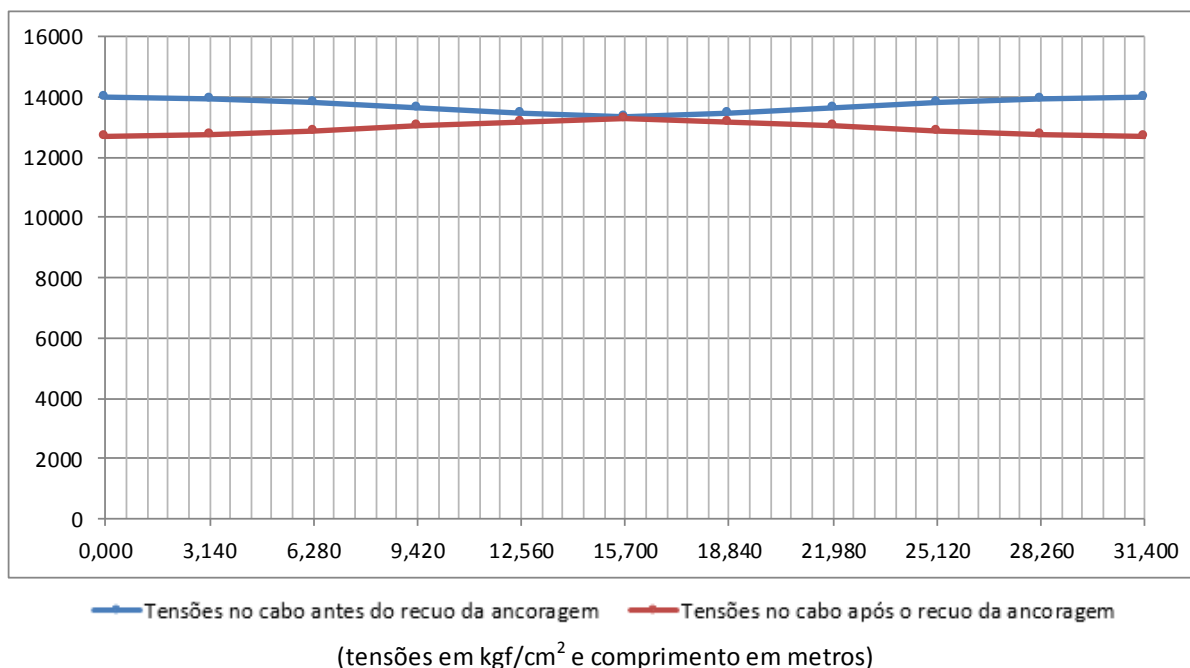
$$\Delta l^{dir} \text{ (mm)} = 108 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0
S1	12769	107,3	1,019	-0,311	106,9	-9,3	-33,3
S2	12867	108,1	1,019	-0,579	107,7	-8,7	-62,4
S3	13028	109,4	1,019	-0,779	109,3	-5,3	-85,1
S4	13192	110,8	1,019	-0,883	110,8	-1,9	-97,8
S5	13288	111,6	1,019	-0,899	111,6	0,0	-100,4
S6	13192	110,8	1,019	-0,883	110,8	1,9	-97,8
S7	13028	109,4	1,019	-0,779	109,3	5,3	-85,1
S8	12867	108,1	1,019	-0,579	107,7	8,7	-62,4
S9	12769	107,3	1,019	-0,311	106,9	9,3	-33,3
S10	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Cabo C4

Unidade de protensão → 6 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 2ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0}(x)$
S0	0,000	31,40	0,650	3,500		7,00	1,000	14022
S1	3,340	28,06	0,446	3,50	0,00	7,00	0,993	13929
S2	6,430	24,97	0,258	3,20	0,30	6,70	0,986	13828
S3	9,520	21,88	0,140	1,20	2,30	4,70	0,973	13648
S4	12,610	18,79	0,120	0,00	3,50	3,50	0,963	13507
S5	15,700	15,70	0,120	0,00	3,50	3,50	0,957	13424
S6	18,790	12,61	0,120	0,00	3,50	3,50	0,963	13507
S7	21,880	9,52	0,140	-1,20	4,70	2,30	0,973	13648
S8	24,970	6,43	0,258	-3,20	6,70	0,30	0,986	13828
S9	28,060	3,34	0,446	-3,50	7,00	0,00	0,993	13929
S10	31,400	0,00	0,650	-3,50	7,00		1,000	14022

Δl^{esq} (mm) = 108 (alongamento previsto na ancoragem esquerda)*

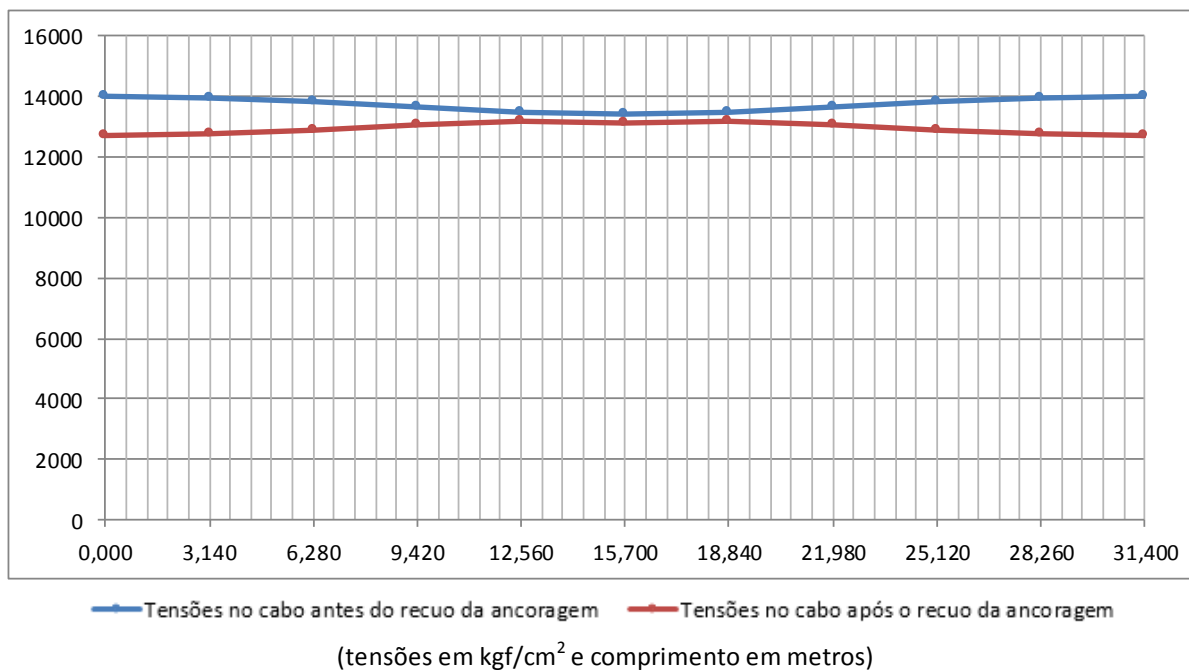
Δl^{dir} (mm) = 108 (alongamento previsto na ancoragem direita)*

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,390	0,0	0,0	0,0
S1	12787	107,4	1,019	-0,573	107,2	-6,6	-61,5
S2	12881	108,2	1,019	-0,761	108,0	-6,0	-82,2
S3	13053	109,6	1,019	-0,879	109,6	-2,3	-96,4
S4	13191	110,8	1,019	-0,899	110,8	0,0	-99,6
S5	13135	110,3	1,019	-0,899	110,3	0,0	-99,2
S6	13191	110,8	1,019	-0,899	110,8	0,0	-99,6
S7	13053	109,6	1,019	-0,879	109,6	2,3	-96,4
S8	12881	108,2	1,019	-0,761	108,0	6,0	-82,2
S9	12787	107,4	1,019	-0,573	107,2	6,6	-61,5
S10	0	0,0	1,040	-0,390	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Cabo C5

Unidade de protensão → 6 Ø15,2

Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva

Etapa de protensão → 2ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recoo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	31,40	0,300	2,000		4,00	1,000	14022
S1	3,340	28,06	0,183	2,00	0,00	4,00	0,993	13929
S2	6,430	24,97	0,120	0,10	1,90	2,10	0,981	13751
S3	9,520	21,88	0,120	0,00	2,00	2,00	0,974	13662
S4	12,610	18,79	0,120	0,00	2,00	2,00	0,968	13578
S5	15,700	15,70	0,120	0,00	2,00	2,00	0,962	13494
S6	18,790	12,61	0,120	0,00	2,00	2,00	0,968	13578
S7	21,880	9,52	0,120	0,00	2,00	2,00	0,974	13662
S8	24,970	6,43	0,120	-0,10	2,10	1,90	0,981	13751
S9	28,060	3,34	0,183	-2,00	4,00	0,00	0,993	13929
S10	31,400	0,00	0,300	-2,00	4,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 108 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

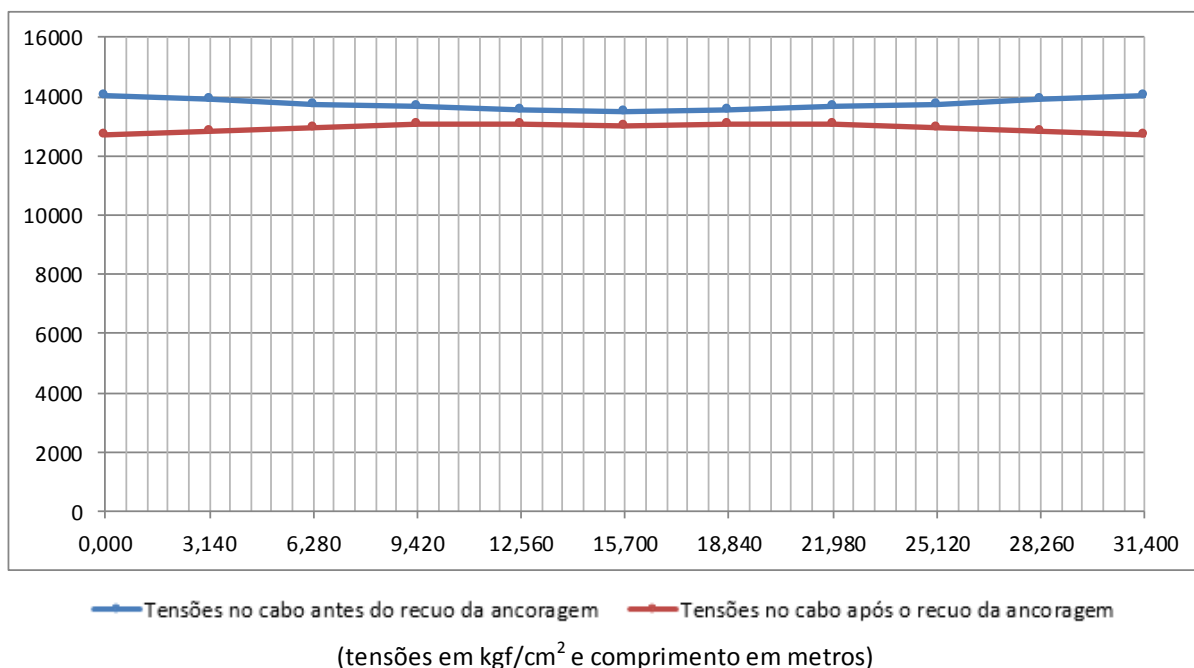
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 108 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recoo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0
S1	12799	107,5	1,019	-0,836	107,4	-3,8	-89,8
S2	12968	108,9	1,019	-0,899	108,9	-0,2	-97,9
S3	13055	109,7	1,019	-0,899	109,7	0,0	-98,6
S4	13064	109,7	1,019	-0,899	109,7	0,0	-98,7
S5	12981	109,0	1,019	-0,899	109,0	0,0	-98,0
S6	13064	109,7	1,019	-0,899	109,7	0,0	-98,7
S7	13055	109,7	1,019	-0,899	109,7	0,0	-98,6
S8	12968	108,9	1,019	-0,899	108,9	0,2	-97,9
S9	12799	107,5	1,019	-0,836	107,4	3,8	-89,8
S10	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0

A perda por recoo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Perda por encurtamento imediato do concreto

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$s = 0,38$$

1ª etapa de protensão

$$\alpha_E = 1,0$$

$$t_0 \text{ (dias)} = 3$$

$$\beta_s(t_0) = 0,458$$


$$f_{c,t0} \text{ (MPa)} = 18,3$$

$$n_{cabos} = 3$$

$$\alpha = 8,34$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 23.968,7$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	0,103	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	317,4	-16,3	-0,017	0,731	0,376	435,0	0,605	121,0
S2	321,7	-122,2	-0,126	0,731	0,376	481,2	0,669	133,8
S3	327,1	-199,9	-0,204	0,731	0,376	555,8	0,773	154,6
S4	332,1	-242,6	-0,243	0,731	0,376	611,5	0,850	170,1
S5	334,2	-250,4	-0,250	0,731	0,376	623,6	0,867	173,5
S6	332,1	-242,6	-0,243	0,731	0,376	611,5	0,850	170,1
S7	327,1	-199,9	-0,204	0,731	0,376	555,8	0,773	154,6
S8	321,7	-122,2	-0,126	0,731	0,376	481,2	0,669	133,8
S9	317,4	-16,3	-0,017	0,731	0,376	435,0	0,605	121,0
S10	0,0	0,0	0,103	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 155/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

2ª etapa de protensão

$$t_0 \text{ (dias)} = 7$$

$$\beta_s(t_0) = 0,684$$

$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 27,4$$

$$n_{\text{cabos}} = 2$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 29.288,8$$

Seção	$\Sigma N_{\text{prot}} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{\text{prot}} \text{ (tf.m)}$	$e_{\text{média}} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \varepsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	-0,126	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	214,7	-151,3	-0,157	0,731	0,376	356,7	0,406	81,2
S2	217,0	-180,1	-0,184	0,731	0,376	385,2	0,438	87,7
S3	219,3	-195,0	-0,198	0,731	0,376	402,5	0,458	91,6
S4	220,5	-198,3	-0,200	0,731	0,376	407,1	0,463	92,7
S5	219,4	-197,2	-0,200	0,731	0,376	405,0	0,461	92,2
S6	220,5	-198,3	-0,200	0,731	0,376	407,1	0,463	92,7
S7	219,3	-195,0	-0,198	0,731	0,376	402,5	0,458	91,6
S8	217,0	-180,1	-0,184	0,731	0,376	385,2	0,438	87,7
S9	214,7	-151,3	-0,157	0,731	0,376	356,7	0,406	81,2
S10	0,0	0,0	-0,126	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

Onde:

s = coeficiente que depende do tipo de cimento

t_0 = idade de aplicação da protensão

$$\beta_s = e^{s \times (1 - \sqrt{28/t_0})} \quad f_{cj} = \beta_s \times f_{ck} \quad E_c = \alpha_E \times 5600 \times \sqrt{f_{cj}}$$

$$\Delta \varepsilon_{cp} = \frac{n-1}{2n} \times \frac{\sigma_{c,cgp}}{E_{c,t0}} \quad \Delta \sigma_p = \frac{\Delta \varepsilon_{cp}}{E_p}$$

	Seção	Fase 1	Fase 2	Fase 3
$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	S0	0,0	0,0	0,0
	S1	202,2	81,2	0,0
	S2	221,5	87,7	0,0
	S3	246,2	91,6	0,0
	S4	262,7	92,7	0,0
	S5	265,6	92,2	0,0
	S6	262,7	92,7	0,0
	S7	246,2	91,6	0,0
	S8	221,5	87,7	0,0
	S9	202,2	81,2	0,0
	S10	0,0	0,0	0,0

Tensões nos cabos e solicitações devido à protensão após as perdas imediatas

C1


Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12402	104,2	103,2	-14,5	21,8	11,6%
S2	12569	105,6	105,0	-10,9	-17,9	10,4%
S3	12734	107,0	106,7	-6,9	-46,0	9,2%
S4	12904	108,4	108,4	-2,8	-61,9	8,0%
S5	12949	108,8	108,8	0,0	-65,2	7,7%
S6	12904	108,4	108,4	2,8	-61,9	8,0%
S7	12734	107,0	106,7	6,9	-46,0	9,2%
S8	12569	105,6	105,0	10,9	-17,9	10,4%
S9	12402	104,2	103,2	14,5	21,8	11,6%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C2

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12468	104,7	104,1	-11,9	-5,2	11,1%
S2	12588	105,7	105,3	-10,0	-40,9	10,2%
S3	12753	107,1	107,0	-6,0	-66,6	9,1%
S4	12924	108,6	108,5	-1,9	-80,0	7,8%
S5	13018	109,4	109,4	0,0	-81,9	7,2%
S6	12924	108,6	108,5	1,9	-80,0	7,8%
S7	12753	107,1	107,0	6,0	-66,6	9,1%
S8	12588	105,7	105,3	10,0	-40,9	10,2%
S9	12468	104,7	104,1	11,9	-5,2	11,1%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C3

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12567	105,6	105,2	-9,2	-32,7	10,4%
S2	12645	106,2	105,9	-8,5	-61,3	9,8%
S3	12782	107,4	107,2	-5,2	-83,5	8,8%
S4	12929	108,6	108,6	-1,9	-95,8	7,8%
S5	13023	109,4	109,4	0,0	-98,4	7,1%
S6	12929	108,6	108,6	1,9	-95,8	7,8%
S7	12782	107,4	107,2	5,2	-83,5	8,8%
S8	12645	106,2	105,9	8,5	-61,3	9,8%
S9	12567	105,6	105,2	9,2	-32,7	10,4%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 157/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

C4

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12706	106,7	106,5	-6,5	-61,1	9,4%
S2	12793	107,5	107,3	-6,0	-81,6	8,8%
S3	12962	108,9	108,9	-2,3	-95,7	7,6%
S4	13098	110,0	110,0	0,0	-98,9	6,6%
S5	13043	109,6	109,6	0,0	-98,5	7,0%
S6	13098	110,0	110,0	0,0	-98,9	6,6%
S7	12962	108,9	108,9	2,3	-95,7	7,6%
S8	12793	107,5	107,3	6,0	-81,6	8,8%
S9	12706	106,7	106,5	6,5	-61,1	9,4%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C5

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12718	106,8	106,8	-3,7	-89,2	9,3%
S2	12880	108,2	108,2	-0,2	-97,3	8,1%
S3	12963	108,9	108,9	0,0	-97,9	7,6%
S4	12971	109,0	109,0	0,0	-98,0	7,5%
S5	12888	108,3	108,3	0,0	-97,3	8,1%
S6	12971	109,0	109,0	0,0	-98,0	7,5%
S7	12963	108,9	108,9	0,0	-97,9	7,6%
S8	12880	108,2	108,2	0,2	-97,3	8,1%
S9	12718	106,8	106,8	3,7	-89,2	9,3%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

Resumo das solicitações e tensões nas fibras extremas do concreto devido à protensão após as perdas imediatas

1ª etapa de protensão

Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	312,4	-35,6	-16,1	0,0	385,3	471,0
S2	316,2	-29,3	-120,0	0,0	119,1	758,1
S3	320,9	-18,1	-196,1	0,0	-72,9	970,9
S4	325,5	-6,6	-237,7	0,0	-175,3	1090,1
S5	327,5	0,0	-245,4	0,0	-192,7	1113,7
S6	325,5	6,6	-237,7	0,0	-175,3	1090,1
S7	320,9	18,1	-196,1	0,0	-72,9	970,9
S8	316,2	29,3	-120,0	0,0	119,1	758,1
S9	312,4	35,6	-16,1	0,0	385,3	471,0
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

2ª etapa de protensão

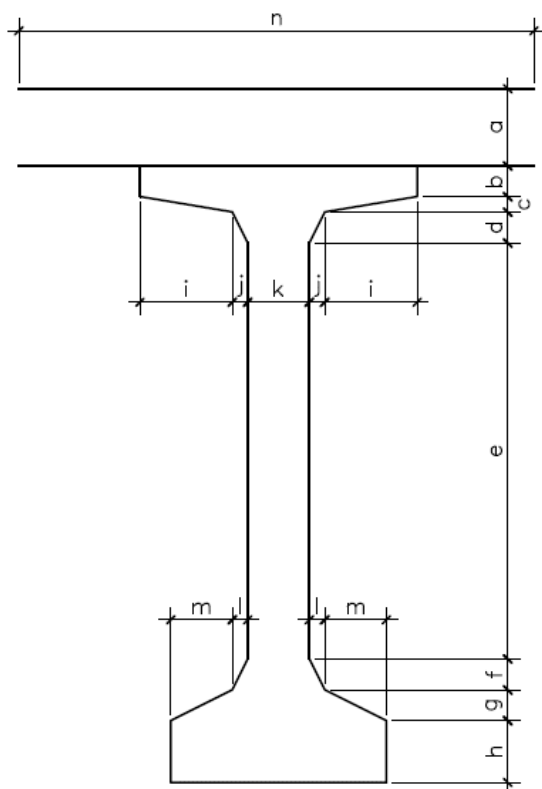
Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	213,3	-10,2	-150,3	0,0	-100,6	699,4
S2	215,5	-6,2	-178,9	0,0	-172,2	780,0
S3	217,7	-2,3	-193,6	0,0	-207,5	822,9
S4	219,0	0,0	-196,9	0,0	-214,4	833,6
S5	217,8	0,0	-195,8	0,0	-213,3	829,1
S6	219,0	0,0	-196,9	0,0	-214,4	833,6
S7	217,7	2,3	-193,6	0,0	-207,5	822,9
S8	215,5	6,2	-178,9	0,0	-172,2	780,0
S9	213,3	10,2	-150,3	0,0	-100,6	699,4
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Cálculo das perdas lentas de protensão

U (%) = 80 (umidade relativa do ar)

$$\gamma = 2,22 \quad \gamma = 1 + e^{(-7,8+0,1 \times U)}$$

Cálculo da espessura fictícia



Seção	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)
S0	0,000	0,050	0,050	0,050
S1	0,000	0,050	0,050	0,100
S2	0,000	0,050	0,050	0,100
S3	0,000	0,050	0,050	0,100
S4	0,000	0,050	0,050	0,100
S5	0,000	0,050	0,050	0,100
S6	0,000	0,050	0,050	0,100
S7	0,000	0,050	0,050	0,100
S8	0,000	0,050	0,050	0,100
S9	0,000	0,050	0,050	0,100
S10	0,000	0,050	0,050	0,050

Seção	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)	i (m)	j (m)	k (m)	l (m)	m (m)	n (m)
S0	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200
S1	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S2	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S3	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S4	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S5	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S6	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S7	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S8	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S9	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S10	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200

Seção	P _{ext} (m)	P _{int} (m)	u (m)	A (m ²)	h _{fic} (m)
S0	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030
S1	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S2	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S3	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S4	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S5	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S6	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S7	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S8	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S9	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S10	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030

Onde,

P_{ext} - é o perímetro externo da seção

P_{int} - é o perímetro interno da seção

u - é o perímetro da seção em contato com o ar, dado por: $P_{ext} + P_{int}/2$

A - é a área da seção transversal

h_{fic} - é a espessura fictícia, dada por: $\gamma \times 2 \times A / u$

Cálculo da idade corrigida

$$t_* = \frac{\alpha}{30} \times \sum_{t=0}^t [(T_i + 10) \times \Delta t_i]$$

$$\alpha = 1$$

(fluência)

$$T_i (^\circ) = 25$$

$$\Delta t_i \text{ (dias)} = 4,6$$

(média ponderada das idades de protensão)


$$t_{0*} \text{ (dias)} = 5,4$$

(fluência)

$$t_{0*} \text{ (dias)} = 5,4$$

(retração)

$$t_{\infty*} \text{ (dias)} = \infty$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 160/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Fluência

a deformação por fluência é dada por:

$$\varepsilon_{cc}(t_1;t_0) = \frac{\sigma_{c,t_0}}{E_{c,28}} \times \varphi(t_1;t_0)$$

onde:

$$\varphi(t_1;t_0) = \varphi_{d\infty} \times \beta_d + \varphi_{f\infty} \times [\beta_f(t_{1*}) - \beta_f(t_{0*})] + \varphi_a$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\beta_d = \frac{t_{1*} - t_{0*} + 20}{t_{1*} - t_{0*} + 70}$$

$$\varphi_{f\infty} = \varphi_{1c} \times \varphi_{2c}$$

$$\varphi_{1c} = 4,45 - 0,035 \times U \quad \varphi_{2c} = \frac{42 + h_{fic}(cm)}{20 + h_{fic}(cm)}$$

$$\beta_f(t) = \frac{t^2 + A \times t + B}{t^2 + C \times t + D} \quad com \quad \begin{cases} A = 42 \times h_{fic}^3 - 350 \times h_{fic}^2 + 588 \times h_{fic} + 113 \\ B = 768 \times h_{fic}^3 - 3060 \times h_{fic}^2 + 3234 \times h_{fic} - 23 \\ C = -200 \times h_{fic}^3 + 13 \times h_{fic}^2 + 1090 \times h_{fic} + 183 \\ D = 7579 \times h_{fic}^3 - 31916 \times h_{fic}^2 + 35343 \times h_{fic} + 1931 \end{cases}$$

$$\varphi_a = 0,8 \times \left[1 - \frac{9 \times t_{0*} \times (t_{0*} + 42)}{(9 \times t_{0*} + 40) \times (t_{0*} + 61)} \right]$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\varphi_a = 0,488$$

$$\varphi_{1c} = 1,7$$

$$\beta_{f\infty} = 1,0$$

$$\beta_d = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	φ_{2c}	φ_{∞}	$\beta_{f(t)}$	$\varphi_{(\infty,t)}$
S0	1,030	1,179	1,945	0,163	2,517
S1	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S2	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S3	0,412	1,360	2,243	0,165	2,760
S4	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S5	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S6	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S7	0,412	1,360	2,243	0,165	2,760
S8	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S9	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S10	1,030	1,179	1,945	0,163	2,517

Retração do concreto

a deformação por retração é dada por:

$$\varepsilon_{cs,(t_1;t_0)} = \varepsilon_{cs,(t_{00})} \times [\beta_s(t_{1*}) - \beta_s(t_{0*})]$$

onde:

$$\varepsilon_{cs,(t_{00})} = \varepsilon_{1s} \times \varepsilon_{2s}$$

$$\varepsilon_{1s} = - \left(6,16 + \frac{U}{484} - \frac{U^2}{1590} \right) \times 10^4$$

$$\varepsilon_{2s} = \frac{33 + 2 \times h_{fic}}{20,8 + 3 \times h_{fic}}$$

$$\beta_s(t) = \frac{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + A \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + B \times \left(\frac{t}{100}\right)}{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + C \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + D \times \left(\frac{t}{100}\right) + E}$$

$$com \begin{cases} A = 40 \\ B = 116 \times h_{fic}^3 - 282 \times h_{fic}^2 + 220 \times h_{fic} - 4,8 \\ C = 2,5 \times h_{fic}^3 - 8,8 \times h_{fic} + 40,7 \\ D = -75 \times h_{fic}^3 + 585 \times h_{fic}^2 + 496 \times h_{fic} - 6,8 \\ E = -169 \times h_{fic}^4 + 88 \times h_{fic}^3 + 584 \times h_{fic}^2 - 39 \times h_{fic} + 0,8 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{1s} \times 10^4 = 2,3$$

$$\beta_{s_{00}} = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	ε_{2s}	$\beta_{s(t_0*)}$	$\varepsilon_{cs,(t_{00})} \times 10^4$	$\varepsilon_{cs,(t_{00},t_0)} \times 10^4$
S0	1,030	1,468	0,005	3,376	3,358
S1	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S2	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S3	0,412	1,535	0,026	3,531	3,440
S4	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S5	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S6	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S7	0,412	1,535	0,026	3,531	3,440
S8	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S9	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S10	1,030	1,468	0,005	3,376	3,358

Relaxação do aço

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$E_c \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 354.175$$

$$f_{ptk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 19.000$$

$$\alpha_p = 5,647$$

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente

Seção	M_{g1+g2} (tf.m)	I_z (m ⁴)	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,cgp,g}$ (tf/m ²)
S0	0,00	0,519	-1,040	0,0
S1	140,01	0,376	-0,312	-116,1
S2	248,10	0,376	-0,559	-369,4
S3	325,31	0,376	-0,722	-625,1
S4	371,64	0,376	-0,798	-789,1
S5	387,08	0,376	-0,809	-833,5
S6	371,64	0,376	-0,798	-789,1
S7	325,31	0,376	-0,722	-625,1
S8	248,10	0,376	-0,559	-369,4
S9	140,01	0,376	-0,312	-116,1
S10	0,00	0,519	-1,040	0,0

Seção	M_{g3} (tf.m)	I_z (m ⁴)	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,cgp,g}$ (tf/m ²)
S0	0,00	0,981	-1,332	0,0
S1	44,04	0,754	-0,780	-45,6
S2	78,29	0,754	-1,028	-106,8
S3	102,76	0,754	-1,191	-162,4
S4	117,43	0,754	-1,267	-197,4
S5	122,33	0,754	-1,278	-207,4
S6	117,43	0,754	-1,267	-197,4
S7	102,76	0,754	-1,191	-162,4
S8	78,29	0,754	-1,028	-106,8
S9	44,04	0,754	-0,780	-45,6
S10	0,00	0,981	-1,332	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à protensão

1ª etapa de protensão

Seção	N_p (tf)	M_p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I_z (m ⁴)	$\sigma_{c,cgp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	312,4	-16,1	-0,312	0,731	0,376	440,7
S2	316,2	-120,0	-0,559	0,731	0,376	611,3
S3	320,9	-196,1	-0,722	0,731	0,376	815,9
S4	325,5	-237,7	-0,798	0,731	0,376	950,1
S5	327,5	-245,4	-0,809	0,731	0,376	976,5
S6	325,5	-237,7	-0,798	0,731	0,376	950,1
S7	320,9	-196,1	-0,722	0,731	0,376	815,9
S8	316,2	-120,0	-0,559	0,731	0,376	611,3
S9	312,4	-16,1	-0,312	0,731	0,376	440,7
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0


2ª etapa de protensão

Seção	N_p (tf)	M_p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I_z (m ⁴)	$\sigma_{c,cbp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	213,3	-150,3	-0,312	0,731	0,376	416,5
S2	215,5	-178,9	-0,559	0,731	0,376	561,2
S3	217,7	-193,6	-0,722	0,731	0,376	669,9
S4	219,0	-196,9	-0,798	0,731	0,376	717,6
S5	217,8	-195,8	-0,809	0,731	0,376	719,7
S6	219,0	-196,9	-0,798	0,731	0,376	717,6
S7	217,7	-193,6	-0,722	0,731	0,376	669,9
S8	215,5	-178,9	-0,559	0,731	0,376	561,2
S9	213,3	-150,3	-0,312	0,731	0,376	416,5
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

Seção	$\sigma_{c,cbp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0
S1	857,2
S2	1172,4
S3	1485,8
S4	1667,7
S5	1696,2
S6	1667,7
S7	1485,8
S8	1172,4
S9	857,2
S10	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente + protensão

Seção	$\sigma_{c,cbp,p+g}$ (tf/m ²)
S0	0,0
S1	695,4
S2	696,2
S3	698,3
S4	681,2
S5	655,3
S6	681,2
S7	698,3
S8	696,2
S9	695,4
S10	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 164/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do coeficiente de fluência do aço

$$\chi(t, t_0) = -\ln(1 - \psi(t, t_0))$$

onde:

$$\psi(t^\infty, t_0) = 2,5 \times \psi_{1000}$$

Seção	σ_{p0} (kgf/cm ²)	σ_{p0} / f_{ptk}	ψ_{1000}	$\psi(t^\infty, t_0)$	$\chi(t^\infty, t_0)$
S0		0,000	0,000	0,000	0,000
S1	12572	0,662	2,040	5,101	0,052
S2	12695	0,668	2,118	5,295	0,054
S3	12839	0,676	2,209	5,522	0,057
S4	12965	0,682	2,289	5,721	0,059
S5	12984	0,683	2,301	5,751	0,059
S6	12965	0,682	2,289	5,721	0,059
S7	12839	0,676	2,209	5,522	0,057
S8	12695	0,668	2,118	5,295	0,054
S9	12572	0,662	2,040	5,101	0,052
S10		0,000	0,000	0,000	0,000

Cálculo da perda lenta total

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t,t_0)} = \frac{\varepsilon_{cs,(t,t_0)} \times E_p + \alpha_p \times \varphi(t,t_0) \times \sigma_{c,ggp,p+g} + \sigma_{p0} \times \chi(t,t_0)}{\chi_p + \chi_c \times \alpha_p \times \eta \times \rho_p}$$

onde:

$$\chi_c = 1 + 0,5 \times \varphi(t,t_0) \quad \chi_p = 1 + \chi(t,t_0)$$

e_p - é a excentricidade de protensão

$$\eta = 1 + e_p^2 \times \frac{A_c}{I_x} \quad \rho_p = \frac{A_s}{A_c}$$

Seção	χ_c	χ_p	e_p (m)	η	ρ_p	$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t,t_0)}$ (kgf/cm ²)	$\Delta\sigma_{lenta}$ (%)
S0	2,258	1,000	-1,332	4,634	0,0000	0,0	0,0%
S1	2,359	1,052	-0,780	2,032	0,0033	2115,3	15,1%
S2	2,359	1,054	-1,028	2,792	0,0033	2080,4	14,8%
S3	2,380	1,057	-1,191	3,403	0,0033	2075,4	14,8%
S4	2,359	1,059	-1,267	3,719	0,0033	2044,7	14,6%
S5	2,359	1,059	-1,278	3,767	0,0033	2012,4	14,4%
S6	2,359	1,059	-1,267	3,719	0,0033	2044,7	14,6%
S7	2,380	1,057	-1,191	3,403	0,0033	2075,4	14,8%
S8	2,359	1,054	-1,028	2,792	0,0033	2080,4	14,8%
S9	2,359	1,052	-0,780	2,032	0,0033	2115,3	15,1%
S10	2,258	1,000	-1,332	4,634	0,0000	0,0	0,0%

Solicitações devido às perdas lentas de protensão

C1

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2115	-17,8	-17,6	2,5	-3,7
S2	-2080	-17,5	-17,4	1,8	3,0
S3	-2075	-17,4	-17,4	1,1	7,5
S4	-2045	-17,2	-17,2	0,4	9,8
S5	-2012	-16,9	-16,9	0,0	10,1
S6	-2045	-17,2	-17,2	-0,4	9,8
S7	-2075	-17,4	-17,4	-1,1	7,5
S8	-2080	-17,5	-17,4	-1,8	3,0
S9	-2115	-17,8	-17,6	-2,5	-3,7
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C2

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2115	-17,8	-17,7	2,0	0,9
S2	-2080	-17,5	-17,4	1,6	6,8
S3	-2075	-17,4	-17,4	1,0	10,8
S4	-2045	-17,2	-17,2	0,3	12,6
S5	-2012	-16,9	-16,9	0,0	12,7
S6	-2045	-17,2	-17,2	-0,3	12,6
S7	-2075	-17,4	-17,4	-1,0	10,8
S8	-2080	-17,5	-17,4	-1,6	6,8
S9	-2115	-17,8	-17,7	-2,0	0,9
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C3

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2115	-17,8	-17,7	1,5	5,5
S2	-2080	-17,5	-17,4	1,4	10,1
S3	-2075	-17,4	-17,4	0,9	13,6
S4	-2045	-17,2	-17,2	0,3	15,2
S5	-2012	-16,9	-16,9	0,0	15,2
S6	-2045	-17,2	-17,2	-0,3	15,2
S7	-2075	-17,4	-17,4	-0,9	13,6
S8	-2080	-17,5	-17,4	-1,4	10,1
S9	-2115	-17,8	-17,7	-1,5	5,5
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C4


Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2115	-17,8	-17,7	1,1	10,2
S2	-2080	-17,5	-17,4	1,0	13,3
S3	-2075	-17,4	-17,4	0,4	15,3
S4	-2045	-17,2	-17,2	0,0	15,4
S5	-2012	-16,9	-16,9	0,0	15,2
S6	-2045	-17,2	-17,2	0,0	15,4
S7	-2075	-17,4	-17,4	-0,4	15,3
S8	-2080	-17,5	-17,4	-1,0	13,3
S9	-2115	-17,8	-17,7	-1,1	10,2
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C5

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2115	-17,8	-17,8	0,6	14,8
S2	-2080	-17,5	-17,5	0,0	15,7
S3	-2075	-17,4	-17,4	0,0	15,7
S4	-2045	-17,2	-17,2	0,0	15,4
S5	-2012	-16,9	-16,9	0,0	15,2
S6	-2045	-17,2	-17,2	0,0	15,4
S7	-2075	-17,4	-17,4	0,0	15,7
S8	-2080	-17,5	-17,5	0,0	15,7
S9	-2115	-17,8	-17,8	-0,6	14,8
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

Resumo das solicitações devido às perdas de protensão e tensões nas fibras extremas do concreto

Seção	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$	$\sigma_s (tf/m^2)$	$\sigma_s' (tf/m^2)$	$\sigma_i (tf/m^2)$
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-88,4	7,7	27,7	-93,7	-48,7	-196,1
S2	-87,1	5,8	48,8	-71,1	8,2	-251,5
S3	-87,1	3,3	62,9	-57,2	45,0	-289,7
S4	-85,9	1,0	68,5	-50,0	61,4	-303,3
S5	-84,5	0,0	68,4	-48,3	62,9	-301,1
S6	-85,9	-1,0	68,5	-50,0	61,4	-303,3
S7	-87,1	-3,3	62,9	-57,2	45,0	-289,7
S8	-87,1	-5,8	48,8	-71,1	8,2	-251,5
S9	-88,4	-7,7	27,7	-93,7	-48,7	-196,1
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 167/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação das tensões elásticas no concreto nas diversas fases de carregamento

Serão verificadas as tensões nas fibras extremas do concreto para as seguintes fases de carregamento:

- Fase 1 = peso próprio da viga isolada + 1ª etapa de protensão
- Fase 2 = fase 1 + 2ª etapa de protensão
- Fase 3 = fase 2 + peso próprio da laje e transversinas
- Fase 4 = fase 3 + 3ª etapa de protensão
- Fase 5 = fase 4 + sobrecarga permanente
- Fase 6 = fase 5 + carga móvel
- Fase 7 = fase 5 + perdas de protensão
- Fase 8 = fase 7 + carga móvel

Tensões limites

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0 \qquad f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51 \qquad s = 0,38$$

- no instante da protensão

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctm,j} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,7 f_{ckj}$$

- na vida útil da obra

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctk,inf} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,6 f_{ck}$$

idade da 1ª protensão (dias) = 3

$$\beta_1 = 0,458 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 18,32 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,08$$

idade da 2ª protensão (dias) = 7

$$\beta_2 = 0,684 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 27,35 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,72$$

idade da 3ª protensão (dias) = 28


$$\beta_3 = 1,000 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 40,00 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,51$$

	tração (tf/m ²)	compressão (tf/m ²)
t = 3	-250,17	1282,36
t = 7	-326,83	1914,81
t = 28	-294,74	2400,00
t = ∞	-294,74	2400,00

Verificação do estado limite de compressão excessiva para a combinação rara de carregamentos (ELS-CE)

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m^2) para 110% da força de protensão

		g_1	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2
S0	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	210	424	634	-111	524
	σ_i (tf/m^2)	-219	518	300	769	1069
S2	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	372	131	503	-189	313
	σ_i (tf/m^2)	-386	834	448	858	1306
S3	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	487	-80	407	-228	179
	σ_i (tf/m^2)	-506	1068	562	905	1467
S4	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	556	-193	363	-236	128
	σ_i (tf/m^2)	-578	1199	621	917	1538
S5	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	579	-212	368	-235	133
	σ_i (tf/m^2)	-602	1225	623	912	1535
S6	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	556	-193	363	-236	128
	σ_i (tf/m^2)	-578	1199	621	917	1538
S7	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	487	-80	407	-228	179
	σ_i (tf/m^2)	-506	1068	562	905	1467
S8	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	372	131	503	-189	313
	σ_i (tf/m^2)	-386	834	448	858	1306
S9	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	210	424	634	-111	524
	σ_i (tf/m^2)	-219	518	300	769	1069
S10	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	169/500

Verificação do estado limite de formação de fissuras para a combinação frequente de carregamentos (ELS-F)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{G_i,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_1 = 0,5$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	210	385	596	-101	495	155	650
	σ _i (tf/m ²)	-219	471	252	699	952	-161	791
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	372	119	491	-172	319	276	595
	σ _i (tf/m ²)	-386	758	372	780	1152	-287	865
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	487	-73	414	-208	207	362	569
	σ _i (tf/m ²)	-506	971	465	823	1288	-376	912
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	556	-175	381	-214	167	414	580
	σ _i (tf/m ²)	-578	1090	512	834	1346	-430	916
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	579	-193	387	-213	174	431	605
	σ _i (tf/m ²)	-602	1114	512	829	1341	-448	893
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	556	-175	381	-214	167	414	580
	σ _i (tf/m ²)	-578	1090	512	834	1346	-430	916
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	487	-73	414	-208	207	362	569
	σ _i (tf/m ²)	-506	971	465	823	1288	-376	912
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	372	119	491	-172	319	276	595
	σ _i (tf/m ²)	-386	758	372	780	1152	-287	865
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	210	385	596	-101	495	155	650
	σ _i (tf/m ²)	-219	471	252	699	952	-161	791
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	43	43	88	131
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	650	30	680	61	741
	σ_i (tf/m ²)	0	791	-87	704	-176	528
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	77	77	124	201
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	595	53	648	86	734
	σ_i (tf/m ²)	0	865	-155	711	-249	461
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	101	101	163	264
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	569	70	639	112	751
	σ_i (tf/m ²)	0	912	-203	709	-326	383
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	116	116	186	302
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	580	80	660	128	789
	σ_i (tf/m ²)	0	916	-232	684	-373	311
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	120	120	194	314
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	605	83	688	134	821
	σ_i (tf/m ²)	0	893	-241	652	-389	263
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	116	116	186	302
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	580	80	660	128	789
	σ_i (tf/m ²)	0	916	-232	684	-373	311
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	101	101	163	264
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	569	70	639	112	751
	σ_i (tf/m ²)	0	912	-203	709	-326	383
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	77	77	124	201
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	595	53	648	86	734
	σ_i (tf/m ²)	0	865	-155	711	-249	461
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	43	43	88	131
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	650	30	680	61	741
	σ_i (tf/m ²)	0	791	-87	704	-176	528
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-94	-50	88	37
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-49	631	61	692
	σ_i (tf/m ²)	-196	508	-176	332
S2	σ_s (tf/m ²)	-71	6	124	130
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	8	656	86	742
	σ_i (tf/m ²)	-251	459	-249	210
S3	σ_s (tf/m ²)	-57	44	163	207
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	45	684	112	796
	σ_i (tf/m ²)	-290	419	-326	93
S4	σ_s (tf/m ²)	-50	66	186	252
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	61	722	128	850
	σ_i (tf/m ²)	-303	381	-373	8
S5	σ_s (tf/m ²)	-48	72	194	266
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	63	751	134	884
	σ_i (tf/m ²)	-301	350	-389	-38
S6	σ_s (tf/m ²)	-50	66	186	252
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	61	722	128	850
	σ_i (tf/m ²)	-303	381	-373	8
S7	σ_s (tf/m ²)	-57	44	163	207
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	45	684	112	796
	σ_i (tf/m ²)	-290	419	-326	93
S8	σ_s (tf/m ²)	-71	6	124	130
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	8	656	86	742
	σ_i (tf/m ²)	-251	459	-249	210
S9	σ_s (tf/m ²)	-94	-50	88	37
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-49	631	61	692
	σ_i (tf/m ²)	-196	508	-176	332
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA: 172/500
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	

Verificação do estado limite de descompressão para a combinação quase permanente de carregamentos (ELS-D)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_2 = 0,3$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	210	385	596	-101	495	155	650
	σ _i (tf/m ²)	-219	471	252	699	952	-161	791
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	372	119	491	-172	319	276	595
	σ _i (tf/m ²)	-386	758	372	780	1152	-287	865
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	487	-73	414	-208	207	362	569
	σ _i (tf/m ²)	-506	971	465	823	1288	-376	912
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	556	-175	381	-214	167	414	580
	σ _i (tf/m ²)	-578	1090	512	834	1346	-430	916
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	579	-193	387	-213	174	431	605
	σ _i (tf/m ²)	-602	1114	512	829	1341	-448	893
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	556	-175	381	-214	167	414	580
	σ _i (tf/m ²)	-578	1090	512	834	1346	-430	916
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	487	-73	414	-208	207	362	569
	σ _i (tf/m ²)	-506	971	465	823	1288	-376	912
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	372	119	491	-172	319	276	595
	σ _i (tf/m ²)	-386	758	372	780	1152	-287	865
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	210	385	596	-101	495	155	650
	σ _i (tf/m ²)	-219	471	252	699	952	-161	791
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	43	43	53	96
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	650	30	680	36	716
	σ_i (tf/m ²)	0	791	-87	704	-105	598
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	77	77	75	152
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	595	53	648	51	699
	σ_i (tf/m ²)	0	865	-155	711	-150	561
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	101	101	98	199
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	569	70	639	67	706
	σ_i (tf/m ²)	0	912	-203	709	-195	513
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	116	116	112	227
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	580	80	660	77	737
	σ_i (tf/m ²)	0	916	-232	684	-224	460
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	120	120	116	237
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	605	83	688	80	768
	σ_i (tf/m ²)	0	893	-241	652	-233	418
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	116	116	112	227
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	580	80	660	77	737
	σ_i (tf/m ²)	0	916	-232	684	-224	460
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	101	101	98	199
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	569	70	639	67	706
	σ_i (tf/m ²)	0	912	-203	709	-195	513
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	77	77	75	152
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	595	53	648	51	699
	σ_i (tf/m ²)	0	865	-155	711	-150	561
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	43	43	53	96
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	650	30	680	36	716
	σ_i (tf/m ²)	0	791	-87	704	-105	598
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-94	-50	53	2
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-49	631	36	668
	σ_i (tf/m ²)	-196	508	-105	402
S2	σ_s (tf/m ²)	-71	6	75	81
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	8	656	51	707
	σ_i (tf/m ²)	-251	459	-150	310
S3	σ_s (tf/m ²)	-57	44	98	142
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	45	684	67	751
	σ_i (tf/m ²)	-290	419	-195	224
S4	σ_s (tf/m ²)	-50	66	112	177
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	61	722	77	799
	σ_i (tf/m ²)	-303	381	-224	157
S5	σ_s (tf/m ²)	-48	72	116	189
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	63	751	80	831
	σ_i (tf/m ²)	-301	350	-233	117
S6	σ_s (tf/m ²)	-50	66	112	177
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	61	722	77	799
	σ_i (tf/m ²)	-303	381	-224	157
S7	σ_s (tf/m ²)	-57	44	98	142
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	45	684	67	751
	σ_i (tf/m ²)	-290	419	-195	224
S8	σ_s (tf/m ²)	-71	6	75	81
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	8	656	51	707
	σ_i (tf/m ²)	-251	459	-150	310
S9	σ_s (tf/m ²)	-94	-50	53	2
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-49	631	36	668
	σ_i (tf/m ²)	-196	508	-105	402
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 175/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do cisalhamento - $t = \infty$

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,k} = V_p^{prot}$ em tempo $t = \infty$

Seção	$V_{g1,k}$ (tf)	$V_{g2,k}$ (tf)	$V_{g3,k}$ (tf)	$V_{p,k}$ (tf)	$V_{q,max,k}$ (tf)	$V_{q,min,k}$ (tf)	V_k^{max} (tf)	V_k^{min} (tf)
S0	30,34	21,24	15,73	0,00	63,79	0,00	131,10	67,31
S1	22,73	16,99	12,59	-38,06	54,13	-1,92	68,37	12,33
S2	17,05	12,74	9,44	-29,66	36,13	-4,80	45,70	4,77
S3	11,37	8,49	6,29	-17,09	29,51	-8,63	38,57	0,44
S4	5,68	4,25	3,15	-5,58	23,45	-13,01	30,95	-5,51
S5	0,00	0,00	0,00	0,00	17,95	-17,95	17,95	-17,95
S6	-5,68	-4,25	-3,15	5,58	13,01	-23,45	5,51	-30,95
S7	-11,37	-8,49	-6,29	17,09	8,63	-29,51	-0,44	-38,57
S8	-17,05	-12,74	-9,44	29,66	4,80	-36,13	-4,77	-45,70
S9	-22,73	-16,99	-12,59	38,06	1,92	-54,13	-12,33	-68,37
S10	-30,34	-21,24	-15,73	0,00	0,00	-63,79	-67,31	-131,10

Verificação do concreto

$$\phi^{bainha} (m) = 0,075$$

$$n_{bainhas \text{ alinhadas na alma}} = 1$$


$$V_{sd} = 1,35 \times V_g + \left\{ \begin{matrix} 1,2 \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \times V_p + 1,5 \times V_q$$

$$V_{rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b_{w,nom} \times d$$

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) (f_{ck} \text{ em MPa})$$

Seção	V_{sd} (tf)	b_w (m)	H (m)	$\Sigma \Phi/2$ (m)	b_w^{nom} (m)	d (m)	V_{rd2} (tf)
S0	186,6	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2
S1	117,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S2	80,5	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S3	64,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S4	47,8	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S5	26,9	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S6	47,8	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S7	64,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S8	80,5	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S9	117,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S10	186,6	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 176/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Parcela do esforço cortante absorvida pelos mecanismos complementares à treliça

$$M_{sdu} = 1,35 \times M_g + 1,5 \times M_q$$

Seção	M _{g1,k}	M _{g2,k}	M _{g3,k}	M _{q máx,k}	M _{q mín,k}	M _{sdu} (tf.m)
S0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
S1	80,57	59,44	44,04	178,11	0,00	515,6
S2	142,43	105,67	78,29	252,50	0,00	819,4
S3	186,62	138,69	102,76	330,04	0,00	1072,9
S4	213,14	158,50	117,43	377,53	0,00	1226,5
S5	221,98	165,11	122,33	393,77	0,00	1278,4
S6	213,14	158,50	117,43	377,53	0,00	1226,5
S7	186,62	138,69	102,76	330,04	0,00	1072,9
S8	142,43	105,67	78,29	252,50	0,00	819,4
S9	80,57	59,44	44,04	178,11	0,00	515,6
S10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

$$V_c = V_{c0} \times (1 + M_0 / M_{sd,m\acute{a}x}) \leq 2 \times V_{c0}$$

$$M_0 = 0,90 \times (\sigma_p^{prot.} \times W)$$

$$V_{c0} = 0,60 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,70 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}}$$

com f_{ck} em MPa

Seção	$\sigma_p^{prot.}$ (tf/m ²)	W _i (m ³)	M ₀ (tf.m)	1+ M ₀ /M _{sd,máx}
S0	0	0,736	0,00	1,00
S1	974	0,507	444,21	1,86
S2	1287	0,507	586,55	1,72
S3	1504	0,507	685,71	1,64
S4	1620	0,507	738,70	1,60
S5	1642	0,507	748,45	1,59
S6	1620	0,507	738,70	1,60
S7	1504	0,507	685,71	1,64
S8	1287	0,507	586,55	1,72
S9	974	0,507	444,21	1,86
S10	0	0,736	0,00	1,00

Seção	b_w^{nom} (m)	d (m)	Vc0 (tf)	2 * Vc0 (tf)	Vc (tf)
S0	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5
S1	0,183	1,784	34,3	68,5	63,8
S2	0,183	1,784	34,3	68,5	58,8
S3	0,183	1,784	34,3	68,5	56,2
S4	0,183	1,784	34,3	68,5	54,9
S5	0,183	1,784	34,3	68,5	54,3
S6	0,183	1,784	34,3	68,5	54,9
S7	0,183	1,784	34,3	68,5	56,2
S8	0,183	1,784	34,3	68,5	58,8
S9	0,183	1,784	34,3	68,5	63,8
S10	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

Seção	Vsd (tf)	Vc (tf)	V _{swd} (tf)
S0	186,6	131,5	55,10
S1	117,6	63,8	53,75
S2	80,5	58,8	21,65
S3	64,2	56,2	8,01
S4	47,8	54,9	0,00
S5	26,9	54,3	0,00
S6	47,8	54,9	0,00
S7	64,2	56,2	8,01
S8	80,5	58,8	21,65
S9	117,6	63,8	53,75
S10	186,6	131,5	55,10

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal

$$V_{swd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{swd} / (0,90 \times d \times f_{ywd})$$

$$\rho_{sw} = (A_{sw} / s) \times (1 / b_w) \geq 0,20 \times f_{ctm} / f_{ywk}$$

$$f_{ywk} = f_{yk}$$

Seção	b_w (m)	V _{swd} (tf)	A_{sw}/s (cm ² /m)	ρ_{sw} (cm ² /m ²)	ρ_{sw}^{min} (cm ² /m ²)
S0	0,70	55,1	7,89	11,28	14,04
S1	0,22	53,8	7,70	35,00	14,04
S2	0,22	21,6	3,10	14,10	14,04
S3	0,22	8,0	1,15	5,22	14,04
S4	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S5	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S6	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S7	0,22	8,0	1,15	5,22	14,04
S8	0,22	21,6	3,10	14,10	14,04
S9	0,22	53,8	7,70	35,00	14,04
S10	0,70	55,1	7,89	11,28	14,04

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\psi_{fad} = 0,50$$

$$\Delta\sigma_{sw} = \sigma_{sw}^{m\acute{a}x} - \sigma_{sw}^{m\acute{i}n} \quad \sigma_{sw}^{m\acute{a}x/m\acute{i}n} = \frac{V_{m\acute{a}x/m\acute{i}n} - V_c/2}{b_w \times d \times \rho_{sw}}$$

$$f \cdot f \cdot = \frac{\Delta\sigma_{sw}}{\Delta f_{sd}} \quad \Delta f_{sd}^{fad} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 850$$

Seção	V _{máx} (tf)	V _{mín} (tf)	V _c /2 (tf)	σ _{sw} ^{máx} (tf/cm ²)	σ _{sw} ^{mín} (tf/cm ²)	Δσ _{sw} (tf/cm ²)	f.f.	ρ _{sw} (cm ² /m ²)
S0	99,20	67,31	65,7	1,91	0,09	1,82	2,14	24,14
S1	41,31	13,29	31,9	0,69	0,00	0,69	1,00	35,00
S2	27,63	7,17	29,4	0,00	0,00	0,00	1,00	14,10
S3	23,82	4,75	28,1	0,00	0,00	0,00	1,00	5,22
S4	19,22	0,99	27,5	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S5	8,97	-8,97	27,2	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S6	-0,99	-19,22	27,5	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S7	-4,75	-23,82	28,1	0,00	0,00	0,00	1,00	5,22
S8	-7,17	-27,63	29,4	0,00	0,00	0,00	1,00	14,10
S9	-13,29	-41,31	31,9	0,00	0,69	0,69	1,00	35,00
S10	-67,31	-99,20	65,7	0,09	1,91	1,82	2,14	24,14

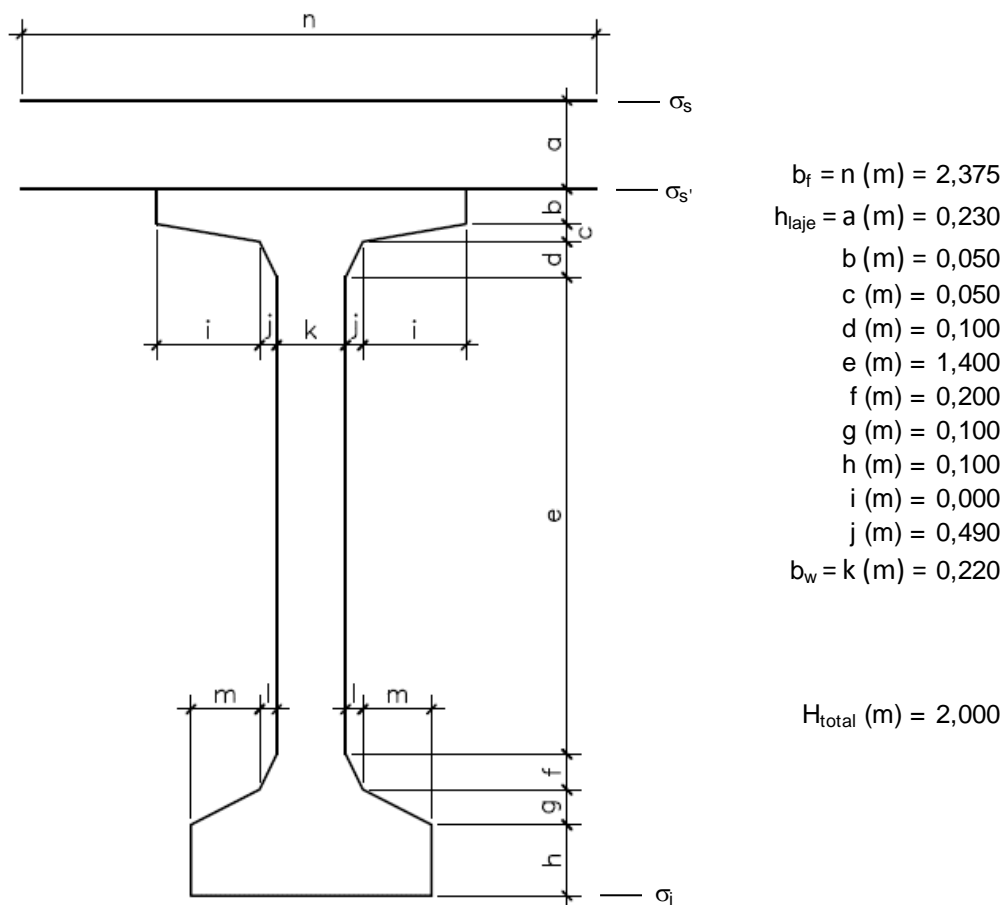
Determinação dos estribos e seus espaçamentos

$$s = (n \times A_s^{1perna}) / (\rho_{sw} \times ff \times b_w^{medio})$$

Seção	b _w (m)	ρ _{wu} (cm ² /m ²)	ρ _{wu} (Méd/Mín)	n	Φ (mm)	A _s ^{1perna}	S _{calculado} (cm)	S _{adotado} (cm)
S0	0,70	24,14						
			29,57	2	12,5	1,23	18,0	17,5
S1	0,22	35,00						
			24,55	2	8,0	0,50	18,6	17,5
S2	0,22	14,10						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S3	0,22	5,22						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S4	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S5	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S6	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S7	0,22	5,22						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S8	0,22	14,10						
			24,55	2	8,0	0,50	18,6	17,5
S9	0,22	35,00						
			29,57	2	12,5	1,23	18,0	17,5
S10	0,70	24,14						

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à ruptura)

Seção S₅



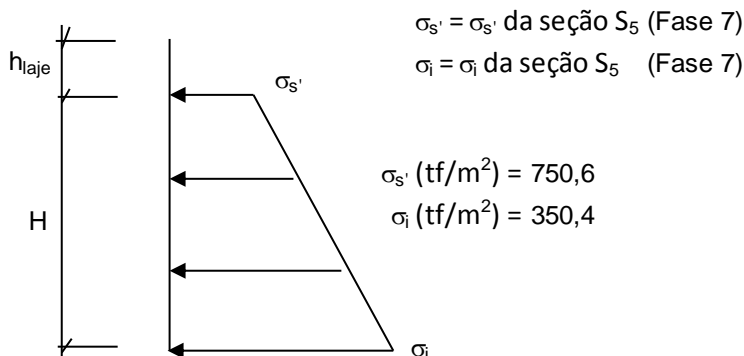
Materiais:

Concreto laje $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$ $E_{cs, laje} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Concreto viga $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$ $E_{cs, viga} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Aço: CP-190 RB $E_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

	$\sigma_{sp}^{t=\infty}$ (kgf/cm ²)
C1	10.936
C2	11.006
C3	11.010
C4	11.031
C5	10.876
C6	0
C7	0
C8	0
C9	0

Solicitações atuantes na seção S₅

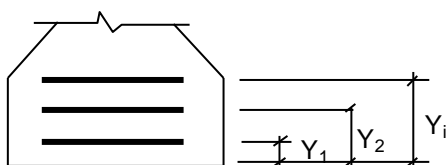
$$M_{g1} \text{ (tf.m)} = 222,0$$

$$M_q \text{ (tf.m)} = 393,8$$

$$M_{g2} \text{ (tf.m)} = 165,1$$

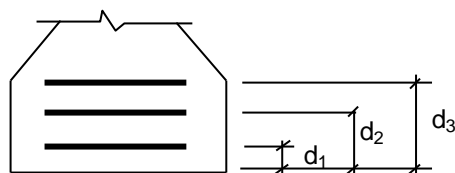
$$M_{g3} \text{ (tf.m)} = 122,3$$

Cálculo do C.G. da armadura de protensão



	y (m)
C1	0,420
C2	0,270
C3	0,120
C4	0,120
C5	0,120
C6	
C7	
C8	
C9	

Cálculo do C.G. da armadura passiva complementar



1ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 6$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 16$$

$$d_1 \text{ (m)} = 0,060$$

$$\text{C.G. (cm)} = 0,060$$

2ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_2 \text{ (m)} = 0,100$$

3ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

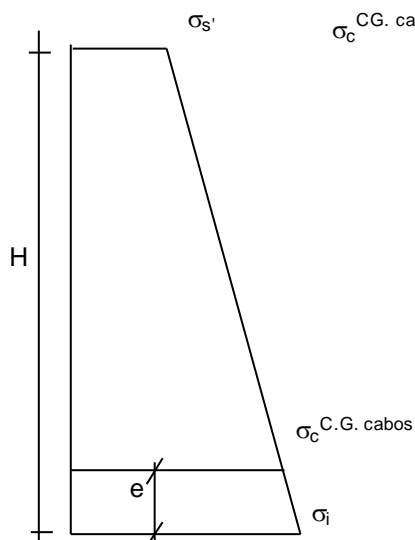
$$d_3 \text{ (m)} = 0,150$$

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=\infty} / E_{sp}$$

	$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}}$
C1	0,0055
C2	0,0055
C3	0,0055
C4	0,0055
C5	0,0054
C6	0,0000
C7	0,0000
C8	0,0000
C9	0,0000

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



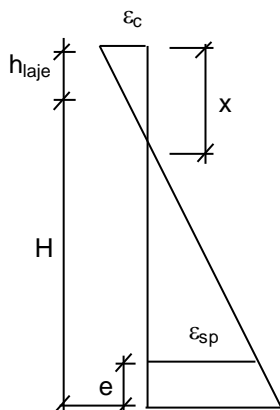
$$\sigma_c^{\text{C.G. cabos}} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma_s') / H] + \sigma_s'$$

$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{\text{C.G. cabos}} / E_{cs}$$

	y (m)	σ_c (tf/m ²)	$\epsilon_{sp}^{\text{descomp}}$
C1	0,420	434,5	0,00014
C2	0,270	404,4	0,00013
C3	0,120	374,4	0,00012
C4	0,120	374,4	0,00012
C5	0,120	374,4	0,00012
C6	0,000	0,0	0,00000
C7	0,000	0,0	0,00000
C8	0,000	0,0	0,00000
C9	0,000	0,0	0,00000

Equilíbrio da seção:

Deformada admitida para a seção S₅



$$\epsilon_c (\%) = 1,279$$

$$\epsilon_{sp} (\%) = 10,000$$

$$x = [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0,239$$

Cálculo da resultante de compressão

Lamela	y_{1i} (m)	y_{2i} (m)	B1 (m)	B2 (m)	ε_{ci} (‰)	σ_{cd} (tf/m ²)	F_i (tf)
1	0,000	0,046	2,375	2,375	1,16	1996	218,1
2	0,046	0,092	2,375	2,375	0,91	1707	186,5
3	0,092	0,138	2,375	2,375	0,66	1345	147,0
4	0,138	0,184	2,375	2,375	0,42	910	99,4
5	0,184	0,230	2,375	2,375	0,17	401	43,8
6	0,230	0,232	1,200	1,200	0,04	107	0,2
7	0,232	0,234	1,200	1,200	0,03	83	0,2
8	0,234	0,236	1,200	1,200	0,02	60	0,1
9	0,236	0,237	1,200	1,200	0,01	36	0,1
10	0,237	0,239	1,200	1,200	0,00	12	0,0
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 695,4$$

$$C.G._{cc} \text{ (m)} = 0,086$$

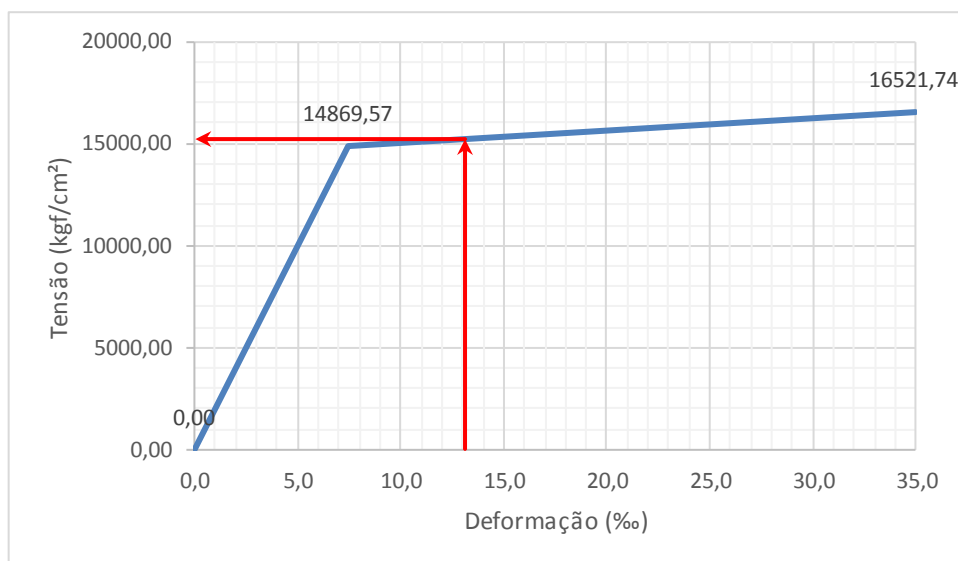
Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

	y (m)	ϵ_{sp} (‰)	ϵ_{sp}^{total} (‰)
C1	0,420	7,57	13,169
C2	0,270	8,19	13,822
C3	0,120	10,00	15,623
C4	0,120	10,00	15,633
C5	0,120	10,00	15,555
C6	0,000	0,00	0,000
C7	0,000	0,00	0,000
C8	0,000	0,00	0,000
C9	0,000	0,00	0,000

Do diagrama tensão-deformação preconizado na NBR 6118, tem-se

$$f_{pyd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.869,6 \quad f_{ptd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 16.521,7$$



$$R_{st,CP} = A_{sp} \times \sigma_{sp}$$

	σ_{sp} (kgf/cm²)	A_{sp} (cm²)	$R_{st,CP-190}$ (tf)
C1	15.213	8,40	127,79
C2	15.252	8,40	128,12
C3	15.360	8,40	129,03
C4	15.361	8,40	129,03
C5	15.356	8,40	128,99
C6	0	0,00	0,00
C7	0	0,00	0,00
C8	0	0,00	0,00
C9	0	0,00	0,00
$R_{st,CP}$ (tf) =			642,96

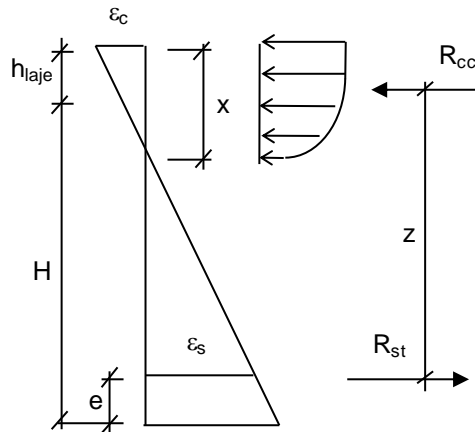
$$A_s^{CA-50} (cm^2) = 12,064$$

$$R_{st,CA-50} = A_s^{CA-50} \times \sigma_s$$

$$R_{st,CA-50} (tf) = 52,5$$

$$R_{st} = R_{st,CP} + R_{st,CA-50}$$

$$R_{st} (tf) = 695,4$$



	z (m)
C1	1,724
C2	1,874
C3	2,024
C4	2,024
C5	2,024
C6	0,000
C7	0,000
C8	0,000
C9	0,000
CA-50	2,084

$$z = H + h_{laje} - C.G._{cc} - e$$

$$M_i = R_{st,i} \cdot z_i$$

$$z = \sum M_i / R_{st}$$

$$z (m) = 1,945$$

Assim temos:


$$M_u = R_{st} \cdot z \quad M_u (tf.m) = 1.353$$

$$M_d = 1,35 \cdot (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,5 \cdot (M_q) + \Delta F_{sd} \cdot z$$

$$\Delta F_{sd} (tf) = 0,00$$

$$M_d (tf.m) = 1.278$$

$$\text{Então: } M_u / M_d = 1,06 > 1,00 \text{ (Atende)}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 185/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

5.4 VIGAS DE 21,70m

Características geométricas das seções

As características das seções serão calculadas considerando contribuição das armaduras passivas principais (superior e inferior), além das armaduras ativas.

As características das seções do conjunto viga+laje serão calculadas considerando a relação entre os módulos de elasticidade do concreto da viga e da laje, n.

$$f_{ck,viga} \text{ (MPa)} = 40 \quad f_{ck,laje} \text{ (MPa)} = 40 \quad \text{tipo de agregado considerado: granito ou gnaiss}$$

$$E_{CS,viga} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad E_{CS,laje} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad n = 1,00$$

$$E_s \text{ (MPa)} = 200.000 \quad \alpha = 6,27$$

Viga Isolada

Seção S0

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,700	0,050	1,900	1,850	0,048	1,877	0,089	0,167	0,000
4	0,700	0,700	1,450	1,850	0,400	1,015	1,125	1,142	1,285	0,178
5	0,700	0,700	0,200	0,400	0,200	0,140	0,300	0,042	0,013	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{array}{llll}
A \text{ (m}^2\text{)} = 1,463 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 2,101 & V_s \text{ (m)} = - & w_s \text{ (m}^3\text{)} = - \\
H \text{ (m)} = 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,519 & V_s' \text{ (m)} = 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,541 \\
A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00 & V_i \text{ (m)} = 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,499 \\
Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000 & &
\end{array}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A _s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{array}{lll}
A \text{ (m}^2\text{)} = 1,463 & V_s \text{ (m)} = - & w_s \text{ (m}^3\text{)} = - \\
H \text{ (m)} = 2,000 & V_s' \text{ (m)} = 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,541 \\
I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,519 & V_i \text{ (m)} = 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,499
\end{array}$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A _s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

[illegible]

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Conjunto viga + laje

$$h_{\text{laje}} \text{ (m)} = 0,23$$

$$\text{intereixo de vigas (m)} = 2,750$$

Vigas centrais

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 2,095$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,865$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,193$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,635$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,625$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 1,032$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,365$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,756$$

Seção S1

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Seção S2

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Seção S3

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Seção S4

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Seção S5

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,750	2,750	0,100	0,230	0,130	0,275	0,180	0,050	0,009	0,000
2	2,750	2,750	0,130	0,130	0,000	0,358	0,065	0,023	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,633$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,364$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,786$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,703$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,473$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,527$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,119$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,663$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,514$$

Vigas de bordo

Seção S0

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 2,009$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,981$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,898$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,668$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,332$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,093$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,470$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,736$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S3

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S4

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Seção S5

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,375	2,375	0,100	0,230	0,130	0,238	0,180	0,043	0,008	0,000
2	2,375	2,375	0,130	0,130	0,000	0,309	0,065	0,020	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,546$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,002$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,277$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,754$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,742$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,512$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,488$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,015$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,471$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,507$$

Resumo das características das seções

Viga isolada

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	1,463	0,519	-	0,960	1,040	-	0,541	0,499
S1	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S2	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S3	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S4	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S5	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369

Conjunto viga+laje

Vigas centrais

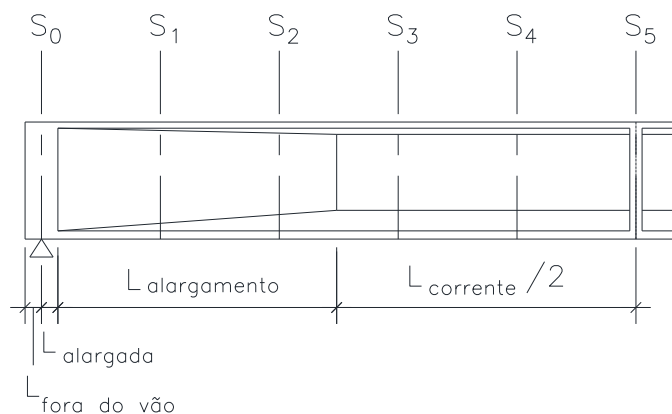
	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,095	1,032	0,865	0,635	1,365	1,193	1,625	0,756
S1	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S2	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S3	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S4	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514
S5	1,364	0,786	0,703	0,473	1,527	1,119	1,663	0,514

Vigas de bordo

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,009	0,981	0,898	0,668	1,332	1,093	1,470	0,736
S1	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S2	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S3	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S4	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507
S5	1,277	0,754	0,742	0,512	1,488	1,015	1,471	0,507

Cargas permanentes

Peso próprio da viga



$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 21,10$$

$$\Delta S \text{ (m)} = 2,110$$

$$\gamma_{\text{concreto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,50$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$L_{\text{alargada}} \text{ (m)} = 0,900$$

$$L_{\text{alargamento}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$L_{\text{corrente}} \text{ (m)} = 18,700$$

$$g_{\text{fora do vão}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$g_{\text{alargada}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$g_{\text{corrente}} \text{ (tf/m)} = 1,828$$

$$n_{\text{septos de vão}} = 1$$

$$X_{\text{septo de vão 1}} \text{ (m)} = -$$

$$X_{\text{septo de vão 2}} \text{ (m)} = -$$

$$e_{\text{septos de vão}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$R_{g1} \text{ (tf)} = 22,30$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	21,2	0,0	-	0,0	0,0
S1	15,4	37,6	-	98,3	-102,1
S2	11,6	66,1	-	172,6	-179,3
S3	7,7	86,5	-	225,7	-234,5
S4	3,9	98,7	-	257,6	-267,6
S5	0,0	102,7	-	268,2	-278,6

Diagrama de Cortante (tf)

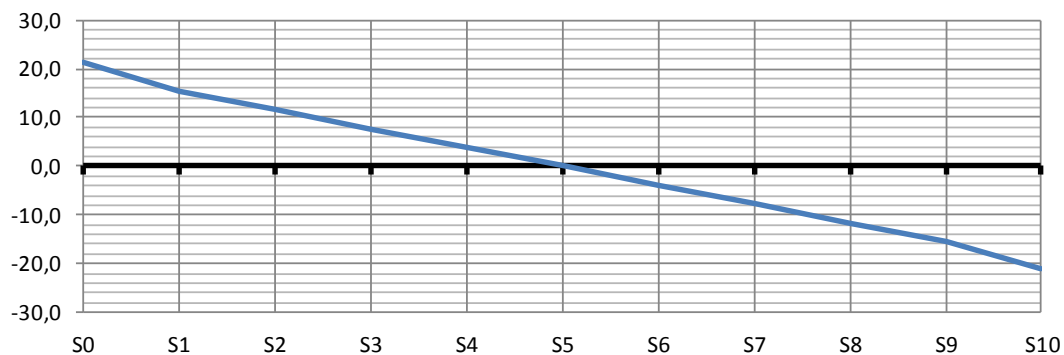
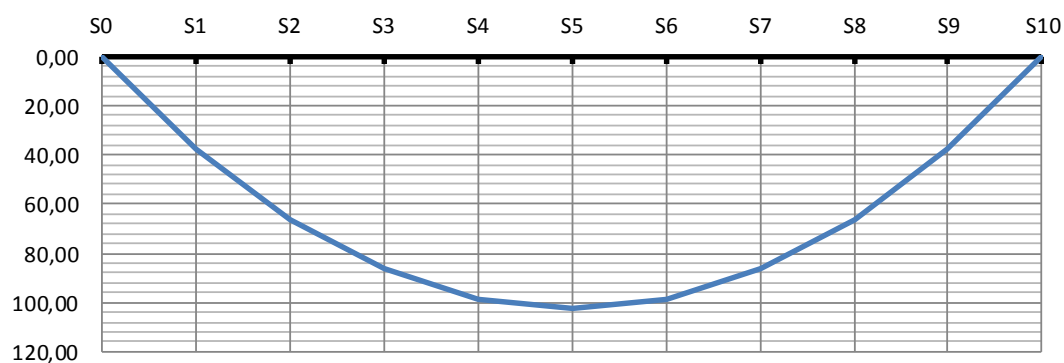


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Peso próprio da laje e transversinas

Vigas centrais

$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$

$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,581$

$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 1,000$

$R_{g2} \text{ (tf)} = 19,34$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	16,68	0,00	-	0,0	0,0
S1	13,35	31,68	-	82,7	-85,9
S2	10,01	56,32	-	147,0	-152,7
S3	6,67	73,92	-	193,0	-200,5
S4	3,34	84,48	-	220,5	-229,1
S5	0,00	88,00	-	229,7	-238,7

Diagrama de Cortante (tf)

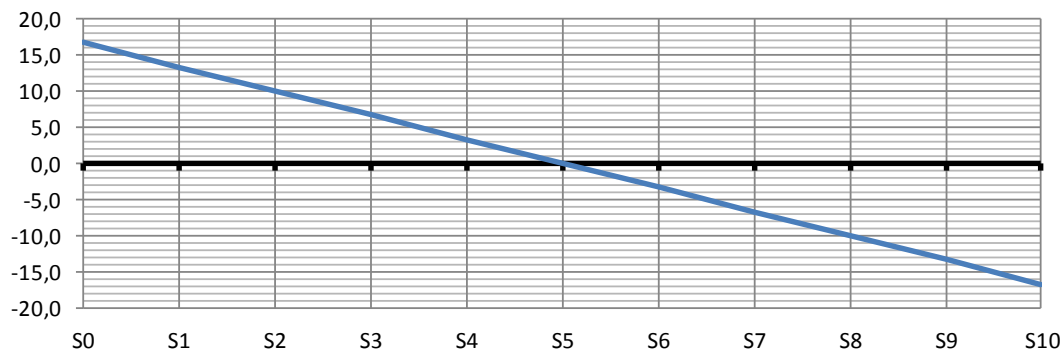
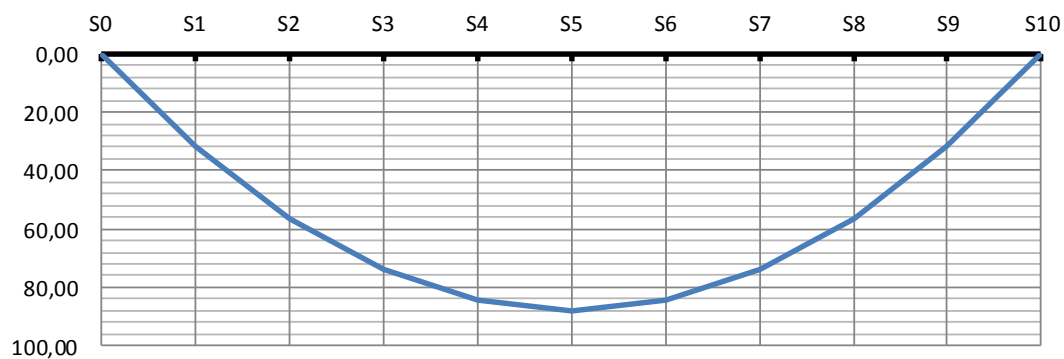


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$

$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,366$

$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 0,500$

$R_{g2} \text{ (tf)} = 16,34$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	14,41	0,00	-	0,0	0,0
S1	11,53	27,36	-	71,4	-74,2
S2	8,64	48,64	-	127,0	-131,9
S3	5,76	63,84	-	166,6	-173,1
S4	2,88	72,96	-	190,5	-197,9
S5	0,00	76,00	-	198,4	-206,1

Diagrama de Cortante (tf)

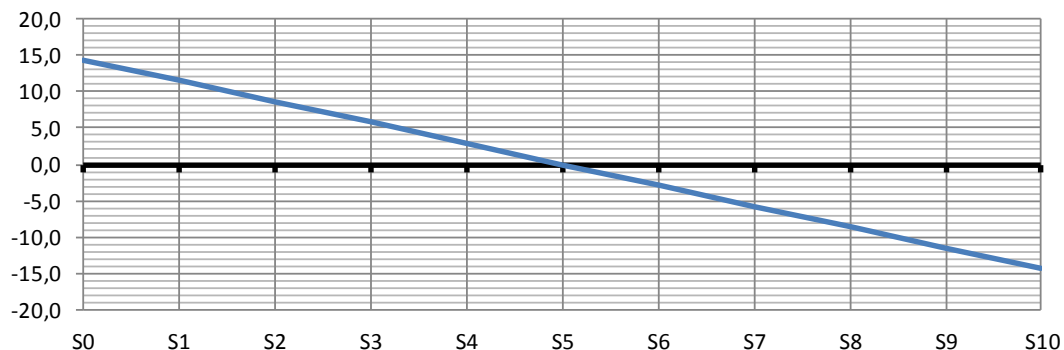
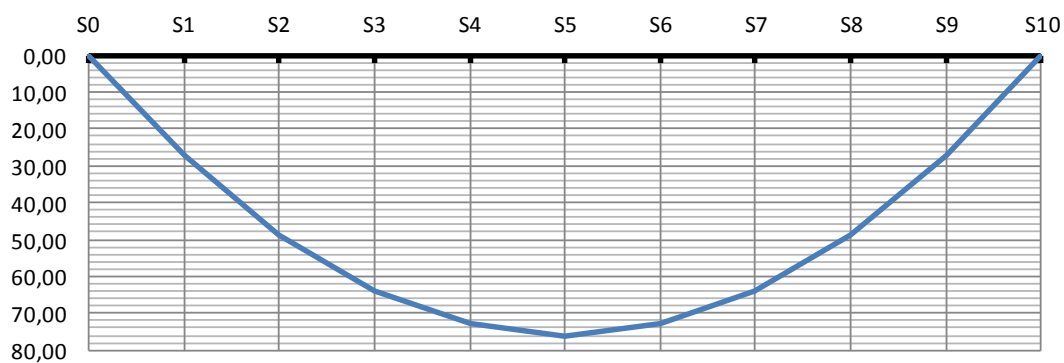


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Sobrecarga Permanente Rodoviária

Vigas centrais

$$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 2,750$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0,462$$

$$R_{g3} \text{ (tf)} = 5,36$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	4,87	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	3,90	9,26	8,3	5,6	-18,0
S2	2,92	16,45	14,7	9,9	-32,0
S3	1,95	21,60	19,3	13,0	-42,0
S4	0,97	24,68	22,1	14,8	-48,0
S5	0,00	25,71	23,0	15,5	-50,0

Diagrama de Cortante (tf)

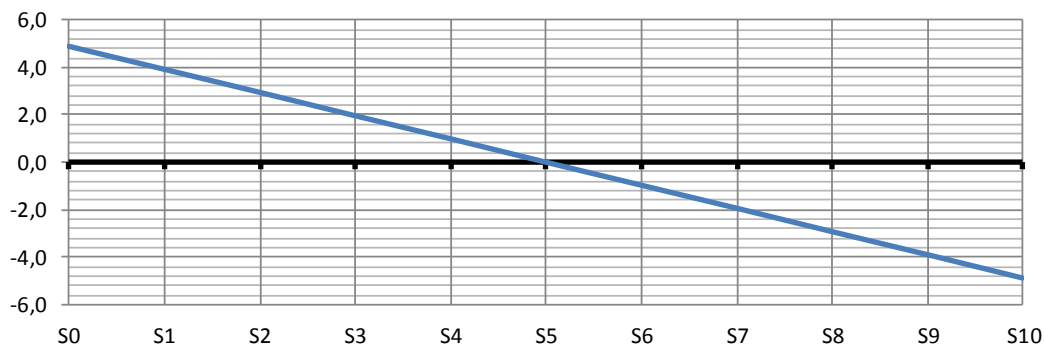
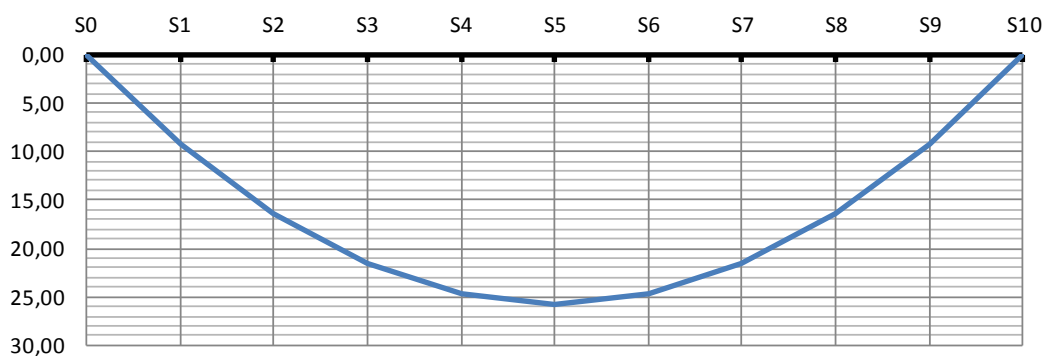


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$$

$$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$$

$$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 1,975$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

$$h_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,10$$

$$b_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,40$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$g_{\text{guarda-rodas}} \text{ (tf/m)} = 0,580$$

$$g_{\text{guarda corpo}} \text{ (tf/m)} = 0,000$$

$$g_{\text{passeio}} \text{ (tf/m)} = 0,000$$

$$g_{\text{pingadeiras}} \text{ (tf/m)} = 0,100$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 1,012$$

$$R_{g3} \text{ (tf)} = 11,74$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	10,67	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	8,54	20,27	20,0	13,8	-40,0
S2	6,40	36,04	35,5	24,5	-71,1
S3	4,27	47,30	46,6	32,1	-93,4
S4	2,13	54,06	53,2	36,7	-106,7
S5	0,00	56,31	55,5	38,3	-111,2

Diagrama de Cortante (tf)

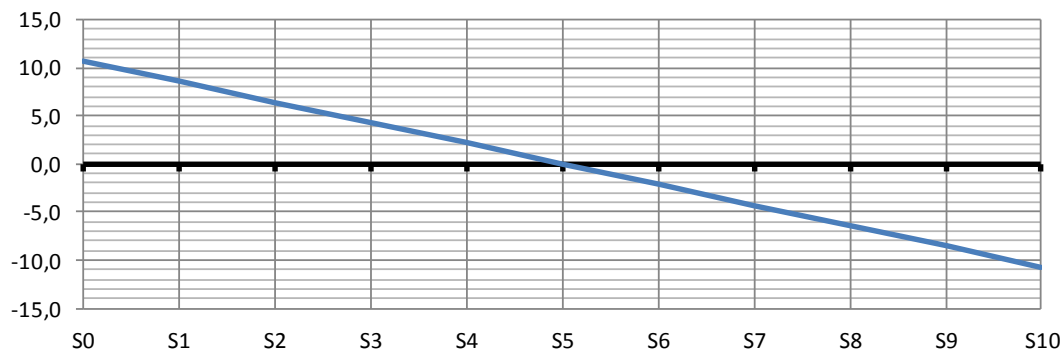
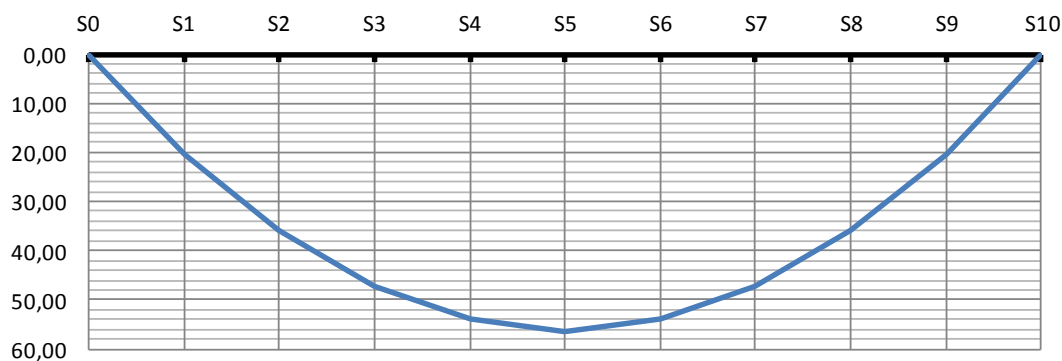


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Carga móvel rodoviária

$L_{transv} \text{ (m)} = 13,00$

$n_{vigas} = 5$


	$X_i \text{ (m)}$	X_i^2	R_{V1}	R_{V2}	R_{V3}	R_{V4}	R_{V5}	R_{V6}
V1	5,50	30,25	0,600	0,400	0,200	0,000	-0,200	-
V2	2,75	7,56	0,400	0,300	0,200	0,100	0,000	-
V3	0,00	0,00	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	-
V4	-2,75	7,56	0,000	0,100	0,200	0,300	0,400	-
V5	-5,50	30,25	-0,200	0,000	0,200	0,400	0,600	-
V6		-	-	-	-	-	-	-
	ΣX_i^2	75,625						

$L_{teórico} \text{ (m)} = 21,10$

$P \text{ (tf/roda)} = 6,000$

$q_{multid\tilde{a}o} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,500$

$q_{passeio} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 200/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Coefficiente de impacto vertical (CIV)

CIV = 1,35 para vãos menores que 10m

CIV = 1 + 1,06 $\left(\frac{20}{L + 50} \right)$ para vãos maiores que 10m

CIV = 1,30

Coefficiente do número de faixas (CNF)

CNF = 1 - 0,05(n - 2) > 0,9

n_{faixas} = 2

CNF = 1,00

Coefficiente de impacto adicional (CIA)

CIA = 1,25 para obras em concreto ou mistas

CIA = 1,15 para obras em aço

CIA = 1,25

Aplicado apenas nas seções a uma distância normal à junta inferior a 5m.

Trem-tipo para V1 (viga de bordo)

b_{guarda corpo} (m) = 0,000

b_{passeio} (m) = 0,000

b_{guarda-rodas} (m) = 0,400

i = 0,073

L_{pista} (m) = 12,200

L_{C.M.} (m) = 8,850

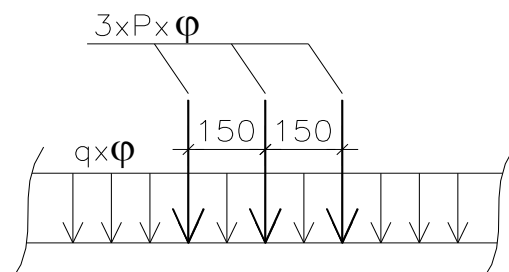
	X (m)	Y
a	6,500	0,673
b	6,500	0,673
c	6,100	0,644
d	5,600	0,607
e	3,600	0,462
f	-2,750	0,000
g	-6,100	-0,244
h	-6,500	-0,273
i	-6,500	-0,273

P (tf/eixo) = 6,415 (sem impacto)

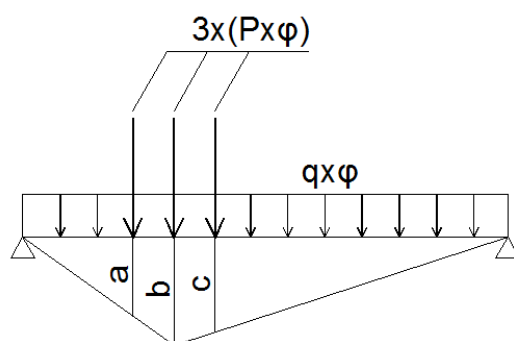
q_{multidão} (tf/m²) = 1,424 (sem impacto)

q_{passeio} (tf/m²) = 0,000

$P \text{ (tf/eixo)} = 8,327$ (com CIV e CNF)
 $q_{\text{total}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,849$ (com CIV e CNF)

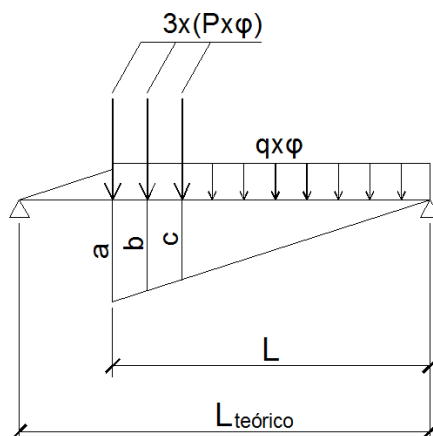


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	2,11	1,599	1,899	1,749	100,91
S2	4,22	2,776	3,376	3,076	142,69
S3	6,33	3,531	4,431	3,981	185,87
S4	8,44	4,164	5,064	4,464	212,78
S5	10,55	4,525	5,275	4,525	222,17
S6	12,66	4,164	5,064	4,464	212,78
S7	14,77	3,531	4,431	3,981	185,87
S8	16,88	2,776	3,376	3,076	142,69
S9	18,99	1,599	1,899	1,749	100,91
S10	21,10	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	21,10	1,000	0,929	0,858	53,39
S1	2,11	18,99	0,900	0,829	0,758	45,63
S2	4,22	16,88	0,800	0,729	0,658	30,69
S3	6,33	14,77	0,700	0,629	0,558	25,27
S4	8,44	12,66	0,600	0,529	0,458	20,23
S5	10,55	10,55	0,500	0,429	0,358	15,59
S6	12,66	8,44	0,400	0,329	0,258	11,34
S7	14,77	6,33	0,300	0,229	0,158	7,47
S8	16,88	4,22	0,200	0,129	0,058	4,00
S9	18,99	2,11	0,100	0,029	0,000	1,59
S10	21,10	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V1

	V _{C.M.} (tf)	M _{C.M.} (tf.m)	σ _s (tf/m ²)	σ _s ' (tf/m ²)	σ _i (tf/m ²)
S0	53,39	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	45,63	100,91	99,4	68,6	-199,2
S2	30,69	142,69	140,5	97,0	-281,7
S3	25,27	185,87	183,1	126,3	-366,9
S4	20,23	212,78	209,6	144,6	-420,1
S5	15,59	222,17	218,8	151,0	-438,6
S6	11,34	212,78	209,6	144,6	-420,1
S7	7,47	185,87	183,1	126,3	-366,9
S8	4,00	142,69	140,5	97,0	-281,7
S9	1,59	100,91	99,4	68,6	-199,2
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Trem-tipo para V2 (viga central)

$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$

$i = 0,036$

$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$

$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 11,600$

	X (m)	Y
a	6,500	0,436
b	6,500	0,436
c	6,100	0,422
d	5,600	0,404
e	3,600	0,331
f	-5,500	0,000
g	-6,100	-0,022
h	-6,500	-0,036
i	-6,500	-0,036

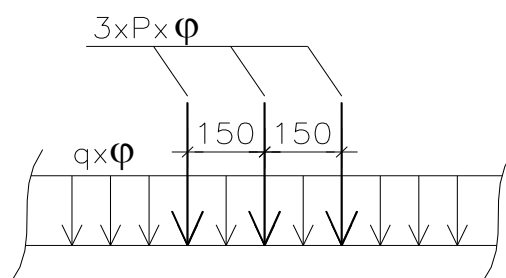
$P \text{ (tf/eixo)} = 4,407$ (sem impacto)

$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,223$ (sem impacto)

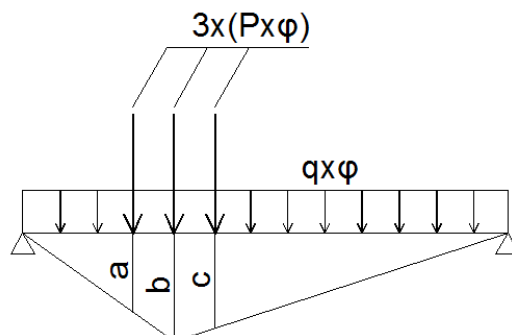
$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$

$P \text{ (tf/eixo)} = 5,721$ (com CIV e CNF)

$p \text{ (tf/m)} = 1,588$ (com CIV e CNF)

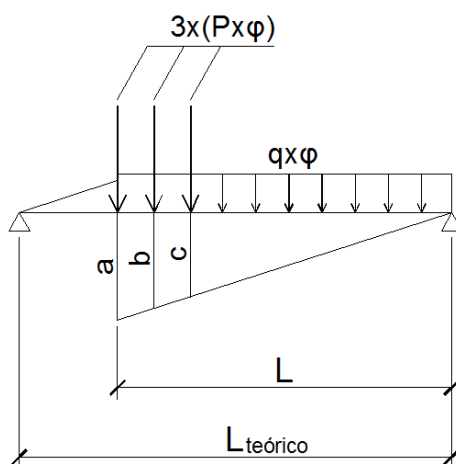


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	2,11	1,599	1,899	1,749	77,29
S2	4,22	2,776	3,376	3,076	109,36
S3	6,33	3,531	4,431	3,981	142,57
S4	8,44	4,164	5,064	4,464	163,18
S5	10,55	4,525	5,275	4,525	170,33
S6	12,66	4,164	5,064	4,464	163,18
S7	14,77	3,531	4,431	3,981	142,57
S8	16,88	2,776	3,376	3,076	109,36
S9	18,99	1,599	1,899	1,749	77,29
S10	21,10	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	21,10	1,000	0,929	0,858	40,87
S1	2,11	18,99	0,900	0,829	0,758	34,75
S2	4,22	16,88	0,800	0,729	0,658	23,23
S3	6,33	14,77	0,700	0,629	0,558	19,00
S4	8,44	12,66	0,600	0,529	0,458	15,11
S5	10,55	10,55	0,500	0,429	0,358	11,55
S6	12,66	8,44	0,400	0,329	0,258	8,33
S7	14,77	6,33	0,300	0,229	0,158	5,44
S8	16,88	4,22	0,200	0,129	0,058	2,88
S9	18,99	2,11	0,100	0,029	0,000	1,13
S10	21,10	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V2

	$V_{C.M.} \text{ (tf)}$	$M_{C.M.} \text{ (tf.m)}$	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	40,87	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	34,75	77,29	69,1	46,5	-150,2
S2	23,23	109,36	97,8	65,8	-212,6
S3	19,00	142,57	127,5	85,7	-277,1
S4	15,11	163,18	145,9	98,1	-317,2
S5	11,55	170,33	152,3	102,4	-331,1
S6	8,33	163,18	145,9	98,1	-317,2
S7	5,44	142,57	127,5	85,7	-277,1
S8	2,88	109,36	97,8	65,8	-212,6
S9	1,13	77,29	69,1	46,5	-150,2
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Cálculo da protensão - Vigas de Bordo

Módulo de elasticidade do cabo



$E_p \text{ (MPa)} = 200.000$

$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$

Tensão inicial no cabo:

Pós-Tensão -

$\sigma_{p0} \leq$

$$\left\{ \begin{array}{l} -0,74 * f_{ptk} = 14060 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,82 * f_{pk} = 14022 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

Pré-Tensão -

$\sigma_{p0} \leq$

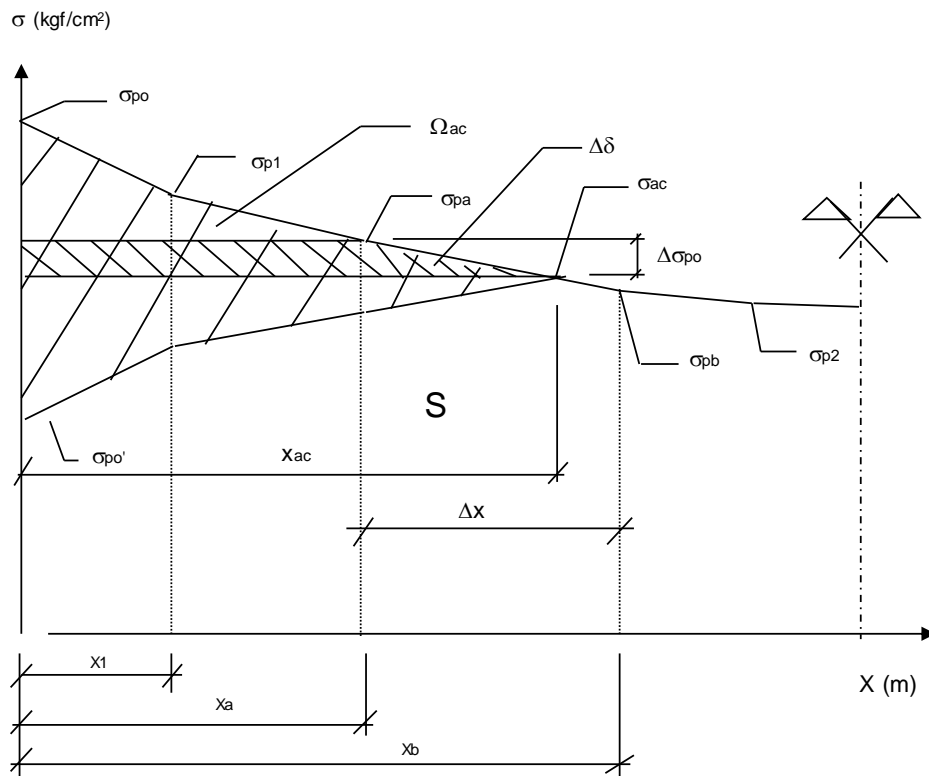
$$\left\{ \begin{array}{l} -0,77 * f_{ptk} = 14630 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,85 * f_{pk} = 14535 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

onde: $f_{ptk} \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 19.000$

$f_{pyk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 17.100$

Cabo	Etapa	Sistema
C1	1	Viga isolada
C2	1	Viga isolada
C3	1	Viga isolada
C4		-
C5		-
C6		-
C7		-
C8		-
C9		-

Cálculo das perdas imediatas de protensão



A tensão após as perdas por atrito é dada por:

$$\sigma_{p0}(x) = \sigma_{p0} * e^{-\mu(\alpha + k * x)}$$

- onde:
- $\sigma_{p0}(x)$ é a tensão no cabo após perdas por atrito numa seção situada à uma distância (x) da ancoragem do cabo.
 - (x) é a distância entre a ancoragem e a seção da viga onde está sendo calculada a tensão $\sigma_{p0}(x)$.
 - μ é o coeficiente de atrito entre o cabo e a bainha. Adota-se $\mu = 0,20$.
 - K é o desvio angular por unidade de comprimento. Adota-se $K = 0,01 \text{ rad/m}$.
 - α é variação angular entre a ancoragem e a seção em (x).

Cabo C1

Unidade de protensão → 6 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 118
Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{reco da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	21,40	1,700	14,000		28,00	1,000	14022
S1	2,340	19,06	1,117	13,600	0,40	27,60	0,994	13937
S2	4,430	16,97	0,688	9,500	4,50	23,50	0,976	13682
S3	6,520	14,88	0,410	5,500	8,50	19,50	0,958	13436
S4	8,610	12,79	0,281	1,500	12,50	15,50	0,941	13194
S5	10,700	10,70	0,270	0,000	14,00	14,00	0,932	13071
S6	12,790	8,61	0,281	-1,500	15,50	12,50	0,941	13194
S7	14,880	6,52	0,410	-5,500	19,50	8,50	0,958	13436
S8	16,970	4,43	0,688	-9,500	23,50	4,50	0,976	13682
S9	19,060	2,34	1,117	-13,600	27,60	0,40	0,994	13937
S10	21,400	0,00	1,700	-14,000	28,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 73 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

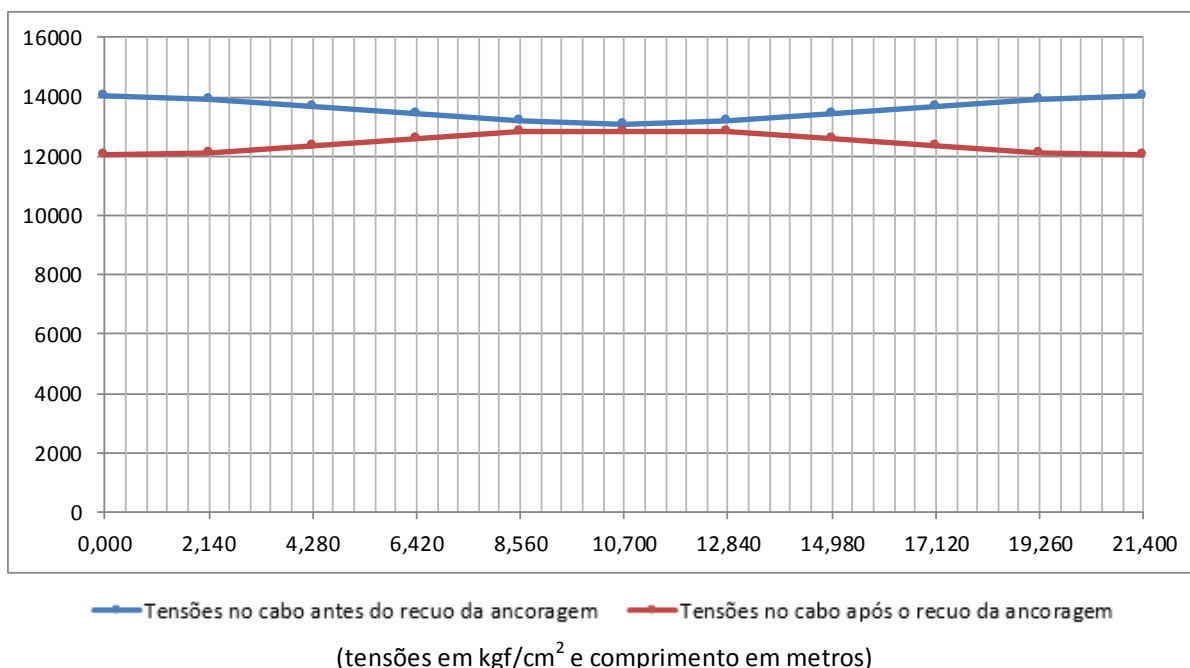
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 73 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por reco da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0
S1	12133	101,9	1,019	0,098	99,1	-24,0	9,7
S2	12362	103,8	1,019	-0,331	102,4	-17,1	-33,9
S3	12590	105,8	1,019	-0,609	105,3	-10,1	-64,1
S4	12823	107,7	1,019	-0,738	107,7	-2,8	-79,5
S5	12826	107,7	1,019	-0,749	107,7	0,0	-80,7
S6	12823	107,7	1,019	-0,738	107,7	2,8	-79,5
S7	12590	105,8	1,019	-0,609	105,3	10,1	-64,1
S8	12362	103,8	1,019	-0,331	102,4	17,1	-33,9
S9	12133	101,9	1,019	0,098	99,1	24,0	9,7
S10	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0

A perda por reco da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Cabo C2

Unidade de protensão → 6 ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0} (x)$
S0	0,000	21,40	1,000	8,000		16,00	1,000	14022
S1	2,340	19,06	0,671	8,000	0,00	16,00	0,995	13957
S2	4,430	16,97	0,378	7,500	0,50	15,50	0,989	13874
S3	6,520	14,88	0,176	3,500	4,50	11,50	0,972	13625
S4	8,610	12,79	0,120	0,000	8,00	8,00	0,956	13403
S5	10,700	10,70	0,120	0,000	8,00	8,00	0,952	13347
S6	12,790	8,61	0,120	0,000	8,00	8,00	0,956	13403
S7	14,880	6,52	0,176	-3,500	11,50	4,50	0,972	13625
S8	16,970	4,43	0,378	-7,500	15,50	0,50	0,989	13874
S9	19,060	2,34	0,671	-8,000	16,00	0,00	0,995	13957
S10	21,400	0,00	1,000	-8,000	16,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 73 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

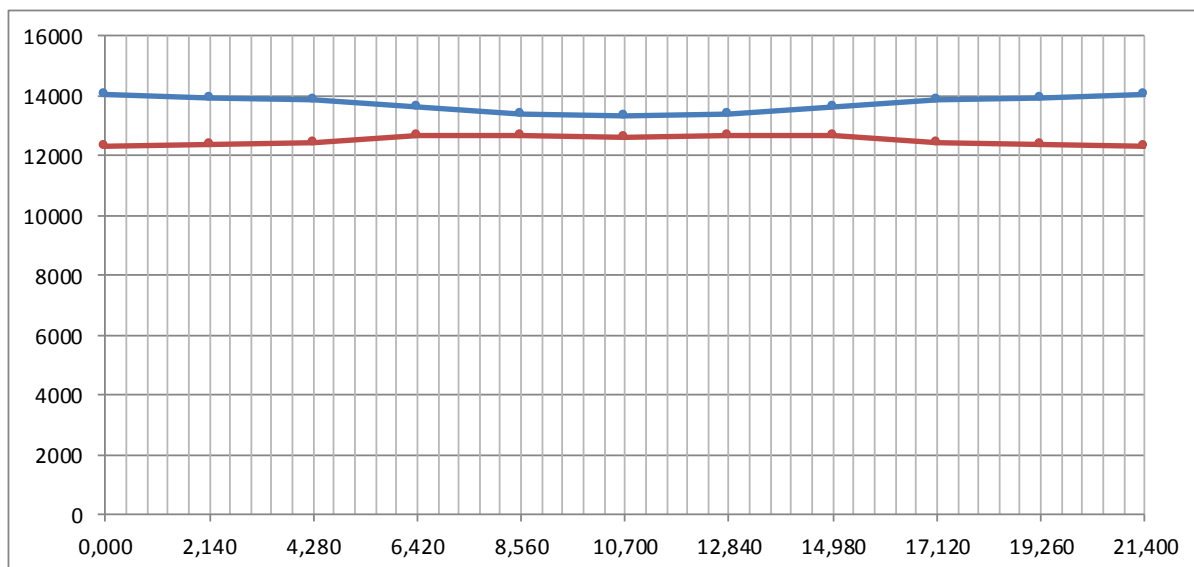
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 73 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	$\sigma_p \text{ (x)}$	$F_p \text{ (tf)}$	$V_i \text{ (m)}$	exc (m)	$N \text{ (tf)}$	$V \text{ (tf)}$	$M \text{ (tf.m)}$
S0	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0
S1	12379	104,0	1,019	-0,348	103,0	-14,5	-35,8
S2	12455	104,6	1,019	-0,641	103,7	-13,7	-66,5
S3	12690	106,6	1,019	-0,843	106,4	-6,5	-89,7
S4	12694	106,6	1,019	-0,899	106,6	0,0	-95,9
S5	12638	106,2	1,019	-0,899	106,2	0,0	-95,5
S6	12694	106,6	1,019	-0,899	106,6	0,0	-95,9
S7	12690	106,6	1,019	-0,843	106,4	6,5	-89,7
S8	12455	104,6	1,019	-0,641	103,7	13,7	-66,5
S9	12379	104,0	1,019	-0,348	103,0	14,5	-35,8
S10	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm^2 e comprimento em metros)

Cabo C3

Unidade de protensão → 6 $\phi 15,2$

Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva

Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	21,40	0,300	2,000		4,00	1,000	14022
S1	2,340	19,06	0,200	2,00	0,00	4,00	0,995	13957
S2	4,430	16,97	0,145	2,00	0,00	4,00	0,991	13898
S3	6,520	14,88	0,120	0,00	2,00	2,00	0,980	13744
S4	8,610	12,79	0,120	0,00	2,00	2,00	0,976	13687
S5	10,700	10,70	0,120	0,00	2,00	2,00	0,972	13630
S6	12,790	8,61	0,120	0,00	2,00	2,00	0,976	13687
S7	14,880	6,52	0,120	0,00	2,00	2,00	0,980	13744
S8	16,970	4,43	0,145	-2,00	4,00	0,00	0,991	13898
S9	19,060	2,34	0,200	-2,00	4,00	0,00	0,995	13957
S10	21,400	0,00	0,300	-2,00	4,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 74 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

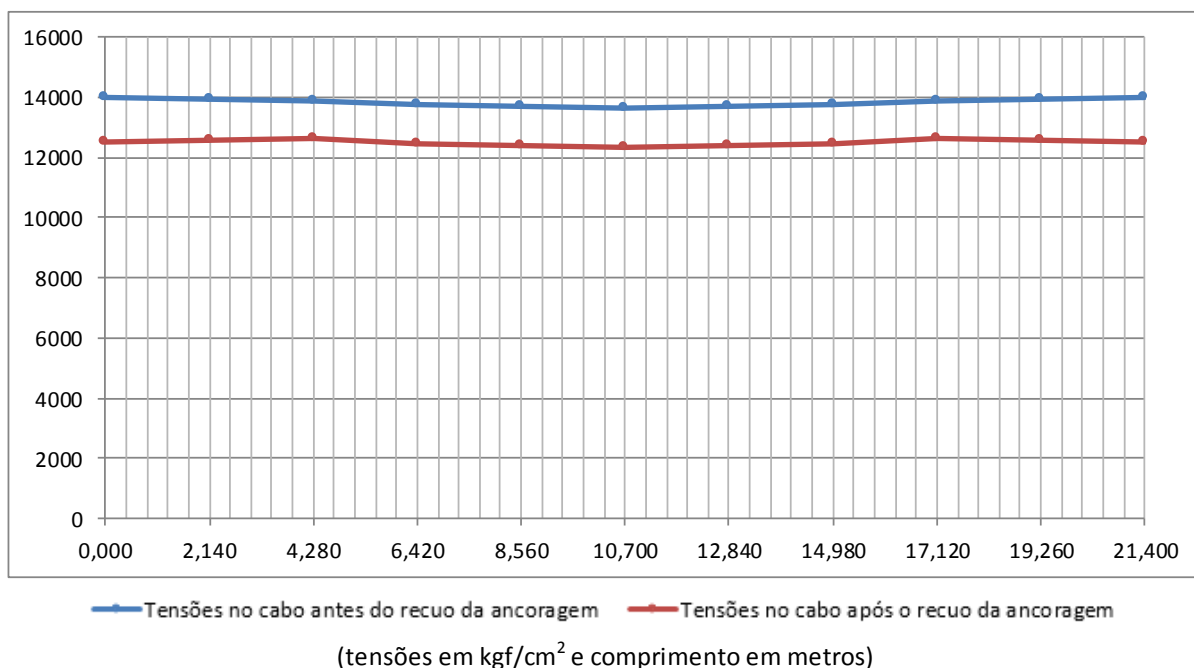
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 74 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0
S1	12582	105,7	1,019	-0,819	105,6	-3,7	-86,5
S2	12631	106,1	1,019	-0,874	106,0	-3,7	-92,7
S3	12481	104,8	1,019	-0,899	104,8	0,0	-94,3
S4	12424	104,4	1,019	-0,899	104,4	0,0	-93,8
S5	12368	103,9	1,019	-0,899	103,9	0,0	-93,4
S6	12424	104,4	1,019	-0,899	104,4	0,0	-93,8
S7	12481	104,8	1,019	-0,899	104,8	0,0	-94,3
S8	12631	106,1	1,019	-0,874	106,0	3,7	-92,7
S9	12582	105,7	1,019	-0,819	105,6	3,7	-86,5
S10	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Perda por encurtamento imediato do concreto

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$s = 0,38$$

1ª etapa de protensão

$$\alpha_E = 1,0$$

$$t_0 \text{ (dias)} = 3$$

$$\beta_s(t_0) = 0,458$$


$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 18,3$$

$$n_{cabos} = 3$$

$$\alpha = 8,34$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 23.968,7$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	-0,013	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	307,7	-112,6	-0,119	0,731	0,376	456,5	0,635	127,0
S2	312,2	-193,1	-0,205	0,731	0,376	532,4	0,740	148,1
S3	316,5	-248,0	-0,261	0,731	0,376	605,4	0,842	168,4
S4	318,7	-269,2	-0,282	0,731	0,376	637,8	0,887	177,4
S5	317,8	-269,6	-0,283	0,731	0,376	637,8	0,887	177,4
S6	318,7	-269,2	-0,282	0,731	0,376	637,8	0,887	177,4
S7	316,5	-248,0	-0,261	0,731	0,376	605,4	0,842	168,4
S8	312,2	-193,1	-0,205	0,731	0,376	532,4	0,740	148,1
S9	307,7	-112,6	-0,119	0,731	0,376	456,5	0,635	127,0
S10	0,0	0,0	-0,013	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 212/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Onde:

s = coeficiente que depende do tipo de cimento

t_0 = idade de aplicação da protensão

$$\beta_s = e^{s \times (1 - \sqrt{28/t_0})} \quad f_{cj} = \beta_s \times f_{ck} \quad E_c = \alpha_E \times 5600 \times \sqrt{f_{cj}}$$

$$\Delta \varepsilon_{cp} = \frac{n-1}{2n} \times \frac{\sigma_{c, cgp}}{E_{c, t0}} \quad \Delta \sigma_p = \frac{\Delta \varepsilon_{cp}}{E_p}$$

	Seção	Fase 1	Fase 2	Fase 3
$\Delta \sigma_p$ (kgf/cm ²)	S0	0,0	0,0	0,0
	S1	127,0	0,0	0,0
	S2	148,1	0,0	0,0
	S3	168,4	0,0	0,0
	S4	177,4	0,0	0,0
	S5	177,4	0,0	0,0
	S6	177,4	0,0	0,0
	S7	168,4	0,0	0,0
	S8	148,1	0,0	0,0
	S9	127,0	0,0	0,0
	S10	0,0	0,0	0,0

Tensões nos cabos e solicitações devido à protensão após as perdas imediatas

C1

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta \sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12006	100,9	98,0	-23,7	9,6	14,4%
S2	12214	102,6	101,2	-16,9	-33,5	12,9%
S3	12422	104,3	103,9	-10,0	-63,2	11,4%
S4	12646	106,2	106,2	-2,8	-78,4	9,8%
S5	12649	106,3	106,3	0,0	-79,6	9,8%
S6	12646	106,2	106,2	2,8	-78,4	9,8%
S7	12422	104,3	103,9	10,0	-63,2	11,4%
S8	12214	102,6	101,2	16,9	-33,5	12,9%
S9	12006	100,9	98,0	23,7	9,6	14,4%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C2

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12252	102,9	101,9	-14,3	-35,5	12,6%
S2	12307	103,4	102,5	-13,5	-65,7	12,2%
S3	12521	105,2	105,0	-6,4	-88,5	10,7%
S4	12517	105,1	105,1	0,0	-94,5	10,7%
S5	12461	104,7	104,7	0,0	-94,1	11,1%
S6	12517	105,1	105,1	0,0	-94,5	10,7%
S7	12521	105,2	105,0	6,4	-88,5	10,7%
S8	12307	103,4	102,5	13,5	-65,7	12,2%
S9	12252	102,9	101,9	14,3	-35,5	12,6%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C3

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12455	104,6	104,6	-3,7	-85,6	11,2%
S2	12483	104,9	104,8	-3,7	-91,6	11,0%
S3	12313	103,4	103,4	0,0	-93,0	12,2%
S4	12247	102,9	102,9	0,0	-92,5	12,7%
S5	12190	102,4	102,4	0,0	-92,1	13,1%
S6	12247	102,9	102,9	0,0	-92,5	12,7%
S7	12313	103,4	103,4	0,0	-93,0	12,2%
S8	12483	104,9	104,8	3,7	-91,6	11,0%
S9	12455	104,6	104,6	3,7	-85,6	11,2%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

Resumo das solicitações e tensões nas fibras extremas do concreto devido à protensão após as perdas imediatas

1ª etapa de protensão

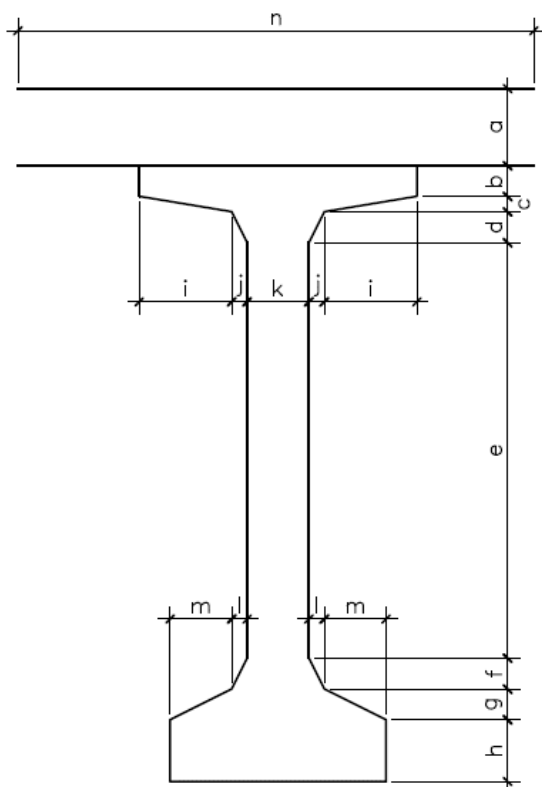
Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	304,5	-41,7	-111,5	0,0	125,5	719,0
S2	308,5	-34,1	-190,8	0,0	-76,0	939,4
S3	312,3	-16,4	-244,7	0,0	-211,5	1090,8
S4	314,2	-2,8	-265,4	0,0	-263,0	1149,7
S5	313,3	0,0	-265,8	0,0	-265,2	1149,4
S6	314,2	2,8	-265,4	0,0	-263,0	1149,7
S7	312,3	16,4	-244,7	0,0	-211,5	1090,8
S8	308,5	34,1	-190,8	0,0	-76,0	939,4
S9	304,5	41,7	-111,5	0,0	125,5	719,0
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Cálculo das perdas lentas de protensão

$U (\%) = 80$ (umidade relativa do ar)

$$\gamma = 2,22 \quad \gamma = 1 + e^{(-7,8+0,1 \times U)}$$

Cálculo da espessura fictícia



Seção	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)
S0	0,000	0,050	0,050	0,050
S1	0,000	0,050	0,050	0,100
S2	0,000	0,050	0,050	0,100
S3	0,000	0,050	0,050	0,100
S4	0,000	0,050	0,050	0,100
S5	0,000	0,050	0,050	0,100
S6	0,000	0,050	0,050	0,100
S7	0,000	0,050	0,050	0,100
S8	0,000	0,050	0,050	0,100
S9	0,000	0,050	0,050	0,100
S10	0,000	0,050	0,050	0,050

Seção	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)	i (m)	j (m)	k (m)	l (m)	m (m)	n (m)
S0	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200
S1	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S2	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S3	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S4	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S5	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S6	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S7	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S8	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S9	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S10	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200

Seção	P _{ext} (m)	P _{int} (m)	u (m)	A (m ²)	h _{fic} (m)
S0	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030
S1	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S2	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S3	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S4	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S5	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S6	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S7	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S8	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S9	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S10	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030

Onde,

P_{ext} - é o perímetro externo da seção

P_{int} - é o perímetro interno da seção

u - é o perímetro da seção em contato com o ar, dado por: $P_{ext} + P_{int}/2$

A - é a área da seção transversal

h_{fic} - é a espessura fictícia, dada por: $\gamma \times 2 \times A / u$

Cálculo da idade corrigida

$$t_* = \frac{\alpha}{30} \times \sum_{t=0}^t [(T_i + 10) \times \Delta t_i]$$

$\alpha = 1$ (fluência) $T_i (^\circ) = 25$

Δt_i (dias) = 3 (média ponderada das idades de protensão)

t_{0*} (dias) = 3,5 (fluência)


t_{0*} (dias) = 3,5 (retração)

$t_{\infty*}$ (dias) = ∞

Fluência

a deformação por fluência é dada por:

$$\varepsilon_{c\phi}(t_2; t_0) = \frac{\sigma_{c,t_0}}{E_{c,28}} \times \varphi(t_2; t_0)$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 216/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

onde:

$$\varphi_{(t_1;t_0)} = \varphi_{d\infty} \times \beta_d + \varphi_{f\infty} \times [\beta_f(t_{1*}) - \beta_f(t_{0*})] + \varphi_a$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\beta_d = \frac{t_{1*} - t_{0*} + 20}{t_{1*} - t_{0*} + 70}$$

$$\varphi_{f\infty} = \varphi_{1c} \times \varphi_{2c}$$

$$\varphi_{1c} = 4,45 - 0,035 \times U \quad \varphi_{2c} = \frac{42 + h_{fic}(cm)}{20 + h_{fic}(cm)}$$

$$\beta_f(t) = \frac{t^2 + A \times t + B}{t^2 + C \times t + D} \quad \text{com} \quad \begin{cases} A = 42 \times h_{fic}^3 - 350 \times h_{fic}^2 + 588 \times h_{fic} + 113 \\ B = 768 \times h_{fic}^3 - 3060 \times h_{fic}^2 + 3234 \times h_{fic} - 23 \\ C = -200 \times h_{fic}^3 + 13 \times h_{fic}^2 + 1090 \times h_{fic} + 183 \\ D = 7579 \times h_{fic}^3 - 31916 \times h_{fic}^2 + 35343 \times h_{fic} + 1931 \end{cases}$$

$$\varphi_a = 0,8 \times \left[1 - \frac{9 \times t_{0*} \times (t_{0*} + 42)}{(9 \times t_{0*} + 40) \times (t_{0*} + 61)} \right]$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\varphi_a = 0,551$$

$$\varphi_{1c} = 1,7$$

$$\varphi_{f\infty} = 1,0$$

$$\beta_d = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	φ_{2c}	φ_{∞}	$\beta_{f(t)}$	$\varphi_{(\infty,t)}$
S0	1,030	1,179	1,945	0,138	2,629
S1	0,469	1,329	2,193	0,138	2,842
S2	0,469	1,329	2,193	0,138	2,842
S3	0,412	1,360	2,243	0,138	2,885
S4	0,469	1,329	2,193	0,138	2,842
S5	0,469	1,329	2,193	0,138	2,842
S6	0,469	1,329	2,193	0,138	2,842
S7	0,412	1,360	2,243	0,138	2,885
S8	0,469	1,329	2,193	0,138	2,842
S9	0,469	1,329	2,193	0,138	2,842
S10	1,030	1,179	1,945	0,138	2,629

Retração do concreto

a deformação por retração é dada por:

$$\varepsilon_{cs,(t_1;t_0)} = \varepsilon_{cs,(t_{00})} \times [\beta_s(t_{1*}) - \beta_s(t_{0*})]$$

onde:

$$\varepsilon_{cs,(t_{\infty})} = \varepsilon_{1s} \times \varepsilon_{2s}$$

$$\varepsilon_{1s} = - \left(6,16 + \frac{U}{484} - \frac{U^2}{1590} \right) \times 10^4$$

$$\varepsilon_{2s} = \frac{33 + 2 \times h_{fic}}{20,8 + 3 \times h_{fic}}$$

$$\beta_s(t) = \frac{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + A \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + B \times \left(\frac{t}{100}\right)}{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + C \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + D \times \left(\frac{t}{100}\right) + E}$$

$$com \begin{cases} A = 40 \\ B = 116 \times h_{fic}^3 - 282 \times h_{fic}^2 + 220 \times h_{fic} - 4,8 \\ C = 2,5 \times h_{fic}^3 - 8,8 \times h_{fic} + 40,7 \\ D = -75 \times h_{fic}^3 + 585 \times h_{fic}^2 + 496 \times h_{fic} - 6,8 \\ E = -169 \times h_{fic}^4 + 88 \times h_{fic}^3 + 584 \times h_{fic}^2 - 39 \times h_{fic} + 0,8 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{1s} \times 10^4 = 2,3$$

$$\beta_{s\infty} = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	ε_{2s}	$\beta_{s(t0^*)}$	$\varepsilon_{cs,(t\infty)} \times 10^4$	$\varepsilon_{cs,(t\infty,t0)} \times 10^4$
S0	1,030	1,468	0,003	3,376	3,364
S1	0,469	1,528	0,014	3,515	3,466
S2	0,469	1,528	0,014	3,515	3,466
S3	0,412	1,535	0,017	3,531	3,469
S4	0,469	1,528	0,014	3,515	3,466
S5	0,469	1,528	0,014	3,515	3,466
S6	0,469	1,528	0,014	3,515	3,466
S7	0,412	1,535	0,017	3,531	3,469
S8	0,469	1,528	0,014	3,515	3,466
S9	0,469	1,528	0,014	3,515	3,466
S10	1,030	1,468	0,003	3,376	3,364

Relaxação do aço

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$E_c \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 354.175$$

$$f_{ptk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 19.000$$

$$\alpha_p = 5,647$$

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente

Seção	M_{g1+g2} (tf.m)	I_z (m ⁴)	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,pgp,g}$ (tf/m ²)
S0	0,00	0,519	-1,040	0,0
S1	65,00	0,376	-0,356	-61,6
S2	114,76	0,376	-0,615	-187,9
S3	150,30	0,376	-0,784	-313,4
S4	171,62	0,376	-0,845	-386,2
S5	178,73	0,376	-0,849	-403,9
S6	171,62	0,376	-0,845	-386,2
S7	150,30	0,376	-0,784	-313,4
S8	114,76	0,376	-0,615	-187,9
S9	65,00	0,376	-0,356	-61,6
S10	0,00	0,519	-1,040	0,0

Seção	M_{g3} (tf.m)	I_z (m ⁴)	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,pgp,g}$ (tf/m ²)
S0	0,00	0,981	-1,332	0,0
S1	20,27	0,754	-0,825	-22,2
S2	36,04	0,754	-1,084	-51,8
S3	47,30	0,754	-1,252	-78,6
S4	54,06	0,754	-1,314	-94,3
S5	56,31	0,754	-1,318	-98,5
S6	54,06	0,754	-1,314	-94,3
S7	47,30	0,754	-1,252	-78,6
S8	36,04	0,754	-1,084	-51,8
S9	20,27	0,754	-0,825	-22,2
S10	0,00	0,981	-1,332	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à protensão

1ª etapa de protensão

Seção	N_p (tf)	M_p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I_z (m ⁴)	$\sigma_{c,pgp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	304,5	-111,5	-0,356	0,731	0,376	522,3
S2	308,5	-190,8	-0,615	0,731	0,376	734,4
S3	312,3	-244,7	-0,784	0,731	0,376	937,4
S4	314,2	-265,4	-0,845	0,731	0,376	1027,0
S5	313,3	-265,8	-0,849	0,731	0,376	1029,2
S6	314,2	-265,4	-0,845	0,731	0,376	1027,0
S7	312,3	-244,7	-0,784	0,731	0,376	937,4
S8	308,5	-190,8	-0,615	0,731	0,376	734,4
S9	304,5	-111,5	-0,356	0,731	0,376	522,3
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

Seção	$\sigma_{c, \text{cgp}, p}$ (tf/m ²)
S0	0,0
S1	522,3
S2	734,4
S3	937,4
S4	1027,0
S5	1029,2
S6	1027,0
S7	937,4
S8	734,4
S9	522,3
S10	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente + protensão

Seção	$\sigma_{c, \text{cgp}, p+g}$ (tf/m ²)
S0	0,0
S1	438,5
S2	494,6
S3	545,4
S4	546,6
S5	526,9
S6	546,6
S7	545,4
S8	494,6
S9	438,5
S10	0,0

Cálculo do coeficiente de fluência do aço

$$\chi_{(t, t_0)} = -\ln(1 - \psi_{(t, t_0)})$$

onde:

$$\psi(t^\infty, t_0) = 2,5 \times \psi_{1000}$$

Seção	σ_{p0} (kgf/cm ²)	σ_{p0} / f_{ptk}	ψ_{1000}	$\psi(t^\infty, t_0)$	$\chi_{(t^\infty, t_0)}$
S0		0,000	0,000	0,000	0,000
S1	12238	0,644	1,829	4,573	0,047
S2	12334	0,649	1,890	4,725	0,048
S3	12419	0,654	1,943	4,858	0,050
S4	12470	0,656	1,976	4,939	0,051
S5	12433	0,654	1,953	4,882	0,050
S6	12470	0,656	1,976	4,939	0,051
S7	12419	0,654	1,943	4,858	0,050
S8	12334	0,649	1,890	4,725	0,048
S9	12238	0,644	1,829	4,573	0,047
S10		0,000	0,000	0,000	0,000

Cálculo da perda lenta total

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t_2,t_0)} = \frac{\varepsilon_{cs,(t_2,t_0)} \times E_p + \alpha_p \times \varphi_{(t_2,t_0)} \times \sigma_{c,ggp,p+g} + \sigma_{p0} \times \chi_{(t,t_0)}}{\chi_p + \chi_c \times \alpha_p \times \eta \times \rho_p}$$

onde:

$$\chi_c = 1 + 0,5 \times \varphi_{(t_2,t_0)} \quad \chi_p = 1 + \chi_{(t,t_0)}$$

e_p - é a excentricidade de protensão

$$\eta = 1 + e_p^2 \times \frac{A_c}{I_z} \quad \rho_p = \frac{A_s}{A_c}$$

Seção	χ_c	χ_p	e_p (m)	η	ρ_p	$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t,t_0)}$ (kgf/cm ²)	$\Delta\sigma_{lenta}$ (%)
S0	2,314	1,000	-1,332	4,634	0,0000	0,0	0,0%
S1	2,421	1,047	-0,825	2,154	0,0020	1782,6	12,7%
S2	2,421	1,048	-1,084	2,991	0,0020	1845,7	13,2%
S3	2,443	1,050	-1,252	3,657	0,0020	1915,0	13,7%
S4	2,421	1,051	-1,314	3,927	0,0020	1903,9	13,6%
S5	2,421	1,050	-1,318	3,943	0,0020	1868,7	13,3%
S6	2,421	1,051	-1,314	3,927	0,0020	1903,9	13,6%
S7	2,443	1,050	-1,252	3,657	0,0020	1915,0	13,7%
S8	2,421	1,048	-1,084	2,991	0,0020	1845,7	13,2%
S9	2,421	1,047	-0,825	2,154	0,0020	1782,6	12,7%
S10	2,314	1,000	-1,332	4,634	0,0000	0,0	0,0%

Solicitações devido às perdas lentas de protensão

C1

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-1783	-15,0	-14,6	3,5	-1,4
S2	-1846	-15,5	-15,3	2,6	5,1
S3	-1915	-16,1	-16,0	1,5	9,7
S4	-1904	-16,0	-16,0	0,4	11,8
S5	-1869	-15,7	-15,7	0,0	11,8
S6	-1904	-16,0	-16,0	-0,4	11,8
S7	-1915	-16,1	-16,0	-1,5	9,7
S8	-1846	-15,5	-15,3	-2,6	5,1
S9	-1783	-15,0	-14,6	-3,5	-1,4
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C2


Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-1783	-15,0	-14,8	2,1	5,2
S2	-1846	-15,5	-15,4	2,0	9,8
S3	-1915	-16,1	-16,1	1,0	13,5
S4	-1904	-16,0	-16,0	0,0	14,4
S5	-1869	-15,7	-15,7	0,0	14,1
S6	-1904	-16,0	-16,0	0,0	14,4
S7	-1915	-16,1	-16,1	-1,0	13,5
S8	-1846	-15,5	-15,4	-2,0	9,8
S9	-1783	-15,0	-14,8	-2,1	5,2
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C3

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-1783	-15,0	-15,0	0,5	12,3
S2	-1846	-15,5	-15,5	0,5	13,5
S3	-1915	-16,1	-16,1	0,0	14,5
S4	-1904	-16,0	-16,0	0,0	14,4
S5	-1869	-15,7	-15,7	0,0	14,1
S6	-1904	-16,0	-16,0	0,0	14,4
S7	-1915	-16,1	-16,1	0,0	14,5
S8	-1846	-15,5	-15,5	-0,5	13,5
S9	-1783	-15,0	-15,0	-0,5	12,3
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

Resumo das solicitações devido às perdas de protensão e tensões nas fibras extremas do concreto

Seção	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$	$\sigma_s (tf/m^2)$	$\sigma_s' (tf/m^2)$	$\sigma_i (tf/m^2)$
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-44,3	6,1	16,0	-44,9	-18,9	-104,0
S2	-46,2	5,1	28,5	-35,1	11,1	-140,3
S3	-48,2	2,5	37,7	-28,7	32,6	-168,2
S4	-48,0	0,4	40,6	-25,7	40,3	-175,6
S5	-47,1	0,0	40,0	-25,0	40,0	-172,9
S6	-48,0	-0,4	40,6	-25,7	40,3	-175,6
S7	-48,2	-2,5	37,7	-28,7	32,6	-168,2
S8	-46,2	-5,1	28,5	-35,1	11,1	-140,3
S9	-44,3	-6,1	16,0	-44,9	-18,9	-104,0
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 222/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação das tensões elásticas no concreto nas diversas fases de carregamento

Serão verificadas as tensões nas fibras extremas do concreto para as seguintes fases de carregamento:

- Fase 1 = peso próprio da viga isolada + 1ª etapa de protensão
- Fase 2 = fase 1 + 2ª etapa de protensão
- Fase 3 = fase 2 + peso próprio da laje e transversinas
- Fase 4 = fase 3 + 3ª etapa de protensão
- Fase 5 = fase 4 + sobrecarga permanente
- Fase 6 = fase 5 + carga móvel
- Fase 7 = fase 5 + perdas de protensão
- Fase 8 = fase 7 + carga móvel

Tensões limites

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0 \qquad f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51 \qquad s = 0,38$$

- no instante da protensão

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctm,j} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,7 f_{ckj}$$

- na vida útil da obra

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctk,inf} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,6 f_{ck}$$

idade da 1ª protensão (dias) = 3

$$\beta_1 = 0,458 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 18,32 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,08$$

idade da 2ª protensão (dias) = 7

$$\beta_2 = 0,684 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 27,35 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,72$$

idade da 3ª protensão (dias) = 28


$$\beta_3 = 1,000 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 40,00 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,51$$

	tração (tf/m ²)	compressão (tf/m ²)
t = 3	-250,17	1282,36
t = 7	-326,83	1914,81
t = 28	-294,74	2400,00
t = ∞	-294,74	2400,00

Verificação do estado limite de compressão excessiva para a combinação rara de carregamentos (ELS-CE)

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m^2) para 110% da força de protensão

		g_1	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2
S0	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	98	138	236	0	236
	σ_i (tf/m^2)	-102	791	689	0	689
S2	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	173	-84	89	0	89
	σ_i (tf/m^2)	-179	1033	854	0	854
S3	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	226	-233	-7	0	-7
	σ_i (tf/m^2)	-234	1200	965	0	965
S4	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	258	-289	-32	0	-32
	σ_i (tf/m^2)	-268	1265	997	0	997
S5	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	268	-292	-24	0	-24
	σ_i (tf/m^2)	-279	1264	986	0	986
S6	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	258	-289	-32	0	-32
	σ_i (tf/m^2)	-268	1265	997	0	997
S7	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	226	-233	-7	0	-7
	σ_i (tf/m^2)	-234	1200	965	0	965
S8	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	173	-84	89	0	89
	σ_i (tf/m^2)	-179	1033	854	0	854
S9	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	98	138	236	0	236
	σ_i (tf/m^2)	-102	791	689	0	689
S10	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 224/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação do estado limite de formação de fissuras para a combinação frequente de carregamentos (ELS-F)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{G_i,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_1 = 0,5$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	98	125	224	0	224	71	295
	σ _i (tf/m ²)	-102	719	617	0	617	-74	543
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	173	-76	97	0	97	127	224
	σ _i (tf/m ²)	-179	939	760	0	760	-132	628
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	226	-212	14	0	14	167	181
	σ _i (tf/m ²)	-234	1091	856	0	856	-173	683
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	258	-263	-5	0	-5	190	185
	σ _i (tf/m ²)	-268	1150	882	0	882	-198	684
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	268	-265	3	0	3	198	201
	σ _i (tf/m ²)	-279	1149	871	0	871	-206	665
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	258	-263	-5	0	-5	190	185
	σ _i (tf/m ²)	-268	1150	882	0	882	-198	684
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	226	-212	14	0	14	167	181
	σ _i (tf/m ²)	-234	1091	856	0	856	-173	683
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	173	-76	97	0	97	127	224
	σ _i (tf/m ²)	-179	939	760	0	760	-132	628
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	98	125	224	0	224	71	295
	σ _i (tf/m ²)	-102	719	617	0	617	-74	543
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	20	20	50	70
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	295	14	309	34	343
	σ_i (tf/m ²)	0	543	-40	503	-100	403
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	35	35	70	106
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	224	24	248	48	297
	σ_i (tf/m ²)	0	628	-71	557	-141	416
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	47	47	92	138
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	181	32	213	63	276
	σ_i (tf/m ²)	0	683	-93	590	-183	406
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	53	53	105	158
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	185	37	222	72	294
	σ_i (tf/m ²)	0	684	-107	577	-210	367
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	55	55	109	165
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	201	38	240	75	315
	σ_i (tf/m ²)	0	665	-111	554	-219	334
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	53	53	105	158
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	185	37	222	72	294
	σ_i (tf/m ²)	0	684	-107	577	-210	367
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	47	47	92	138
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	181	32	213	63	276
	σ_i (tf/m ²)	0	683	-93	590	-183	406
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	35	35	70	106
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	224	24	248	48	297
	σ_i (tf/m ²)	0	628	-71	557	-141	416
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	20	20	50	70
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	295	14	309	34	343
	σ_i (tf/m ²)	0	543	-40	503	-100	403
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-45	-25	50	25
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-19	290	34	324
	σ_i (tf/m ²)	-104	399	-100	299
S2	σ_s (tf/m ²)	-35	0	70	71
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	11	259	48	308
	σ_i (tf/m ²)	-140	417	-141	276
S3	σ_s (tf/m ²)	-29	18	92	109
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	33	246	63	309
	σ_i (tf/m ²)	-168	422	-183	238
S4	σ_s (tf/m ²)	-26	28	105	132
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	40	262	72	334
	σ_i (tf/m ²)	-176	402	-210	192
S5	σ_s (tf/m ²)	-25	30	109	140
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	40	280	75	355
	σ_i (tf/m ²)	-173	381	-219	161
S6	σ_s (tf/m ²)	-26	28	105	132
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	40	262	72	334
	σ_i (tf/m ²)	-176	402	-210	192
S7	σ_s (tf/m ²)	-29	18	92	109
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	33	246	63	309
	σ_i (tf/m ²)	-168	422	-183	238
S8	σ_s (tf/m ²)	-35	0	70	71
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	11	259	48	308
	σ_i (tf/m ²)	-140	417	-141	276
S9	σ_s (tf/m ²)	-45	-25	50	25
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-19	290	34	324
	σ_i (tf/m ²)	-104	399	-100	299
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	227/500

Verificação do estado limite de descompressão para a combinação quase permanente de carregamentos (ELS-D)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_2 = 0,3$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	98	125	224	0	224	71	295
	σ _i (tf/m ²)	-102	719	617	0	617	-74	543
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	173	-76	97	0	97	127	224
	σ _i (tf/m ²)	-179	939	760	0	760	-132	628
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	226	-212	14	0	14	167	181
	σ _i (tf/m ²)	-234	1091	856	0	856	-173	683
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	258	-263	-5	0	-5	190	185
	σ _i (tf/m ²)	-268	1150	882	0	882	-198	684
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	268	-265	3	0	3	198	201
	σ _i (tf/m ²)	-279	1149	871	0	871	-206	665
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	258	-263	-5	0	-5	190	185
	σ _i (tf/m ²)	-268	1150	882	0	882	-198	684
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	226	-212	14	0	14	167	181
	σ _i (tf/m ²)	-234	1091	856	0	856	-173	683
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	173	-76	97	0	97	127	224
	σ _i (tf/m ²)	-179	939	760	0	760	-132	628
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	98	125	224	0	224	71	295
	σ _i (tf/m ²)	-102	719	617	0	617	-74	543
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	20	20	30	50
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	295	14	309	21	330
	σ_i (tf/m ²)	0	543	-40	503	-60	443
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	35	35	42	78
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	224	24	248	29	277
	σ_i (tf/m ²)	0	628	-71	557	-85	472
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	47	47	55	101
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	181	32	213	38	251
	σ_i (tf/m ²)	0	683	-93	590	-110	480
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	53	53	63	116
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	185	37	222	43	265
	σ_i (tf/m ²)	0	684	-107	577	-126	451
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	55	55	66	121
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	201	38	240	45	285
	σ_i (tf/m ²)	0	665	-111	554	-132	422
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	53	53	63	116
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	185	37	222	43	265
	σ_i (tf/m ²)	0	684	-107	577	-126	451
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	47	47	55	101
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	181	32	213	38	251
	σ_i (tf/m ²)	0	683	-93	590	-110	480
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	35	35	42	78
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	224	24	248	29	277
	σ_i (tf/m ²)	0	628	-71	557	-85	472
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	20	20	30	50
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	295	14	309	21	330
	σ_i (tf/m ²)	0	543	-40	503	-60	443
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-45	-25	30	5
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-19	290	21	311
	σ_i (tf/m ²)	-104	399	-60	339
S2	σ_s (tf/m ²)	-35	0	42	43
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	11	259	29	288
	σ_i (tf/m ²)	-140	417	-85	332
S3	σ_s (tf/m ²)	-29	18	55	73
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	33	246	38	283
	σ_i (tf/m ²)	-168	422	-110	311
S4	σ_s (tf/m ²)	-26	28	63	90
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	40	262	43	305
	σ_i (tf/m ²)	-176	402	-126	276
S5	σ_s (tf/m ²)	-25	30	66	96
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	40	280	45	325
	σ_i (tf/m ²)	-173	381	-132	249
S6	σ_s (tf/m ²)	-26	28	63	90
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	40	262	43	305
	σ_i (tf/m ²)	-176	402	-126	276
S7	σ_s (tf/m ²)	-29	18	55	73
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	33	246	38	283
	σ_i (tf/m ²)	-168	422	-110	311
S8	σ_s (tf/m ²)	-35	0	42	43
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	11	259	29	288
	σ_i (tf/m ²)	-140	417	-85	332
S9	σ_s (tf/m ²)	-45	-25	30	5
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-19	290	21	311
	σ_i (tf/m ²)	-104	399	-60	339
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 230/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do cisalhamento - $t = \infty$

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,K} = V_{p}^{prot}$ em tempo $t = \infty$

Seção	$V_{g1,k}$ (tf)	$V_{g2,k}$ (tf)	$V_{g3,k}$ (tf)	$V_{p,k}$ (tf)	$V_{q,max,k}$ (tf)	$V_{q,min,k}$ (tf)	V_k^{max} (tf)	V_k^{min} (tf)
S0	21,20	14,41	10,67	0,00	53,39	0,00	99,67	46,28
S1	15,42	11,53	8,54	-35,56	45,63	-1,59	45,56	-1,66
S2	11,57	8,64	6,40	-28,96	30,69	-4,00	28,35	-6,35
S3	7,71	5,76	4,27	-13,90	25,27	-7,47	29,11	-3,63
S4	3,86	2,88	2,13	-2,36	20,23	-11,34	26,74	-4,83
S5	0,00	0,00	0,00	0,00	15,59	-15,59	15,59	-15,59
S6	-3,86	-2,88	-2,13	2,36	11,34	-20,23	4,83	-26,74
S7	-7,71	-5,76	-4,27	13,90	7,47	-25,27	3,63	-29,11
S8	-11,57	-8,64	-6,40	28,96	4,00	-30,69	6,35	-28,35
S9	-15,42	-11,53	-8,54	35,56	1,59	-45,63	1,66	-45,56
S10	-21,20	-14,41	-10,67	0,00	0,00	-53,39	-46,28	-99,67

Verificação do concreto

$$\phi^{bainha} \text{ (m)} = 0,075$$

$$n_{bainhas \text{ alinhadas na alma}} = 1$$


$$V_{sd} = 1,35 \times V_g + \left\{ \begin{matrix} 1,2 \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \times V_p + 1,5 \times V_q$$

$$V_{rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b_{w,nom} \times d$$

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \text{ (fck em MPa)}$$

Seção	V_{sd} (tf)	b_w (m)	H (m)	$\Sigma \Phi/2$ (m)	b_w^{nom} (m)	d (m)	V_{rd2} (tf)
S0	142,6	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2
S1	84,4	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S2	55,9	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S3	49,3	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S4	40,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S5	23,4	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S6	40,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S7	49,3	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S8	55,9	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S9	84,4	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S10	142,6	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 231/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Parcela do esforço cortante absorvida pelos mecanismos complementares à treliça

$$M_{sdu} = 1,35 \times M_g + 1,5 \times M_q$$

Seção	M _{g1,k}	M _{g2,k}	M _{g3,k}	M _{q máx,k}	M _{q mín,k}	M _{sdu} (tf.m)
S0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
S1	37,64	27,36	20,27	100,91	0,00	266,5
S2	66,12	48,64	36,04	142,69	0,00	417,6
S3	86,46	63,84	47,30	185,87	0,00	545,6
S4	98,66	72,96	54,06	212,78	0,00	623,8
S5	102,73	76,00	56,31	222,17	0,00	650,6
S6	98,66	72,96	54,06	212,78	0,00	623,8
S7	86,46	63,84	47,30	185,87	0,00	545,6
S8	66,12	48,64	36,04	142,69	0,00	417,6
S9	37,64	27,36	20,27	100,91	0,00	266,5
S10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

$$V_c = V_{c0} \times (1 + M_0 / M_{sd,m\acute{a}x}) \leq 2 \times V_{c0}$$

$$M_0 = 0,90 \times (\sigma_p^{prot.} \times W)$$

$$V_{c0} = 0,60 \cdot f_{ctd} \cdot bw \cdot d$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,70 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}}$$

com fck em MPa

Seção	$\sigma_p^{prot.}$ (tf/m ²)	W _i (m ³)	M ₀ (tf.m)	1+ Mo/Msd,máx
S0	0	0,736	0,00	1,00
S1	615	0,507	280,34	2,05
S2	799	0,507	364,28	1,87
S3	923	0,507	420,59	1,77
S4	974	0,507	444,05	1,71
S5	977	0,507	445,21	1,68
S6	974	0,507	444,05	1,71
S7	923	0,507	420,59	1,77
S8	799	0,507	364,28	1,87
S9	615	0,507	280,34	2,05
S10	0	0,736	0,00	1,00

Seção	b_w^{nom} (m)	d (m)	Vc0 (tf)	2 * Vc0 (tf)	Vc (tf)
S0	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5
S1	0,183	1,784	34,3	68,5	68,5
S2	0,183	1,784	34,3	68,5	64,2
S3	0,183	1,784	34,3	68,5	60,7
S4	0,183	1,784	34,3	68,5	58,7
S5	0,183	1,784	34,3	68,5	57,7
S6	0,183	1,784	34,3	68,5	58,7
S7	0,183	1,784	34,3	68,5	60,7
S8	0,183	1,784	34,3	68,5	64,2
S9	0,183	1,784	34,3	68,5	68,5
S10	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

Seção	Vsd (tf)	Vc (tf)	V _{swd} (tf)
S0	142,6	131,5	11,11
S1	84,4	68,5	15,81
S2	55,9	64,2	0,00
S3	49,3	60,7	0,00
S4	40,2	58,7	0,00
S5	23,4	57,7	0,00
S6	40,2	58,7	0,00
S7	49,3	60,7	0,00
S8	55,9	64,2	0,00
S9	84,4	68,5	15,81
S10	142,6	131,5	11,11

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal

$$V_{swd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{swd} / (0,90 \times d \times f_{ywd})$$

$$\rho_{sw} = (A_{sw} / s) \times (1 / b_w) \geq 0,20 \times f_{ctm} / f_{ywk}$$

$$f_{ywk} = f_{yk}$$

Seção	b_w (m)	V _{swd} (tf)	A_{sw}/s (cm ² /m)	ρ_{sw} (cm ² /m ²)	ρ_{sw}^{min} (cm ² /m ²)
S0	0,70	11,1	1,59	2,27	14,04
S1	0,22	15,8	2,26	10,29	14,04
S2	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S3	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S4	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S5	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S6	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S7	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S8	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S9	0,22	15,8	2,26	10,29	14,04
S10	0,70	11,1	1,59	2,27	14,04

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\psi_{fad} = 0,50$$

$$\Delta\sigma_{sw} = \sigma_{sw}^{m\acute{a}x} - \sigma_{sw}^{m\acute{i}n} \quad \sigma_{sw}^{m\acute{a}x/m\acute{i}n} = \frac{V_{m\acute{a}x/m\acute{i}n} - V_c/2}{b_w \times d \times \rho_{sw}}$$

$$f \cdot f \cdot = \frac{\Delta\sigma_{sw}}{\Delta f_{sd}} \quad \Delta f_{sd}^{fad} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 850$$

Seção	V _{máx} (tf)	V _{mín} (tf)	V _c /2 (tf)	$\sigma_{sw}^{m\acute{a}x}$ (tf/cm ²)	$\sigma_{sw}^{m\acute{i}n}$ (tf/cm ²)	$\Delta\sigma_{sw}$ (tf/cm ²)	f.f.	ρ_{sw} (cm ² /m ²)
S0	72,98	46,28	65,7	0,41	0,00	0,41	1,00	2,27
S1	22,74	-0,86	34,3	0,00	0,00	0,00	1,00	10,29
S2	13,00	-4,34	32,1	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S3	16,48	0,11	30,3	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S4	16,63	0,84	29,3	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S5	7,80	-7,80	28,9	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S6	-0,84	-16,63	29,3	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S7	-0,11	-16,48	30,3	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S8	4,34	-13,00	32,1	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S9	0,86	-22,74	34,3	0,00	0,00	0,00	1,00	10,29
S10	-46,28	-72,98	65,7	0,00	0,41	0,41	1,00	2,27

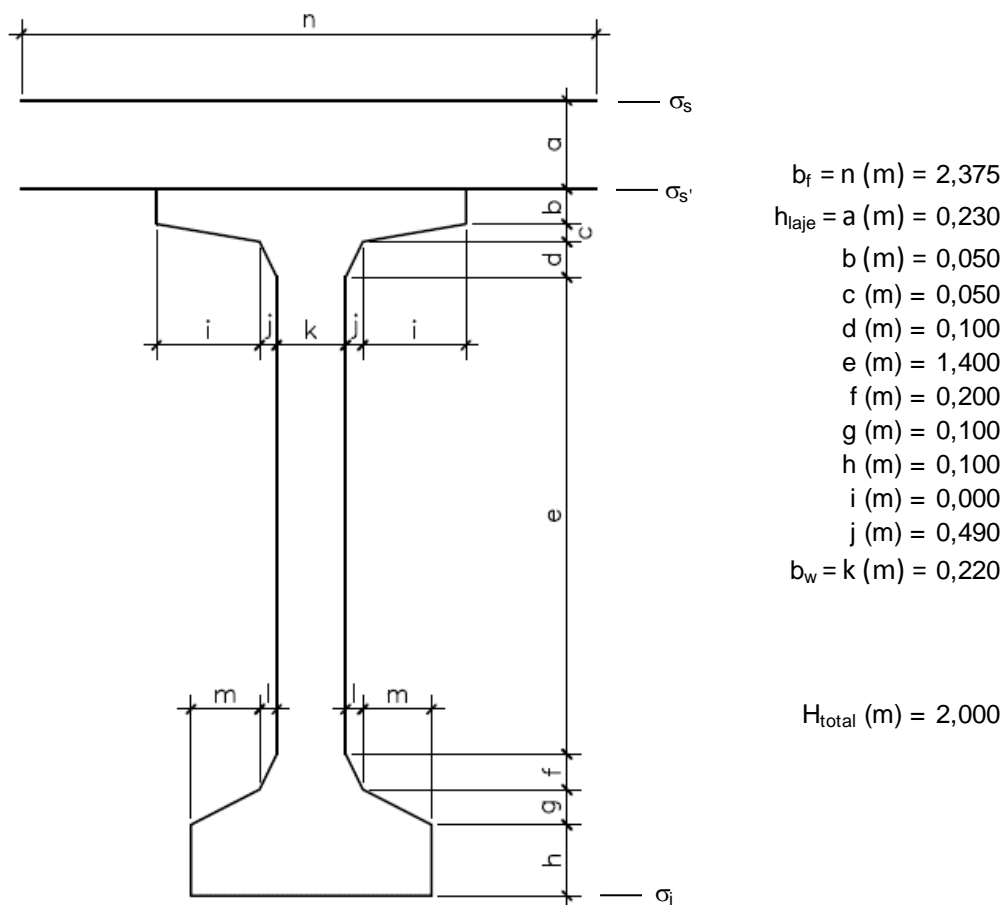
Determinação dos estribos e seus espaçamentos

$$s = (n \times A_s^{1perna}) / (\rho_{sw} \times ff \times b_w^{medio})$$

Seção	b _w (m)	ρ_{wu} (cm ² /m ²)	ρ_{wu} (Méd/Mín)	n	Φ (mm)	A _s ^{1perna}	S _{calculado} (cm)	S _{adotado} (cm)
S0	0,70	2,27						
			14,04	2	10,0	0,79	24,3	22,5
S1	0,22	10,29						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S2	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S3	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S4	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S5	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S6	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S7	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S8	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S9	0,22	10,29						
			14,04	2	10,0	0,79	24,3	22,5
S10	0,70	2,27						

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à ruptura)

Seção S₅



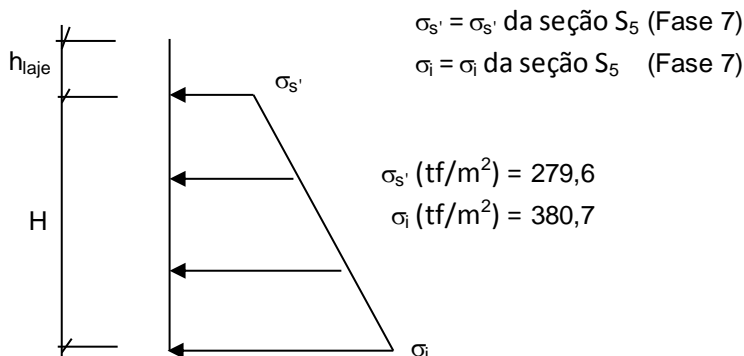
Materiais:

Concreto laje $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$ $E_{cs, laje} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Concreto viga $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$ $E_{cs, viga} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Aço: CP-190 RB $E_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

	$\sigma_{sp}^{t=\infty}$ (kgf/cm ²)
C1	10.780
C2	10.592
C3	10.322
C4	0
C5	0
C6	0
C7	0
C8	0
C9	0

Solicitações atuantes na seção S₅

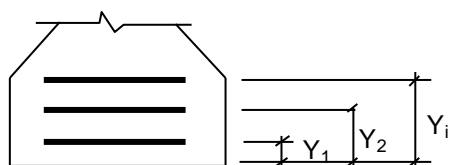
$$M_{g1} \text{ (tf.m)} = 102,7$$

$$M_q \text{ (tf.m)} = 222,2$$

$$M_{g2} \text{ (tf.m)} = 76,0$$

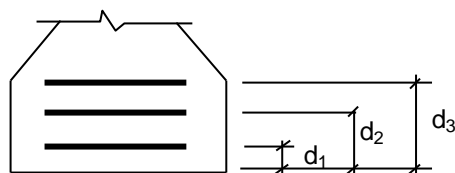
$$M_{g3} \text{ (tf.m)} = 56,3$$

Cálculo do C.G. da armadura de protensão



	y (m)
C1	0,270
C2	0,120
C3	0,120
C4	
C5	
C6	
C7	
C8	
C9	

Cálculo do C.G. da armadura passiva complementar



1ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 6$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_1 \text{ (m)} = 0,060$$

$$\text{C.G. (cm)} = 0,060$$

2ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_2 \text{ (m)} = 0,100$$

3ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

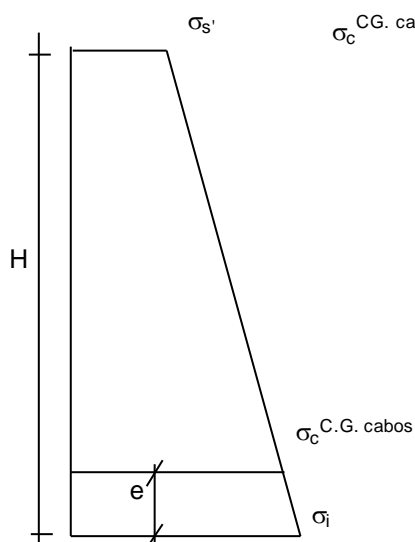
$$d_3 \text{ (m)} = 0,150$$

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=00} / E_{sp}$$

	$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}}$
C1	0,0054
C2	0,0053
C3	0,0052
C4	0,0000
C5	0,0000
C6	0,0000
C7	0,0000
C8	0,0000
C9	0,0000

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



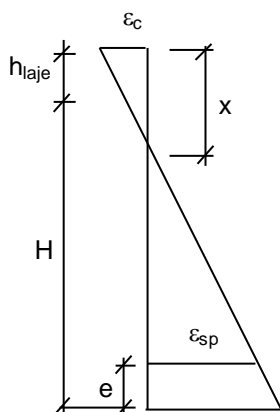
$$\sigma_c^{\text{C.G. cabos}} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma_s') / H] + \sigma_s'$$

$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{\text{C.G. cabos}} / E_{cs}$$

	y (m)	σ_c (tf/m ²)	$\epsilon_{sp}^{\text{descomp}}$
C1	0,270	367,0	0,00012
C2	0,120	374,6	0,00012
C3	0,120	374,6	0,00012
C4	0,000	0,0	0,00000
C5	0,000	0,0	0,00000
C6	0,000	0,0	0,00000
C7	0,000	0,0	0,00000
C8	0,000	0,0	0,00000
C9	0,000	0,0	0,00000

Equilíbrio da seção:

Deformada admitida para a seção S₅



$$\epsilon_c (\text{‰}) = 0,945$$

$$\epsilon_{sp} (\text{‰}) = 10,000$$

$$x = [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0,182$$

Cálculo da resultante de compressão

Lamela	y_{1i} (m)	y_{2i} (m)	B1 (m)	B2 (m)	ε_{ci} (‰)	σ_{cd} (tf/m ²)	F_i (tf)
1	0,000	0,036	2,375	2,375	0,85	1627	140,8
2	0,036	0,073	2,375	2,375	0,66	1341	116,1
3	0,073	0,109	2,375	2,375	0,47	1012	87,6
4	0,109	0,146	2,375	2,375	0,28	640	55,4
5	0,146	0,182	2,375	2,375	0,09	224	19,4
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 419,4$$

$$C.G._{cc} \text{ (m)} = 0,065$$

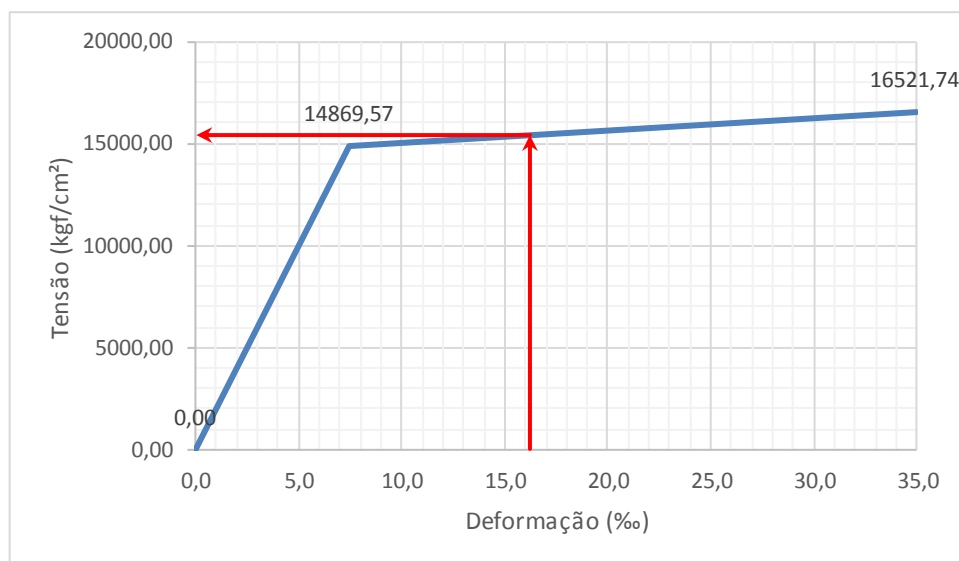
Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

	y (m)	ϵ_{sp} (‰)	ϵ_{sp}^{total} (‰)
C1	0,270	10,75	16,260
C2	0,120	10,00	15,414
C3	0,120	10,00	15,278
C4	0,000	0,00	0,000
C5	0,000	0,00	0,000
C6	0,000	0,00	0,000
C7	0,000	0,00	0,000
C8	0,000	0,00	0,000
C9	0,000	0,00	0,000

Do diagrama tensão-deformação preconizado na NBR 6118, tem-se

$$f_{pyd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.869,6 \quad f_{ptd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 16.521,7$$



$$R_{st,CP} = A_{sp} \times \sigma_{sp}$$

	σ_{sp} (kgf/cm ²)	A_{sp} (cm ²)	$R_{st,CP-190}$ (tf)
C1	15.398	8,40	129,35
C2	15.348	8,40	128,92
C3	15.340	8,40	128,85
C4	0	0,00	0,00
C5	0	0,00	0,00
C6	0	0,00	0,00
C7	0	0,00	0,00
C8	0	0,00	0,00
C9	0	0,00	0,00
$R_{st,CP}$ (tf) =			387,12

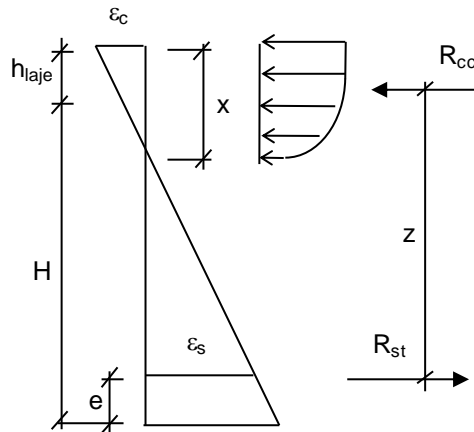
$$A_s^{CA-50} (cm^2) = 7,363$$

$$R_{st,CA-50} = A_s^{CA-50} \times \sigma_s$$

$$R_{st,CA-50} (tf) = 32,0$$

$$R_{st} = R_{st,CP} + R_{st,CA-50}$$

$$R_{st} (tf) = 419,1$$



	z (m)
C1	1,895
C2	2,045
C3	2,045
C4	0,000
C5	0,000
C6	0,000
C7	0,000
C8	0,000
C9	0,000
CA-50	2,105

$$z = H + h_{laje} - C.G._{cc} - e$$

$$M_i = R_{st,i} * z_i$$

$$z = \sum M_i / R_{st}$$

$$z (m) = 2,004$$

Assim temos:


$$M_u = R_{st} * z \quad M_u (tf.m) = 840$$

$$M_d = 1,35 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,5 * (M_q) + \Delta F_{sd} * z$$

$$\Delta F_{sd} (tf) = 0,00$$

$$M_d (tf.m) = 651$$

$$\text{Então: } M_u / M_d = 1,29 > 1,00 \text{ (Atende)}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 240/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

5.5 VIGAS DE 30,30m (VIGA EXTERNA À CURVA DO VÃO ENTRE EIXOS 02A E 03A – RAMO 2000)

Características geométricas das seções

As características das seções serão calculadas considerando contribuição das armaduras passivas principais (superior e inferior), além das armaduras ativas.

As características das seções do conjunto viga+laje serão calculadas considerando a relação entre os módulos de elasticidade do concreto da viga e da laje, n .

$$f_{ck,viga} \text{ (MPa)} = 40 \quad f_{ck,laje} \text{ (MPa)} = 40 \quad \text{tipo de agregado considerado: granito ou gnaiss}$$

$$E_{CS,viga} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad E_{CS,laje} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad n = 1,00$$

$$E_s \text{ (MPa)} = 200.000 \quad \alpha = 6,27$$

Viga Isolada

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,700	0,050	1,900	1,850	0,048	1,877	0,089	0,167	0,000
4	0,700	0,700	1,450	1,850	0,400	1,015	1,125	1,142	1,285	0,178
5	0,700	0,700	0,200	0,400	0,200	0,140	0,300	0,042	0,013	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{array}{llll}
A \text{ (m}^2\text{)} = 1,463 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 2,101 & V_s \text{ (m)} = - & w_s \text{ (m}^3\text{)} = - \\
H \text{ (m)} = 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,519 & V_s' \text{ (m)} = 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,541 \\
A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00 & V_i \text{ (m)} = 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,499 \\
Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000 & &
\end{array}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A_s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{array}{lll}
A \text{ (m}^2\text{)} = 1,463 & V_s \text{ (m)} = - & w_s \text{ (m}^3\text{)} = - \\
H \text{ (m)} = 2,000 & V_s' \text{ (m)} = 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,541 \\
I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,519 & V_i \text{ (m)} = 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,499
\end{array}$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A _s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

[illegible]

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S3

[illegible]

$$Y_{As.inf} (m) = 0,000$$

[illegible]

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S4

[illegible]

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Conjunto viga + laje

$$\begin{aligned}
 h_{laje} \text{ (m)} &= 0,23 & \text{intereixo de vigas (m)} &= 2,500
 \end{aligned}$$

Vigas centrais

Seção S0

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 2,038$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,887$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,126$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,657$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,521$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,999$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,343$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,743$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,306$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,728$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,050$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,498$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,535$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,765$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,502$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,509$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,306$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,765$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,728$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,498$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,502$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,050$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,535$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,509$$

Seção S3

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,306$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,765$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,728$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,498$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,502$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,050$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,535$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,509$$

Seção S4

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,306$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,765$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,728$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,498$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,502$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,050$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,535$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,509$$

Seção S5

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,306$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,765$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,728$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,498$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,502$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,050$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,535$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,509$$

Vigas de bordo

Seção S0

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	3,300	3,300	0,100	0,230	0,130	0,330	0,180	0,059	0,011	0,000
2	3,300	3,300	0,130	0,130	0,000	0,429	0,065	0,028	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,759$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,013$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 2,222$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 1,100$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,823$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,593$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,407$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,337$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,856$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,782$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	3,300	3,300	0,100	0,230	0,130	0,330	0,180	0,059	0,011	0,000
2	3,300	3,300	0,130	0,130	0,000	0,429	0,065	0,028	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,759$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,013$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,490$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,826$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,653$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,423$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,577$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,266$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,955$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,524$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	3,300	3,300	0,100	0,230	0,130	0,330	0,180	0,059	0,011	0,000
2	3,300	3,300	0,130	0,130	0,000	0,429	0,065	0,028	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,759$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,013$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,490$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,826$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,653$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,423$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,577$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,266$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,955$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,524$$

Seção S3

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	3,300	3,300	0,100	0,230	0,130	0,330	0,180	0,059	0,011	0,000
2	3,300	3,300	0,130	0,130	0,000	0,429	0,065	0,028	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,759$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,013$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,490$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,826$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,653$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,423$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,577$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,266$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,955$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,524$$

Seção S4

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	3,300	3,300	0,100	0,230	0,130	0,330	0,180	0,059	0,011	0,000
2	3,300	3,300	0,130	0,130	0,000	0,429	0,065	0,028	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,759$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,013$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,490$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,826$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,653$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,423$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,577$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,266$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,955$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,524$$

Seção S5

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	3,300	3,300	0,100	0,230	0,130	0,330	0,180	0,059	0,011	0,000
2	3,300	3,300	0,130	0,130	0,000	0,429	0,065	0,028	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,759$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,013$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,490$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,826$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,653$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,423$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,577$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,266$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,955$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,524$$

Resumo das características das seções

Viga isolada

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	1,463	0,519	-	0,960	1,040	-	0,541	0,499
S1	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S2	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S3	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S4	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S5	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369

Conjunto viga+laje

Vigas centrais

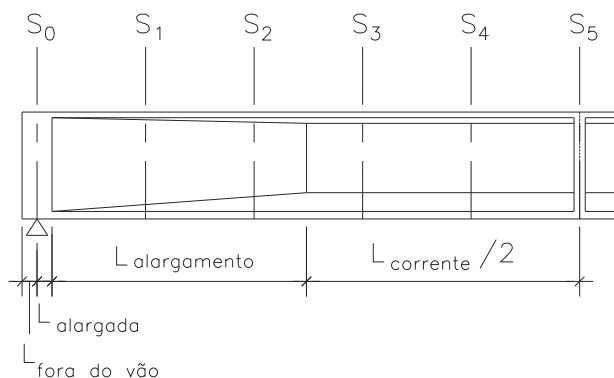
	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,038	0,999	0,887	0,657	1,343	1,126	1,521	0,743
S1	1,306	0,765	0,728	0,498	1,502	1,050	1,535	0,509
S2	1,306	0,765	0,728	0,498	1,502	1,050	1,535	0,509
S3	1,306	0,765	0,728	0,498	1,502	1,050	1,535	0,509
S4	1,306	0,765	0,728	0,498	1,502	1,050	1,535	0,509
S5	1,306	0,765	0,728	0,498	1,502	1,050	1,535	0,509

Vigas de bordo

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,222	1,100	0,823	0,593	1,407	1,337	1,856	0,782
S1	1,490	0,826	0,653	0,423	1,577	1,266	1,955	0,524
S2	1,490	0,826	0,653	0,423	1,577	1,266	1,955	0,524
S3	1,490	0,826	0,653	0,423	1,577	1,266	1,955	0,524
S4	1,490	0,826	0,653	0,423	1,577	1,266	1,955	0,524
S5	1,490	0,826	0,653	0,423	1,577	1,266	1,955	0,524

Cargas permanentes

Peso próprio da viga



$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 29,70$$

$$\Delta S \text{ (m)} = 2,970$$

$$\gamma_{\text{concreto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,50$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$g_{\text{fora do vão}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$L_{\text{alargada}} \text{ (m)} = 0,900$$

$$g_{\text{alargada}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$L_{\text{alargamento}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$g_{\text{corrente}} \text{ (tf/m)} = 1,828$$

$$L_{\text{corrente}} \text{ (m)} = 27,300$$

$$n_{\text{septos de vão}} = 1$$

$$X_{\text{septo de vão 1}} \text{ (m)} = -$$

$$X_{\text{septo de vão 2}} \text{ (m)} = -$$

$$e_{\text{septos de vão}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$R_{g1} \text{ (tf)} = 30,16$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	29,1	0,0	-	0,0	0,0
S1	21,7	73,6	-	192,0	-199,5
S2	16,3	130,0	-	339,3	-352,6
S3	10,9	170,3	-	444,5	-461,9
S4	5,4	194,5	-	507,7	-527,4
S5	0,0	202,5	-	528,7	-549,3

Diagrama de Cortante (tf)

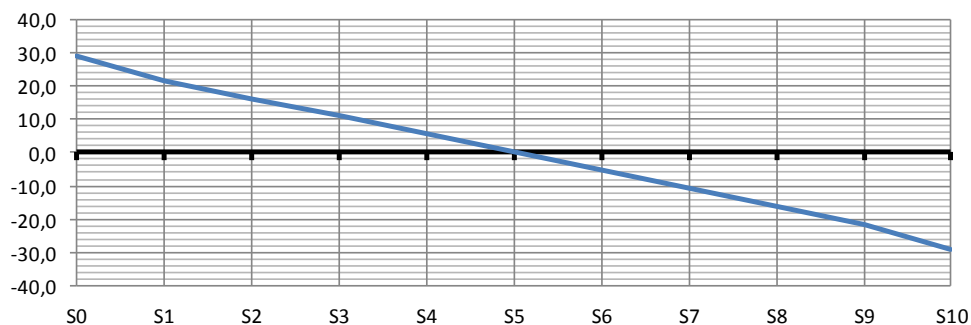
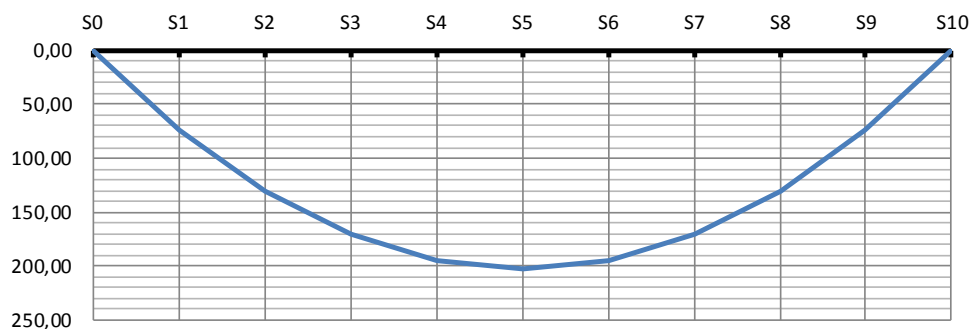


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Peso próprio da laje e transversinas

Vigas centrais

$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$

$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,438$

$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 1,000$

$R_{g2} \text{ (tf)} = 23,86$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	21,35	0,00	-	0,0	0,0
S1	17,08	57,06	-	149,0	-154,8
S2	12,81	101,44	-	264,8	-275,1
S3	8,54	133,14	-	347,6	-361,1
S4	4,27	152,16	-	397,2	-412,7
S5	0,00	158,50	-	413,8	-429,9

Diagrama de Cortante (tf)

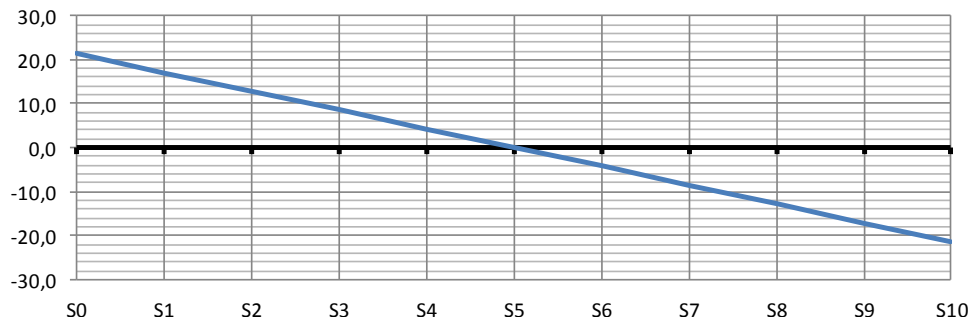
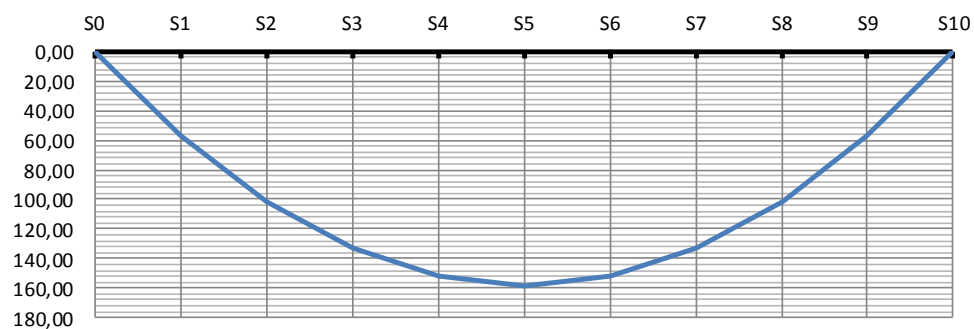


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,898$$

$$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$$

$$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 0,500$$

$$R_{g2} \text{ (tf)} = 30,67$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	28,18	0,00	-	0,0	0,0
S1	22,54	75,32	-	196,6	-204,3
S2	16,91	133,90	-	349,5	-363,2
S3	11,27	175,75	-	458,8	-476,6
S4	5,64	200,85	-	524,3	-544,7
S5	0,00	209,22	-	546,2	-567,4

Diagrama de Cortante (tf)

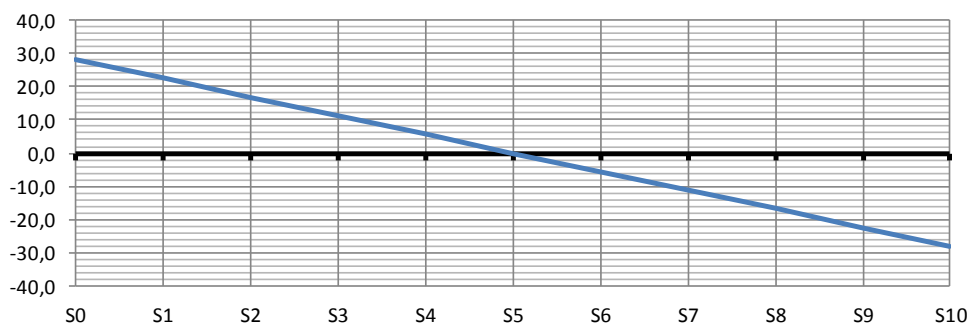
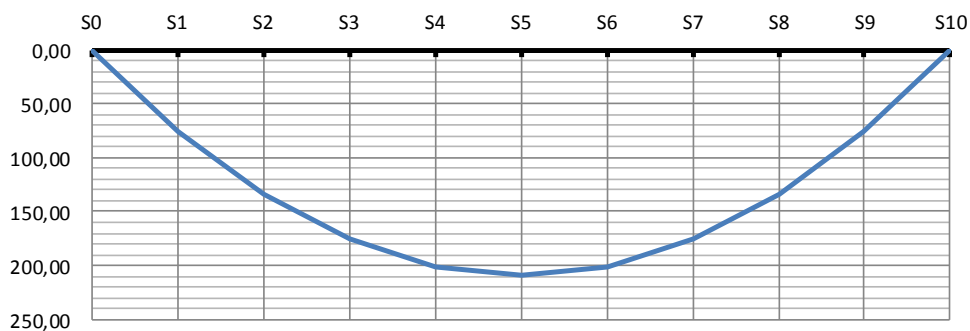


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Sobrecarga Permanente Rodoviária

Vigas centrais

$$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 2,500$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0,420$$

$$R_{g3} \text{ (tf)} = 6,68$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	6,24	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	4,99	16,67	15,9	10,9	-32,7
S2	3,74	29,64	28,2	19,3	-58,2
S3	2,49	38,90	37,0	25,3	-76,4
S4	1,25	44,46	42,3	29,0	-87,3
S5	0,00	46,31	44,1	30,2	-90,9

Diagrama de Cortante (tf)

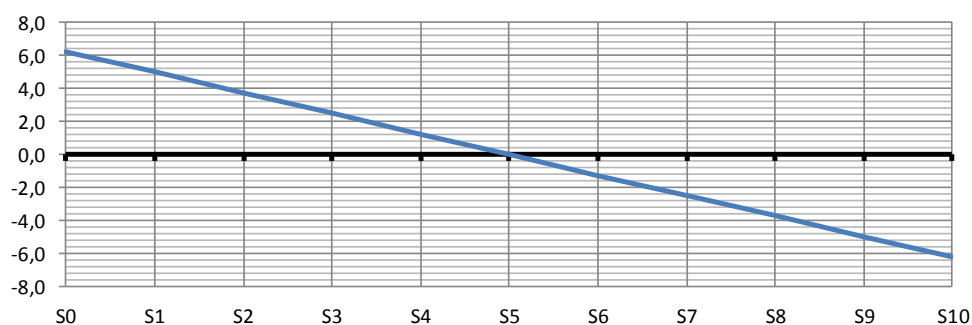
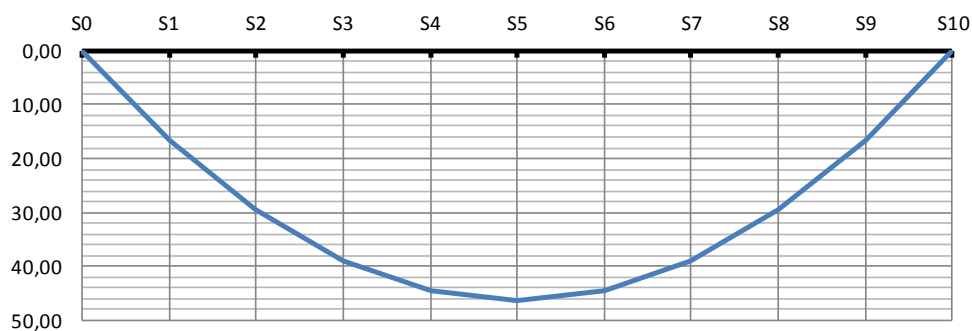


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$$

$$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$$

$$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 2,900$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

$$h_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,10$$

$$b_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,40$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$g_{\text{guarda-rodas}} \text{ (tf/m)} = 0,580$$

$$g_{\text{guarda corpo}} \text{ (tf/m)} = 0,000$$

$$g_{\text{passeio}} \text{ (tf/m)} = 0,000$$

$$g_{\text{pingadeiras}} \text{ (tf/m)} = 0,100$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 1,167$$

$$R_{g_3} \text{ (tf)} = 18,56$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	17,33	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	13,87	46,33	36,6	23,7	-88,4
S2	10,40	82,37	65,1	42,1	-157,2
S3	6,93	108,11	85,4	55,3	-206,4
S4	3,47	123,55	97,6	63,2	-235,8
S5	0,00	128,70	101,6	65,8	-245,7

Diagrama de Cortante (tf)

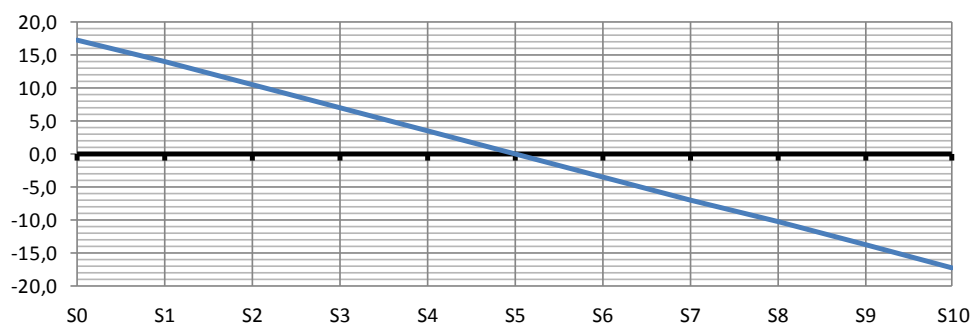
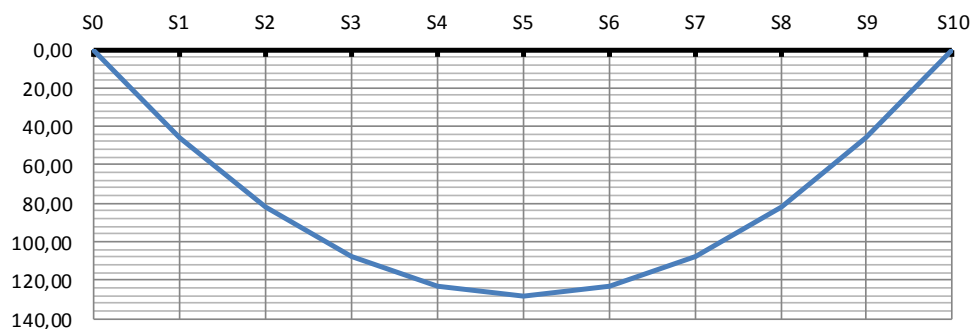


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)




Carga móvel rodoviária

$$L_{\text{transv}} \text{ (m)} = 14,10$$

$$n_{\text{vigas}} = 5$$

	X_i (m)	X_i^2	R_{V1}	R_{V2}	R_{V3}	R_{V4}	R_{V5}	R_{V6}
V1	5,00	25,00	0,600	0,400	0,200	0,000	-0,200	-
V2	2,50	6,25	0,400	0,300	0,200	0,100	0,000	-
V3	0,00	0,00	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	-
V4	-2,50	6,25	0,000	0,100	0,200	0,300	0,400	-
V5	-5,00	25,00	-0,200	0,000	0,200	0,400	0,600	-
V6	-	-	-	-	-	-	-	-
	ΣX_i^2	62,500						

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 255/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 29,70$$

$$P \text{ (tf/roda)} = 6,000$$

$$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,500$$

$$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$$

Coefficiente de impacto vertical (CIV)

$$CIV = 1,35 \text{ para vãos menores que } 10\text{m}$$

$$CIV = 1 + 1,06 \left(\frac{20}{L + 50} \right) \text{ para vãos maiores que } 10\text{m}$$

$$CIV = 1,27$$

Coefficiente do número de faixas (CNF)

$$CNF = 1 - 0,05(n - 2) > 0,9$$

$$n_{\text{faixas}} = 2$$

$$CNF = 1,00$$

Coefficiente de impacto adicional (CIA)

$$CIA = 1,25 \text{ para obras em concreto ou mistas}$$

$$CIA = 1,15 \text{ para obras em aço}$$

$$CIA = 1,25$$

Aplicado apenas nas seções a uma distância normal à junta inferior a 5m.

Trem-tipo para V1 (viga de bordo)

$$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$$

$$i = 0,080$$

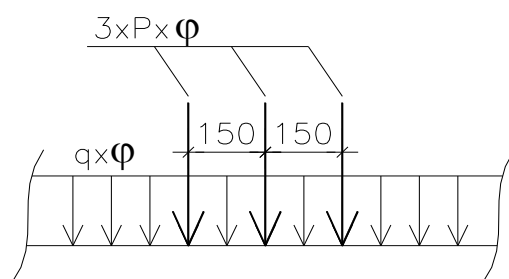
$$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$$

$$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 9,150$$

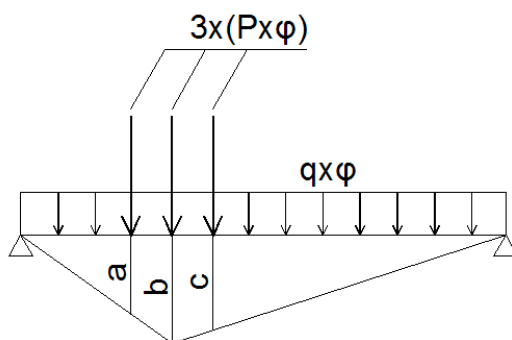
	X (m)	Y
a	7,050	0,764
b	7,050	0,764
c	6,650	0,732
d	6,150	0,692
e	4,150	0,532
f	-2,500	0,000
g	-5,550	-0,244
h	-5,950	-0,276
i	-5,950	-0,276

$$\begin{aligned} P \text{ (tf/eixo)} &= 7,344 && \text{(sem impacto)} \\ q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 1,674 && \text{(sem impacto)} \\ q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ (tf/eixo)} &= 9,297 && \text{(com CIV e CNF)} \\ q_{\text{total}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 2,120 && \text{(com CIV e CNF)} \end{aligned}$$

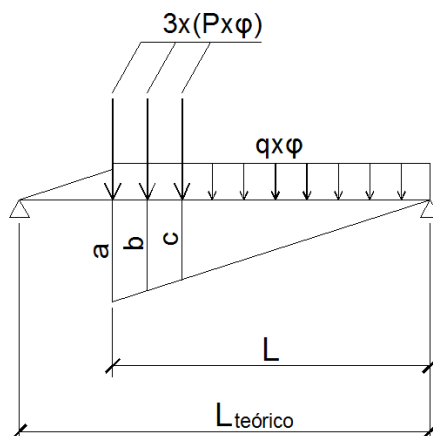


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	2,97	2,373	2,673	2,523	193,15
S2	5,94	4,152	4,752	4,452	273,77
S3	8,91	5,337	6,237	5,787	357,75
S4	11,88	6,228	7,128	6,528	409,26
S5	14,85	6,675	7,425	6,675	426,89
S6	17,82	6,228	7,128	6,528	409,26
S7	20,79	5,337	6,237	5,787	357,75
S8	23,76	4,152	4,752	4,452	273,77
S9	26,73	2,373	2,673	2,523	193,15
S10	29,70	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	29,70	1,000	0,949	0,899	72,45
S1	2,97	26,73	0,900	0,849	0,799	61,49
S2	5,94	23,76	0,800	0,749	0,699	41,05
S3	8,91	20,79	0,700	0,649	0,599	33,54
S4	11,88	17,82	0,600	0,549	0,499	26,66
S5	14,85	14,85	0,500	0,449	0,399	20,41
S6	17,82	11,88	0,400	0,349	0,299	14,79
S7	20,79	8,91	0,300	0,249	0,199	9,79
S8	23,76	5,94	0,200	0,149	0,099	5,43
S9	26,73	2,97	0,100	0,049	0,000	2,13
S10	29,70	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V1

	V _{C.M.} (tf)	M _{C.M.} (tf.m)	σ _s (tf/m ²)	σ _s ' (tf/m ²)	σ _i (tf/m ²)
S0	72,45	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	61,49	193,15	152,6	98,8	-368,7
S2	41,05	273,77	216,2	140,0	-522,6
S3	33,54	357,75	282,6	183,0	-682,9
S4	26,66	409,26	323,2	209,3	-781,2
S5	20,41	426,89	337,2	218,4	-814,9
S6	14,79	409,26	323,2	209,3	-781,2
S7	9,79	357,75	282,6	183,0	-682,9
S8	5,43	273,77	216,2	140,0	-522,6
S9	2,13	193,15	152,6	98,8	-368,7
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Trem-tipo para V2 (viga central)

$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$

$i = 0,040$

$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$

$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 11,650$

	X (m)	Y
a	7,050	0,482
b	7,050	0,482
c	6,650	0,466
d	6,150	0,446
e	4,150	0,366
f	-5,000	0,000
g	-5,550	-0,022
h	-5,950	-0,038
i	-5,950	-0,038

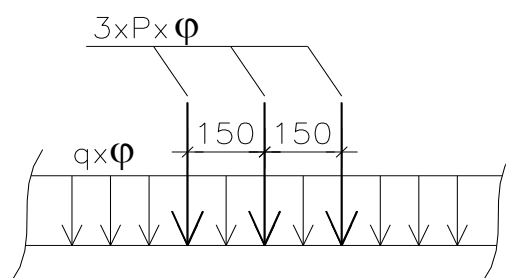
$P \text{ (tf/eixo)} = 4,872$ (sem impacto)

$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,357$ (sem impacto)

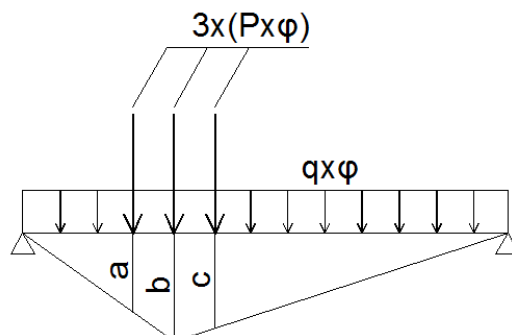
$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$

$P \text{ (tf/eixo)} = 6,168$ (com CIV e CNF)

$p \text{ (tf/m)} = 1,718$ (com CIV e CNF)

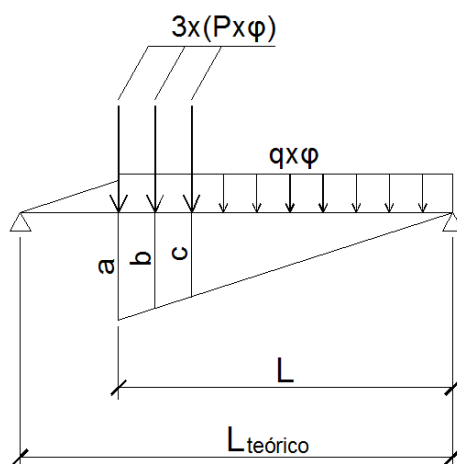


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)




	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	2,97	2,373	2,673	2,523	143,61
S2	5,94	4,152	4,752	4,452	203,63
S3	8,91	5,337	6,237	5,787	266,22
S4	11,88	6,228	7,128	6,528	304,52
S5	14,85	6,675	7,425	6,675	317,59
S6	17,82	6,228	7,128	6,528	304,52
S7	20,79	5,337	6,237	5,787	266,22
S8	23,76	4,152	4,752	4,452	203,63
S9	26,73	2,373	2,673	2,523	143,61
S10	29,70	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	29,70	1,000	0,949	0,899	53,86
S1	2,97	26,73	0,900	0,849	0,799	45,48
S2	5,94	23,76	0,800	0,749	0,699	30,20
S3	8,91	20,79	0,700	0,649	0,599	24,52
S4	11,88	17,82	0,600	0,549	0,499	19,35
S5	14,85	14,85	0,500	0,449	0,399	14,70
S6	17,82	11,88	0,400	0,349	0,299	10,55
S7	20,79	8,91	0,300	0,249	0,199	6,91
S8	23,76	5,94	0,200	0,149	0,099	3,79
S9	26,73	2,97	0,100	0,049	0,000	1,47
S10	29,70	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 260/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V2

	$V_{C.M.} \text{ (tf)}$	$M_{C.M.} \text{ (tf.m)}$	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	53,86	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	45,48	143,61	136,8	93,6	-282,0
S2	30,20	203,63	193,9	132,7	-399,8
S3	24,52	266,22	253,5	173,5	-522,7
S4	19,35	304,52	290,0	198,4	-597,9
S5	14,70	317,59	302,5	207,0	-623,5
S6	10,55	304,52	290,0	198,4	-597,9
S7	6,91	266,22	253,5	173,5	-522,7
S8	3,79	203,63	193,9	132,7	-399,8
S9	1,47	143,61	136,8	93,6	-282,0
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Cálculo da protensão

Módulo de elasticidade do cabo



$E_p \text{ (MPa)} = 200.000$

$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$

Tensão inicial no cabo:

Pós-Tensão -

$\sigma_{p0} \leq$

$$\left\{ \begin{array}{l} -0,74 * f_{ptk} = 14060 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,82 * f_{pk} = 14022 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

Pré-Tensão -

$\sigma_{p0} \leq$

$$\left\{ \begin{array}{l} -0,77 * f_{ptk} = 14630 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,85 * f_{pk} = 14535 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

onde: $f_{ptk} \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 19.000$

$f_{pyk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 17.100$

Cabo	Etapas	Sistema
C1	1	Viga isolada
C2	1	Viga isolada
C3	1	Viga isolada
C4	2	Viga isolada
C5	2	Viga isolada
C6		-
C7		-
C8		-
C9		-

Sistema \rightarrow Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recoo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	30,10	1,700	8,000		16,00	1,000	14022
S1	3,210	26,89	1,249	8,000	0,00	16,00	0,994	13932
S2	6,170	23,93	0,846	6,800	1,20	14,80	0,984	13792
S3	9,130	20,97	0,566	4,000	4,00	12,00	0,968	13577
S4	12,090	18,01	0,432	1,200	6,80	9,20	0,953	13366
S5	15,050	15,05	0,420	0,000	8,00	8,00	0,944	13232
S6	18,010	12,09	0,432	-1,200	9,20	6,80	0,953	13366
S7	20,970	9,13	0,566	-4,000	12,00	4,00	0,968	13577
S8	23,930	6,17	0,846	-6,800	14,80	1,20	0,984	13792
S9	26,890	3,21	1,249	-8,000	16,00	0,00	0,994	13932
S10	30,100	0,00	1,700	-8,000	16,00		1,000	14022

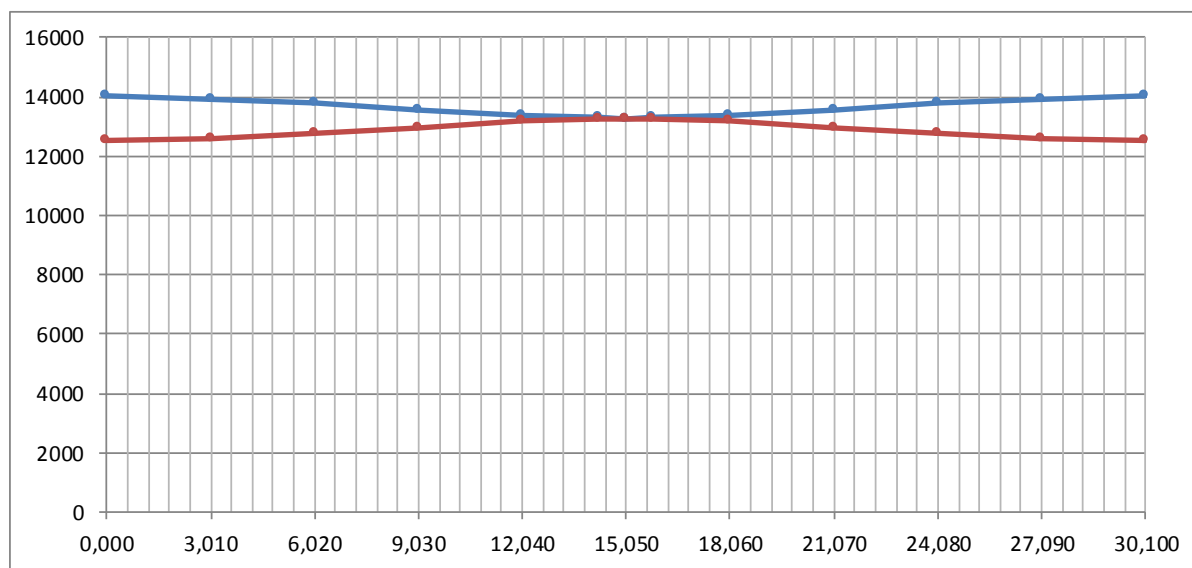
$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 103 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 103 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recoo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0
S1	12601	105,8	1,019	0,230	104,8	-14,7	24,1
S2	12741	107,0	1,019	-0,173	106,3	-12,7	-18,4
S3	12955	108,8	1,019	-0,453	108,6	-7,6	-49,2
S4	13167	110,6	1,019	-0,587	110,6	-2,3	-64,9
S5	13232	111,1	1,019	-0,599	111,1	0,0	-66,6
S6	13167	110,6	1,019	-0,587	110,6	2,3	-64,9
S7	12955	108,8	1,019	-0,453	108,6	7,6	-49,2
S8	12741	107,0	1,019	-0,173	106,3	12,7	-18,4
S9	12601	105,8	1,019	0,230	104,8	14,7	24,1
S10	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm² e comprimento em metros)

Cabo C2

Unidade de protensão → 6 ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

σ_{p0} (kgf/cm²) = 14.022

k (rad/m) = 0,01

A_{sp} (cm²) = 8,4

μ = 0,20

δ (mm) = 6,0 (recuo da ancoragem)

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	30,10	1,350	6,500		13,00	1,000	14022
S1	3,210	26,89	0,985	6,500	0,00	13,00	0,994	13932
S2	6,170	23,93	0,648	6,400	0,10	12,90	0,987	13845
S3	9,130	20,97	0,388	3,600	2,90	10,10	0,972	13630
S4	12,090	18,01	0,275	0,800	5,70	7,30	0,957	13417
S5	15,050	15,05	0,270	0,000	6,50	6,50	0,949	13301
S6	18,010	12,09	0,275	-0,800	7,30	5,70	0,957	13417
S7	20,970	9,13	0,388	-3,600	10,10	2,90	0,972	13630
S8	23,930	6,17	0,648	-6,400	12,90	0,10	0,987	13845
S9	26,890	3,21	0,985	-6,500	13,00	0,00	0,994	13932
S10	30,100	0,00	1,350	-6,500	13,00		1,000	14022

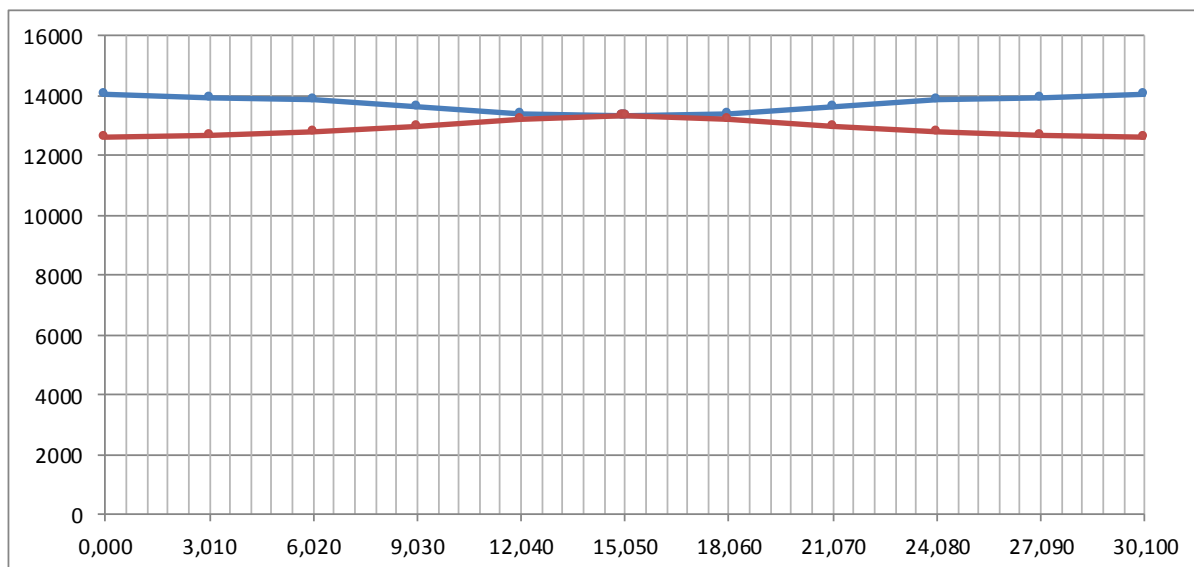
Δl^{esq} (mm) = 103 (alongamento previsto na ancoragem esquerda)*

Δl^{dir} (mm) = 103 (alongamento previsto na ancoragem direita)*

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,310	0,0	0,0	0,0
S1	12698	106,7	1,019	-0,035	106,0	-12,1	-3,7
S2	12778	107,3	1,019	-0,372	106,7	-12,0	-39,6
S3	12980	109,0	1,019	-0,631	108,8	-6,8	-68,7
S4	13189	110,8	1,019	-0,744	110,8	-1,5	-82,4
S5	13301	111,7	1,019	-0,749	111,7	0,0	-83,7
S6	13189	110,8	1,019	-0,744	110,8	1,5	-82,4
S7	12980	109,0	1,019	-0,631	108,8	6,8	-68,7
S8	12778	107,3	1,019	-0,372	106,7	12,0	-39,6
S9	12698	106,7	1,019	-0,035	106,0	12,1	-3,7
S10	0	0,0	1,040	0,310	0,0	0,0	0,0



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm^2 e comprimento em metros)

Cabo C3

Unidade de protensão → 6 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{reco da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	30,10	1,000	5,000		10,00	1,000	14022
S1	3,210	26,89	0,719	5,00	0,00	10,00	0,994	13932
S2	6,170	23,93	0,461	5,00	0,00	10,00	0,988	13850
S3	9,130	20,97	0,225	3,40	1,60	8,40	0,976	13692
S4	12,090	18,01	0,123	0,60	4,40	5,60	0,961	13478
S5	15,050	15,05	0,120	0,00	5,00	5,00	0,954	13371
S6	18,010	12,09	0,123	-0,60	5,60	4,40	0,961	13478
S7	20,970	9,13	0,225	-3,40	8,40	1,60	0,976	13692
S8	23,930	6,17	0,461	-5,00	10,00	0,00	0,988	13850
S9	26,890	3,21	0,719	-5,00	10,00	0,00	0,994	13932
S10	30,100	0,00	1,000	-5,00	10,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 103 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

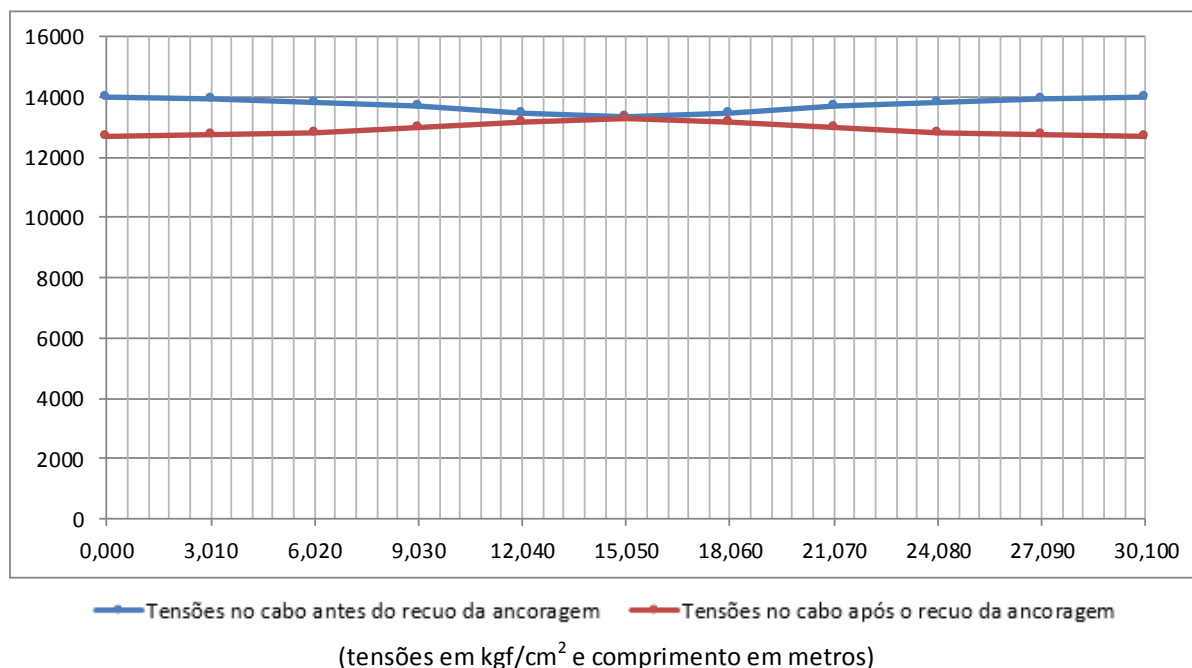
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 103 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por reco da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0
S1	12761	107,2	1,019	-0,300	106,8	-9,3	-32,0
S2	12837	107,8	1,019	-0,559	107,4	-9,4	-60,0
S3	12986	109,1	1,019	-0,794	108,9	-6,5	-86,4
S4	13193	110,8	1,019	-0,896	110,8	-1,2	-99,3
S5	13230	111,1	1,019	-0,899	111,1	0,0	-99,9
S6	13193	110,8	1,019	-0,896	110,8	1,2	-99,3
S7	12986	109,1	1,019	-0,794	108,9	6,5	-86,4
S8	12837	107,8	1,019	-0,559	107,4	9,4	-60,0
S9	12761	107,2	1,019	-0,300	106,8	9,3	-32,0
S10	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Cabo C4

Unidade de protensão → 6 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 2ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	30,10	0,650	3,500		7,00	1,000	14022
S1	3,210	26,89	0,454	3,50	0,00	7,00	0,994	13932
S2	6,170	23,93	0,273	3,50	0,00	7,00	0,988	13850
S3	9,130	20,97	0,131	1,20	2,30	4,70	0,974	13658
S4	12,090	18,01	0,120	0,00	3,50	3,50	0,964	13521
S5	15,050	15,05	0,120	0,00	3,50	3,50	0,959	13441
S6	18,010	12,09	0,120	0,00	3,50	3,50	0,964	13521
S7	20,970	9,13	0,131	-1,20	4,70	2,30	0,974	13658
S8	23,930	6,17	0,273	-3,50	7,00	0,00	0,988	13850
S9	26,890	3,21	0,454	-3,50	7,00	0,00	0,994	13932
S10	30,100	0,00	0,650	-3,50	7,00		1,000	14022

Δl^{esq} (mm) = 103 (alongamento previsto na ancoragem esquerda)*

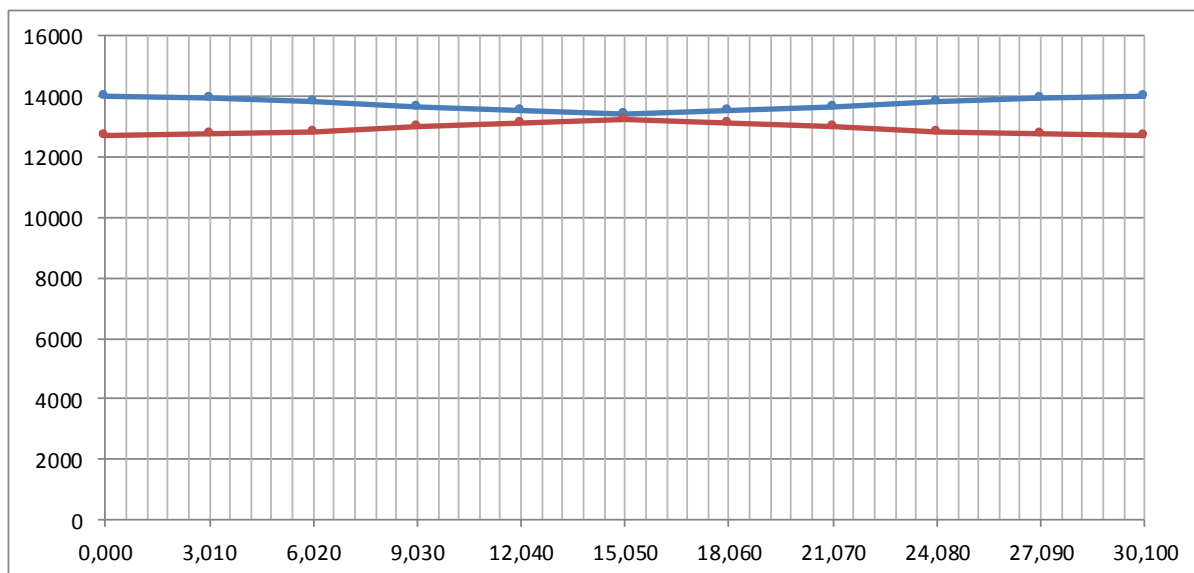
Δl^{dir} (mm) = 103 (alongamento previsto na ancoragem direita)*

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,390	0,0	0,0	0,0
S1	12773	107,3	1,019	-0,565	107,1	-6,5	-60,5
S2	12850	107,9	1,019	-0,746	107,7	-6,6	-80,4
S3	13033	109,5	1,019	-0,888	109,5	-2,3	-97,2
S4	13151	110,5	1,019	-0,899	110,5	0,0	-99,3
S5	13071	109,8	1,019	-0,899	109,8	0,0	-98,7
S6	13151	110,5	1,019	-0,899	110,5	0,0	-99,3
S7	13033	109,5	1,019	-0,888	109,5	2,3	-97,2
S8	12850	107,9	1,019	-0,746	107,7	6,6	-80,4
S9	12773	107,3	1,019	-0,565	107,1	6,5	-60,5
S10	0	0,0	1,040	-0,390	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm² e comprimento em metros)

Cabo C5

Unidade de protensão → 6 Ø15,2

Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva

Etapa de protensão → 2ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	30,10	0,300	2,000		4,00	1,000	14022
S1	3,210	26,89	0,188	2,00	0,00	4,00	0,994	13932
S2	6,170	23,93	0,120	0,00	2,00	2,00	0,981	13754
S3	9,130	20,97	0,120	0,00	2,00	2,00	0,975	13672
S4	12,090	18,01	0,120	0,00	2,00	2,00	0,969	13592
S5	15,050	15,05	0,120	0,00	2,00	2,00	0,964	13512
S6	18,010	12,09	0,120	0,00	2,00	2,00	0,969	13592
S7	20,970	9,13	0,120	0,00	2,00	2,00	0,975	13672
S8	23,930	6,17	0,120	0,00	2,00	2,00	0,981	13754
S9	26,890	3,21	0,188	-2,00	4,00	0,00	0,994	13932
S10	30,100	0,00	0,300	-2,00	4,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 103 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

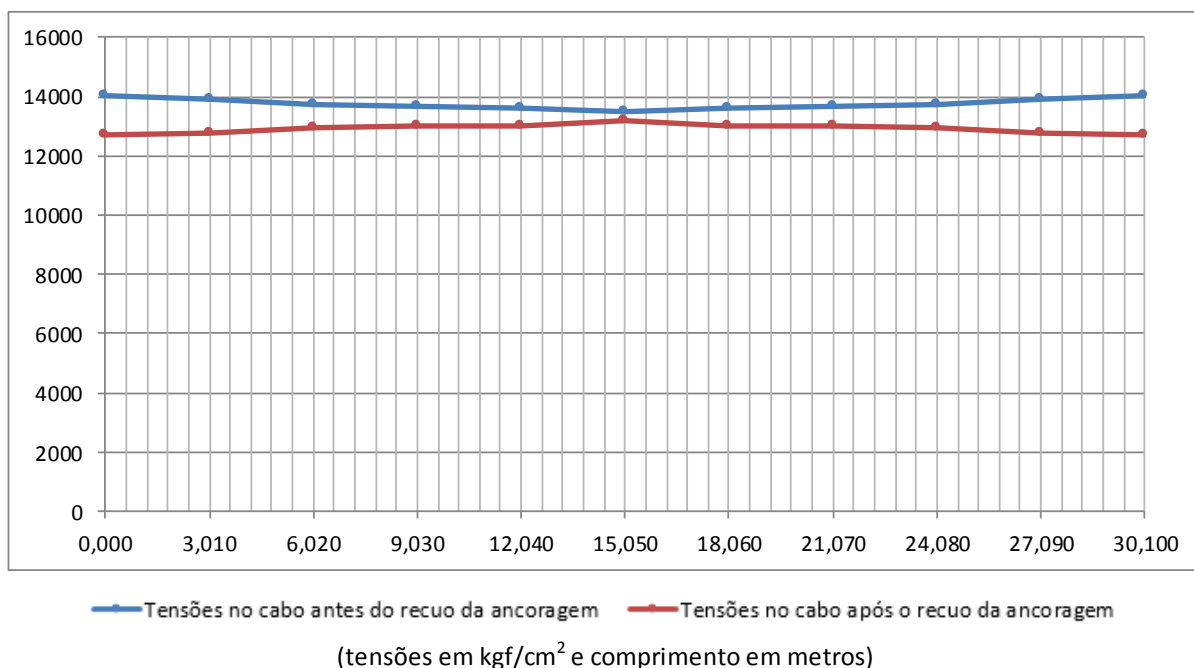
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 103 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0
S1	12778	107,3	1,019	-0,831	107,3	-3,7	-89,2
S2	12948	108,8	1,019	-0,899	108,8	0,0	-97,8
S3	13027	109,4	1,019	-0,899	109,4	0,0	-98,4
S4	12987	109,1	1,019	-0,899	109,1	0,0	-98,1
S5	12908	108,4	1,019	-0,899	108,4	0,0	-97,5
S6	12987	109,1	1,019	-0,899	109,1	0,0	-98,1
S7	13027	109,4	1,019	-0,899	109,4	0,0	-98,4
S8	12948	108,8	1,019	-0,899	108,8	0,0	-97,8
S9	12778	107,3	1,019	-0,831	107,3	3,7	-89,2
S10	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Perda por encurtamento imediato do concreto

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$s = 0,38$$

1ª etapa de protensão

$$\alpha_E = 1,0$$

$$t_0 \text{ (dias)} = 3$$

$$\beta_s(t_0) = 0,458$$


$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 18,3$$

$$n_{cabos} = 3$$

$$\alpha = 8,34$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 23.968,7$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	0,103	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	317,6	-11,6	-0,012	0,731	0,376	434,8	0,605	120,9
S2	320,4	-118,0	-0,123	0,731	0,376	476,8	0,663	132,6
S3	326,3	-204,3	-0,209	0,731	0,376	559,8	0,779	155,7
S4	332,2	-246,6	-0,247	0,731	0,376	616,7	0,858	171,5
S5	334,0	-250,2	-0,250	0,731	0,376	623,2	0,867	173,3
S6	332,2	-246,6	-0,247	0,731	0,376	616,7	0,858	171,5
S7	326,3	-204,3	-0,209	0,731	0,376	559,8	0,779	155,7
S8	320,4	-118,0	-0,123	0,731	0,376	476,8	0,663	132,6
S9	317,6	-11,6	-0,012	0,731	0,376	434,8	0,605	120,9
S10	0,0	0,0	0,103	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 270/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

2ª etapa de protensão

$$t_0 \text{ (dias)} = 7$$

$$\beta_s(t_0) = 0,684$$

$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 27,4$$

$$n_{cabos} = 2$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 29.288,8$$

Seção	$\Sigma N_{\text{prot}} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{\text{prot}} \text{ (tf.m)}$	$e_{\text{média}} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \varepsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	-0,126	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	214,4	-149,7	-0,155	0,731	0,376	355,0	0,404	80,8
S2	216,5	-178,2	-0,183	0,731	0,376	382,9	0,436	87,1
S3	218,9	-195,5	-0,199	0,731	0,376	402,7	0,458	91,7
S4	219,6	-197,4	-0,200	0,731	0,376	405,3	0,461	92,3
S5	218,2	-196,2	-0,200	0,731	0,376	402,9	0,458	91,7
S6	219,6	-197,4	-0,200	0,731	0,376	405,3	0,461	92,3
S7	218,9	-195,5	-0,199	0,731	0,376	402,7	0,458	91,7
S8	216,5	-178,2	-0,183	0,731	0,376	382,9	0,436	87,1
S9	214,4	-149,7	-0,155	0,731	0,376	355,0	0,404	80,8
S10	0,0	0,0	-0,126	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

Onde:

s = coeficiente que depende do tipo de cimento

t_0 = idade de aplicação da protensão

$$\beta_s = e^{s \times (1 - \sqrt{28/t_0})} \quad f_{cj} = \beta_s \times f_{ck} \quad E_c = \alpha_E \times 5600 \times \sqrt{f_{cj}}$$

$$\Delta \varepsilon_{cp} = \frac{n-1}{2n} \times \frac{\sigma_{c,cgp}}{E_{c,t0}} \quad \Delta \sigma_p = \frac{\Delta \varepsilon_{cp}}{E_p}$$

	Seção	Fase 1	Fase 2	Fase 3
$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	S0	0,0	0,0	0,0
	S1	201,8	80,8	0,0
	S2	219,7	87,1	0,0
	S3	247,4	91,7	0,0
	S4	263,8	92,3	0,0
	S5	265,0	91,7	0,0
	S6	263,8	92,3	0,0
	S7	247,4	91,7	0,0
	S8	219,7	87,1	0,0
	S9	201,8	80,8	0,0
	S10	0,0	0,0	0,0

Tensões nos cabos e solicitações devido à protensão após as perdas imediatas

C1

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12399	104,1	103,1	-14,5	23,7	11,6%
S2	12521	105,2	104,4	-12,5	-18,1	10,7%
S3	12708	106,7	106,5	-7,4	-48,3	9,4%
S4	12903	108,4	108,4	-2,3	-63,6	8,0%
S5	12966	108,9	108,9	0,0	-65,3	7,5%
S6	12903	108,4	108,4	2,3	-63,6	8,0%
S7	12708	106,7	106,5	7,4	-48,3	9,4%
S8	12521	105,2	104,4	12,5	-18,1	10,7%
S9	12399	104,1	103,1	14,5	23,7	11,6%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C2

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12497	105,0	104,3	-11,9	-3,6	10,9%
S2	12558	105,5	104,8	-11,8	-39,0	10,4%
S3	12733	107,0	106,7	-6,7	-67,4	9,2%
S4	12925	108,6	108,6	-1,5	-80,7	7,8%
S5	13036	109,5	109,5	0,0	-82,0	7,0%
S6	12925	108,6	108,6	1,5	-80,7	7,8%
S7	12733	107,0	106,7	6,7	-67,4	9,2%
S8	12558	105,5	104,8	11,8	-39,0	10,4%
S9	12497	105,0	104,3	11,9	-3,6	10,9%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C3

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12559	105,5	105,1	-9,2	-31,5	10,4%
S2	12617	106,0	105,6	-9,2	-59,0	10,0%
S3	12739	107,0	106,8	-6,3	-84,8	9,2%
S4	12929	108,6	108,6	-1,1	-97,3	7,8%
S5	12965	108,9	108,9	0,0	-97,9	7,5%
S6	12929	108,6	108,6	1,1	-97,3	7,8%
S7	12739	107,0	106,8	6,3	-84,8	9,2%
S8	12617	106,0	105,6	9,2	-59,0	10,0%
S9	12559	105,5	105,1	9,2	-31,5	10,4%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C4

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12692	106,6	106,4	-6,5	-60,2	9,5%
S2	12763	107,2	107,0	-6,5	-79,8	9,0%
S3	12941	108,7	108,7	-2,3	-96,5	7,7%
S4	13058	109,7	109,7	0,0	-98,6	6,9%
S5	12980	109,0	109,0	0,0	-98,0	7,4%
S6	13058	109,7	109,7	0,0	-98,6	6,9%
S7	12941	108,7	108,7	2,3	-96,5	7,7%
S8	12763	107,2	107,0	6,5	-79,8	9,0%
S9	12692	106,6	106,4	6,5	-60,2	9,5%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C5

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12697	106,7	106,6	-3,7	-88,6	9,5%
S2	12861	108,0	108,0	0,0	-97,1	8,3%
S3	12935	108,7	108,7	0,0	-97,7	7,8%
S4	12895	108,3	108,3	0,0	-97,4	8,0%
S5	12816	107,7	107,7	0,0	-96,8	8,6%
S6	12895	108,3	108,3	0,0	-97,4	8,0%
S7	12935	108,7	108,7	0,0	-97,7	7,8%
S8	12861	108,0	108,0	0,0	-97,1	8,3%
S9	12697	106,7	106,6	3,7	-88,6	9,5%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

Resumo das solicitações e tensões nas fibras extremas do concreto devido à protensão após as perdas imediatas

1ª etapa de protensão

Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	312,5	-35,6	-11,4	0,0	397,8	458,4
S2	314,9	-33,4	-116,0	0,0	127,9	745,4
S3	320,1	-20,5	-200,4	0,0	-85,4	981,4
S4	325,5	-4,9	-241,6	0,0	-185,4	1100,6
S5	327,3	0,0	-245,2	0,0	-192,3	1112,8
S6	325,5	4,9	-241,6	0,0	-185,4	1100,6
S7	320,1	20,5	-200,4	0,0	-85,4	981,4
S8	314,9	33,4	-116,0	0,0	127,9	745,4
S9	312,5	35,6	-11,4	0,0	397,8	458,4
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

2ª etapa de protensão

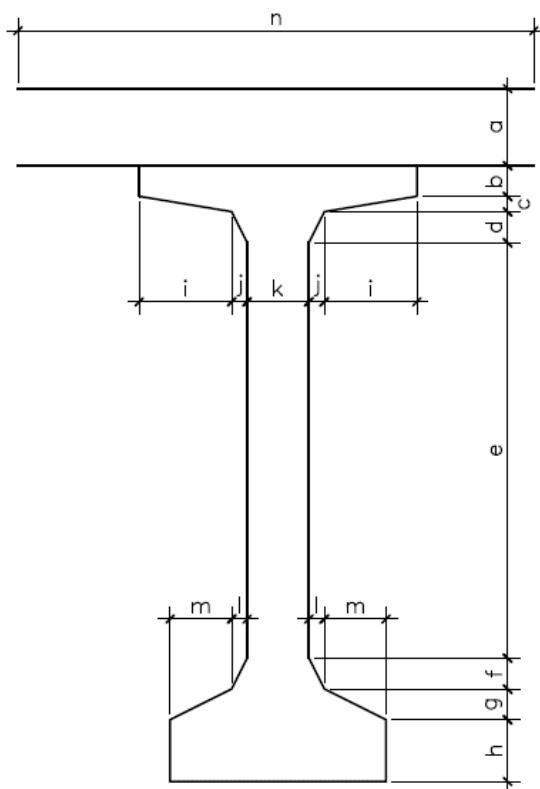
Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	213,0	-10,2	-148,7	0,0	-96,9	694,8
S2	215,0	-6,5	-177,0	0,0	-167,8	774,2
S3	217,3	-2,3	-194,2	0,0	-209,6	823,9
S4	218,0	0,0	-196,0	0,0	-213,4	829,8
S5	216,7	0,0	-194,8	0,0	-212,1	824,8
S6	218,0	0,0	-196,0	0,0	-213,4	829,8
S7	217,3	2,3	-194,2	0,0	-209,6	823,9
S8	215,0	6,5	-177,0	0,0	-167,8	774,2
S9	213,0	10,2	-148,7	0,0	-96,9	694,8
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Cálculo das perdas lentas de protensão


$U (\%) = 80$ (umidade relativa do ar)

$$\gamma = 2,22 \quad \gamma = 1 + e^{(-7,8+0,1 \times U)}$$

Cálculo da espessura fictícia



Seção	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)
S0	0,000	0,050	0,050	0,050
S1	0,000	0,050	0,050	0,100
S2	0,000	0,050	0,050	0,100
S3	0,000	0,050	0,050	0,100
S4	0,000	0,050	0,050	0,100
S5	0,000	0,050	0,050	0,100
S6	0,000	0,050	0,050	0,100
S7	0,000	0,050	0,050	0,100
S8	0,000	0,050	0,050	0,100
S9	0,000	0,050	0,050	0,100
S10	0,000	0,050	0,050	0,050

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 274/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Seção	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)	i (m)	j (m)	k (m)	l (m)	m (m)	n (m)
S0	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200
S1	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S2	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S3	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S4	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S5	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S6	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S7	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S8	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S9	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S10	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200

Seção	P _{ext} (m)	P _{int} (m)	u (m)	A (m ²)	h _{fic} (m)
S0	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030
S1	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S2	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S3	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S4	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S5	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S6	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S7	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S8	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S9	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S10	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030

Onde,

P_{ext} - é o perímetro externo da seção

P_{int} - é o perímetro interno da seção

u - é o perímetro da seção em contato com o ar, dado por: $P_{ext} + P_{int}/2$

A - é a área da seção transversal

h_{fic} - é a espessura fictícia, dada por: $\gamma \times 2 \times A / u$

Cálculo da idade corrigida

$$t_* = \frac{\alpha}{30} \times \sum_{t=0}^t [(T_i + 10) \times \Delta t_i]$$

$\alpha = 1$

(fluência)

T_i (°) = 25

Δt_i (dias) = 4,6

(média ponderada das idades de protensão)


t_{0*} (dias) = 5,4

(fluência)

t_{0*} (dias) = 5,4

(retração)

t_{∞*} (dias) = ∞

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 275/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Fluência

a deformação por fluência é dada por:

$$\varepsilon_{cc}(t_1; t_0) = \frac{\sigma_{c,t_0}}{E_{c,28}} \times \varphi(t_1; t_0)$$

onde:

$$\varphi(t_1; t_0) = \varphi_{d\infty} \times \beta_d + \varphi_{f\infty} \times [\beta_f(t_{1*}) - \beta_f(t_{0*})] + \varphi_a$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\beta_d = \frac{t_{1*} - t_{0*} + 20}{t_{1*} - t_{0*} + 70}$$

$$\varphi_{f\infty} = \varphi_{1c} \times \varphi_{2c}$$

$$\varphi_{1c} = 4,45 - 0,035 \times U \quad \varphi_{2c} = \frac{42 + h_{fic}(cm)}{20 + h_{fic}(cm)}$$

$$\beta_f(t) = \frac{t^2 + A \times t + B}{t^2 + C \times t + D} \quad \text{com} \quad \begin{cases} A = 42 \times h_{fic}^3 - 350 \times h_{fic}^2 + 588 \times h_{fic} + 113 \\ B = 768 \times h_{fic}^3 - 3060 \times h_{fic}^2 + 3234 \times h_{fic} - 23 \\ C = -200 \times h_{fic}^3 + 13 \times h_{fic}^2 + 1090 \times h_{fic} + 183 \\ D = 7579 \times h_{fic}^3 - 31916 \times h_{fic}^2 + 35343 \times h_{fic} + 1931 \end{cases}$$

$$\varphi_a = 0,8 \times \left[1 - \frac{9 \times t_{0*} \times (t_{0*} + 42)}{(9 \times t_{0*} + 40) \times (t_{0*} + 61)} \right]$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$


$$\varphi_a = 0,488$$

$$\varphi_{1c} = 1,7$$

$$\beta_{f\infty} = 1,0$$

$$\beta_d = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	φ_{2c}	φ_{∞}	$\beta_{f(t)}$	$\varphi_{(\infty,t)}$
S0	1,030	1,179	1,945	0,163	2,517
S1	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S2	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S3	0,412	1,360	2,243	0,165	2,760
S4	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S5	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S6	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S7	0,412	1,360	2,243	0,165	2,760
S8	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S9	0,469	1,329	2,193	0,165	2,719
S10	1,030	1,179	1,945	0,163	2,517

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 276/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Retração do concreto

a deformação por retração é dada por:

$$\varepsilon_{cs,(t_1;t_0)} = \varepsilon_{cs,(t_{00})} \times [\beta_s(t_{1*}) - \beta_s(t_{0*})]$$

onde:

$$\varepsilon_{cs,(t_{00})} = \varepsilon_{1s} \times \varepsilon_{2s}$$

$$\varepsilon_{1s} = - \left(6,16 + \frac{U}{484} - \frac{U^2}{1590} \right) \times 10^4$$

$$\varepsilon_{2s} = \frac{33 + 2 \times h_{fic}}{20,8 + 3 \times h_{fic}}$$


$$\beta_s(t) = \frac{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + A \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + B \times \left(\frac{t}{100}\right)}{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + C \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + D \times \left(\frac{t}{100}\right) + E}$$

$$com \begin{cases} A = 40 \\ B = 116 \times h_{fic}^3 - 282 \times h_{fic}^2 + 220 \times h_{fic} - 4,8 \\ C = 2,5 \times h_{fic}^3 - 8,8 \times h_{fic} + 40,7 \\ D = -75 \times h_{fic}^3 + 585 \times h_{fic}^2 + 496 \times h_{fic} - 6,8 \\ E = -169 \times h_{fic}^4 + 88 \times h_{fic}^3 + 584 \times h_{fic}^2 - 39 \times h_{fic} + 0,8 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{1s} \times 10^4 = 2,3$$

$$\beta_{s_{00}} = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	ε_{2s}	$\beta_{s(t_0*)}$	$\varepsilon_{cs,(t_{00})} \times 10^4$	$\varepsilon_{cs,(t_{00},t_0)} \times 10^4$
S0	1,030	1,468	0,005	3,376	3,358
S1	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S2	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S3	0,412	1,535	0,026	3,531	3,440
S4	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S5	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S6	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S7	0,412	1,535	0,026	3,531	3,440
S8	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S9	0,469	1,528	0,021	3,515	3,442
S10	1,030	1,468	0,005	3,376	3,358

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 277/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Relaxação do aço

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$E_c \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 354.175$$

$$f_{ptk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 19.000$$

$$\alpha_p = 5,647$$

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente

Seção	$M_{g1+g2} \text{ (tf.m)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,cgp,g} \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	0,00	0,519	-1,040	0,0
S1	148,89	0,376	-0,300	-118,9
S2	263,89	0,376	-0,550	-386,1
S3	346,04	0,376	-0,733	-675,0
S4	395,32	0,376	-0,805	-846,9
S5	411,75	0,376	-0,809	-886,6
S6	395,32	0,376	-0,805	-846,9
S7	346,04	0,376	-0,733	-675,0
S8	263,89	0,376	-0,550	-386,1
S9	148,89	0,376	-0,300	-118,9
S10	0,00	0,519	-1,040	0,0

Seção	$M_{g3} \text{ (tf.m)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,cgp,g} \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	0,00	1,100	-1,407	0,0
S1	46,33	0,826	-0,858	-48,1
S2	82,37	0,826	-1,108	-110,4
S3	108,11	0,826	-1,291	-168,9
S4	123,55	0,826	-1,363	-203,8
S5	128,70	0,826	-1,367	-213,0
S6	123,55	0,826	-1,363	-203,8
S7	108,11	0,826	-1,291	-168,9
S8	82,37	0,826	-1,108	-110,4
S9	46,33	0,826	-0,858	-48,1
S10	0,00	1,100	-1,407	0,0


Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à protensão

1ª etapa de protensão

Seção	N _p (tf)	M _p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I _z (m ⁴)	σ _{c,cgp,p} (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	312,5	-11,4	-0,300	0,731	0,376	436,6
S2	314,9	-116,0	-0,550	0,731	0,376	600,4
S3	320,1	-200,4	-0,733	0,731	0,376	828,8
S4	325,5	-241,6	-0,805	0,731	0,376	962,9
S5	327,3	-245,2	-0,809	0,731	0,376	975,8
S6	325,5	-241,6	-0,805	0,731	0,376	962,9
S7	320,1	-200,4	-0,733	0,731	0,376	828,8
S8	314,9	-116,0	-0,550	0,731	0,376	600,4
S9	312,5	-11,4	-0,300	0,731	0,376	436,6
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

2ª etapa de protensão

Seção	N _p (tf)	M _p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I _z (m ⁴)	σ _{c,cgp,p} (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	213,0	-148,7	-0,300	0,731	0,376	410,2
S2	215,0	-177,0	-0,550	0,731	0,376	553,1
S3	217,3	-194,2	-0,733	0,731	0,376	676,1
S4	218,0	-196,0	-0,805	0,731	0,376	718,1
S5	216,7	-194,8	-0,809	0,731	0,376	715,9
S6	218,0	-196,0	-0,805	0,731	0,376	718,1
S7	217,3	-194,2	-0,733	0,731	0,376	676,1
S8	215,0	-177,0	-0,550	0,731	0,376	553,1
S9	213,0	-148,7	-0,300	0,731	0,376	410,2
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 279/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente + protensão

Seção	$\sigma_{c,pgp,p+g}$ (tf/m ²)
S0	0,0
S1	679,8
S2	657,0
S3	660,9
S4	630,4
S5	592,1
S6	630,4
S7	660,9
S8	657,0
S9	679,8
S10	0,0

Cálculo do coeficiente de fluência do aço

$$\chi_{(t,t_0)} = -\ln(1 - \psi_{(t,t_0)})$$

onde:

$$\psi(t_{\infty}, t_0) = 2,5 \times \psi_{1000}$$

Seção	σ_{p0} (kgf/cm ²)	σ_{p0} / f_{ptk}	ψ_{1000}	$\psi(t_{\infty}, t_0)$	$\chi_{(t_{\infty}, t_0)}$
S0		0,000	0,000	0,000	0,000
S1	12569	0,662	2,038	5,095	0,052
S2	12664	0,667	2,098	5,246	0,054
S3	12811	0,674	2,191	5,478	0,056
S4	12942	0,681	2,274	5,685	0,059
S5	12953	0,682	2,281	5,702	0,059
S6	12942	0,681	2,274	5,685	0,059
S7	12811	0,674	2,191	5,478	0,056
S8	12664	0,667	2,098	5,246	0,054
S9	12569	0,662	2,038	5,095	0,052
S10		0,000	0,000	0,000	0,000

Cálculo da perda lenta total

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t_1,t_0)} = \frac{\varepsilon_{cs,(t_1,t_0)} \times E_p + \alpha_p \times \varphi_{(t_1,t_0)} \times \sigma_{c,pgp,p+g} + \sigma_{p0} \times \chi_{(t,t_0)}}{\chi_p + \chi_c \times \alpha_p \times \eta \times \rho_p}$$

onde:

$$\chi_c = 1 + 0,5 \times \varphi_{(t_1,t_0)} \quad \chi_p = 1 + \chi_{(t,t_0)}$$

e_p - é a excentricidade de protensão

$$\eta = 1 + e_p^2 \times \frac{A_c}{I_z} \quad \rho_p = \frac{A_s}{A_c}$$

Seção	χ_c	χ_p	e_p (m)	η	ρ_p	$\Delta\sigma_{p,c+s+r_i(t,t_0)}$ (kgf/cm ²)	$\Delta\sigma_{lenta}$ (%)
S0	2,258	1,000	-1,407	5,000	0,0000	0,0	0,0%
S1	2,359	1,052	-0,858	2,329	0,0028	2096,5	15,0%
S2	2,359	1,054	-1,108	3,214	0,0028	2025,9	14,4%
S3	2,380	1,056	-1,291	4,006	0,0028	2019,5	14,4%
S4	2,359	1,059	-1,363	4,351	0,0028	1975,4	14,1%
S5	2,359	1,059	-1,367	4,371	0,0028	1928,2	13,8%
S6	2,359	1,059	-1,363	4,351	0,0028	1975,4	14,1%
S7	2,380	1,056	-1,291	4,006	0,0028	2019,5	14,4%
S8	2,359	1,054	-1,108	3,214	0,0028	2025,9	14,4%
S9	2,359	1,052	-0,858	2,329	0,0028	2096,5	15,0%
S10	2,258	1,000	-1,407	5,000	0,0000	0,0	0,0%

Solicitações devido às perdas lentas de protensão

C1

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2096	-17,6	-17,4	2,5	-4,0
S2	-2026	-17,0	-16,9	2,0	2,9
S3	-2020	-17,0	-16,9	1,2	7,7
S4	-1975	-16,6	-16,6	0,3	9,7
S5	-1928	-16,2	-16,2	0,0	9,7
S6	-1975	-16,6	-16,6	-0,3	9,7
S7	-2020	-17,0	-16,9	-1,2	7,7
S8	-2026	-17,0	-16,9	-2,0	2,9
S9	-2096	-17,6	-17,4	-2,5	-4,0
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C2

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2096	-17,6	-17,5	2,0	0,6
S2	-2026	-17,0	-16,9	1,9	6,3
S3	-2020	-17,0	-16,9	1,1	10,7
S4	-1975	-16,6	-16,6	0,2	12,3
S5	-1928	-16,2	-16,2	0,0	12,1
S6	-1975	-16,6	-16,6	-0,2	12,3
S7	-2020	-17,0	-16,9	-1,1	10,7
S8	-2026	-17,0	-16,9	-1,9	6,3
S9	-2096	-17,6	-17,5	-2,0	0,6
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C3


Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2096	-17,6	-17,5	1,5	5,3
S2	-2026	-17,0	-17,0	1,5	9,5
S3	-2020	-17,0	-16,9	1,0	13,4
S4	-1975	-16,6	-16,6	0,2	14,9
S5	-1928	-16,2	-16,2	0,0	14,6
S6	-1975	-16,6	-16,6	-0,2	14,9
S7	-2020	-17,0	-16,9	-1,0	13,4
S8	-2026	-17,0	-17,0	-1,5	9,5
S9	-2096	-17,6	-17,5	-1,5	5,3
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C4

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2096	-17,6	-17,6	1,1	9,9
S2	-2026	-17,0	-17,0	1,0	12,7
S3	-2020	-17,0	-17,0	0,4	15,1
S4	-1975	-16,6	-16,6	0,0	14,9
S5	-1928	-16,2	-16,2	0,0	14,6
S6	-1975	-16,6	-16,6	0,0	14,9
S7	-2020	-17,0	-17,0	-0,4	15,1
S8	-2026	-17,0	-17,0	-1,0	12,7
S9	-2096	-17,6	-17,6	-1,1	9,9
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0


C5

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2096	-17,6	-17,6	0,6	14,6
S2	-2026	-17,0	-17,0	0,0	15,3
S3	-2020	-17,0	-17,0	0,0	15,3
S4	-1975	-16,6	-16,6	0,0	14,9
S5	-1928	-16,2	-16,2	0,0	14,6
S6	-1975	-16,6	-16,6	0,0	14,9
S7	-2020	-17,0	-17,0	0,0	15,3
S8	-2026	-17,0	-17,0	0,0	15,3
S9	-2096	-17,6	-17,6	-0,6	14,6
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 282/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Resumo das solicitações devido às perdas de protensão e tensões nas fibras extremas do concreto

Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-87,7	7,7	26,4	-99,0	-51,0	-191,6
S2	-84,8	6,4	46,7	-79,1	5,8	-242,5
S3	-84,7	3,6	62,1	-66,8	46,2	-284,3
S4	-83,0	0,8	66,8	-60,7	60,8	-294,6
S5	-81,0	0,0	65,5	-59,0	60,3	-288,5
S6	-83,0	-0,8	66,8	-60,7	60,8	-294,6
S7	-84,7	-3,6	62,1	-66,8	46,2	-284,3
S8	-84,8	-6,4	46,7	-79,1	5,8	-242,5
S9	-87,7	-7,7	26,4	-99,0	-51,0	-191,6
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 283/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação das tensões elásticas no concreto nas diversas fases de carregamento

Serão verificadas as tensões nas fibras extremas do concreto para as seguintes fases de carregamento:

- Fase 1 = peso próprio da viga isolada + 1ª etapa de protensão
- Fase 2 = fase 1 + 2ª etapa de protensão
- Fase 3 = fase 2 + peso próprio da laje e transversinas
- Fase 4 = fase 3 + 3ª etapa de protensão
- Fase 5 = fase 4 + sobrecarga permanente
- Fase 6 = fase 5 + carga móvel
- Fase 7 = fase 5 + perdas de protensão
- Fase 8 = fase 7 + carga móvel

Tensões limites

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0 \qquad f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51 \qquad s = 0,38$$

- no instante da protensão

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctm,j} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,7 f_{ckj}$$

- na vida útil da obra

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctk,inf} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,6 f_{ck}$$

idade da 1ª protensão (dias) = 3

$$\beta_1 = 0,458 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 18,32 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,08$$

idade da 2ª protensão (dias) = 7

$$\beta_2 = 0,684 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 27,35 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,72$$

idade da 3ª protensão (dias) = 28


$$\beta_3 = 1,000 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 40,00 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,51$$

	tração (tf/m ²)	compressão (tf/m ²)
t = 3	-250,17	1282,36
t = 7	-326,83	1914,81
t = 28	-294,74	2400,00
t = ∞	-294,74	2400,00

Verificação do estado limite de compressão excessiva para a combinação rara de carregamentos (ELS-CE)

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m^2) para 110% da força de protensão

		g_1	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2
S0	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	192	438	630	-107	523
	σ_i (tf/m^2)	-200	504	305	764	1069
S2	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	339	141	480	-185	295
	σ_i (tf/m^2)	-353	820	467	852	1319
S3	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	445	-94	351	-231	120
	σ_i (tf/m^2)	-462	1080	618	906	1524
S4	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	508	-204	304	-235	69
	σ_i (tf/m^2)	-527	1211	683	913	1596
S5	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	529	-212	317	-233	84
	σ_i (tf/m^2)	-549	1224	675	907	1582
S6	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	508	-204	304	-235	69
	σ_i (tf/m^2)	-527	1211	683	913	1596
S7	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	445	-94	351	-231	120
	σ_i (tf/m^2)	-462	1080	618	906	1524
S8	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	339	141	480	-185	295
	σ_i (tf/m^2)	-353	820	467	852	1319
S9	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	192	438	630	-107	523
	σ_i (tf/m^2)	-200	504	305	764	1069
S10	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-IV	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	285/500

Verificação do estado limite de formação de fissuras para a combinação frequente de carregamentos (ELS-F)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{G_i,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_1 = 0,5$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	192	398	590	-97	493	197	690
	σ _i (tf/m ²)	-200	458	259	695	954	-204	749
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	339	128	467	-168	299	350	649
	σ _i (tf/m ²)	-353	745	393	774	1167	-363	804
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	445	-85	359	-210	150	459	608
	σ _i (tf/m ²)	-462	981	520	824	1343	-477	867
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	508	-185	322	-213	109	524	633
	σ _i (tf/m ²)	-527	1101	573	830	1403	-545	858
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	529	-192	336	-212	124	546	670
	σ _i (tf/m ²)	-549	1113	564	825	1388	-567	821
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	508	-185	322	-213	109	524	633
	σ _i (tf/m ²)	-527	1101	573	830	1403	-545	858
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	445	-85	359	-210	150	459	608
	σ _i (tf/m ²)	-462	981	520	824	1343	-477	867
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	339	128	467	-168	299	350	649
	σ _i (tf/m ²)	-353	745	393	774	1167	-363	804
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	192	398	590	-97	493	197	690
	σ _i (tf/m ²)	-200	458	259	695	954	-204	749
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	37	37	76	113
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	690	24	713	49	763
	σ_i (tf/m ²)	0	749	-88	661	-184	477
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	65	65	108	173
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	649	42	691	70	761
	σ_i (tf/m ²)	0	804	-157	647	-261	385
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	85	85	141	227
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	608	55	664	91	755
	σ_i (tf/m ²)	0	867	-206	660	-341	319
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	98	98	162	259
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	633	63	696	105	801
	σ_i (tf/m ²)	0	858	-236	622	-391	232
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	102	102	169	270
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	670	66	736	109	845
	σ_i (tf/m ²)	0	821	-246	575	-407	168
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	98	98	162	259
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	633	63	696	105	801
	σ_i (tf/m ²)	0	858	-236	622	-391	232
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	85	85	141	227
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	608	55	664	91	755
	σ_i (tf/m ²)	0	867	-206	660	-341	319
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	65	65	108	173
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	649	42	691	70	761
	σ_i (tf/m ²)	0	804	-157	647	-261	385
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	37	37	76	113
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	690	24	713	49	763
	σ_i (tf/m ²)	0	749	-88	661	-184	477
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-99	-62	76	14
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-51	662	49	712
	σ_i (tf/m ²)	-192	469	-184	285
S2	σ_s (tf/m ²)	-79	-14	108	94
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	6	697	70	767
	σ_i (tf/m ²)	-242	404	-261	143
S3	σ_s (tf/m ²)	-67	19	141	160
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	46	710	91	801
	σ_i (tf/m ²)	-284	376	-341	35
S4	σ_s (tf/m ²)	-61	37	162	198
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	61	757	105	862
	σ_i (tf/m ²)	-295	328	-391	-63
S5	σ_s (tf/m ²)	-59	43	169	211
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	60	796	109	906
	σ_i (tf/m ²)	-289	287	-407	-121
S6	σ_s (tf/m ²)	-61	37	162	198
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	61	757	105	862
	σ_i (tf/m ²)	-295	328	-391	-63
S7	σ_s (tf/m ²)	-67	19	141	160
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	46	710	91	801
	σ_i (tf/m ²)	-284	376	-341	35
S8	σ_s (tf/m ²)	-79	-14	108	94
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	6	697	70	767
	σ_i (tf/m ²)	-242	404	-261	143
S9	σ_s (tf/m ²)	-99	-62	76	14
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-51	662	49	712
	σ_i (tf/m ²)	-192	469	-184	285
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	288/500

Verificação do estado limite de descompressão para a combinação quase permanente de carregamentos (ELS-D)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2,j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_2 = 0,3$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	192	398	590	-97	493	197	690
	σ _i (tf/m ²)	-200	458	259	695	954	-204	749
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	339	128	467	-168	299	350	649
	σ _i (tf/m ²)	-353	745	393	774	1167	-363	804
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	445	-85	359	-210	150	459	608
	σ _i (tf/m ²)	-462	981	520	824	1343	-477	867
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	508	-185	322	-213	109	524	633
	σ _i (tf/m ²)	-527	1101	573	830	1403	-545	858
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	529	-192	336	-212	124	546	670
	σ _i (tf/m ²)	-549	1113	564	825	1388	-567	821
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	508	-185	322	-213	109	524	633
	σ _i (tf/m ²)	-527	1101	573	830	1403	-545	858
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	445	-85	359	-210	150	459	608
	σ _i (tf/m ²)	-462	981	520	824	1343	-477	867
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	339	128	467	-168	299	350	649
	σ _i (tf/m ²)	-353	745	393	774	1167	-363	804
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	192	398	590	-97	493	197	690
	σ _i (tf/m ²)	-200	458	259	695	954	-204	749
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	37	37	46	82
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	690	24	713	30	743
	σ_i (tf/m ²)	0	749	-88	661	-111	550
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	65	65	65	130
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	649	42	691	42	733
	σ_i (tf/m ²)	0	804	-157	647	-157	490
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	85	85	85	170
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	608	55	664	55	719
	σ_i (tf/m ²)	0	867	-206	660	-205	456
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	98	98	97	195
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	633	63	696	63	759
	σ_i (tf/m ²)	0	858	-236	622	-234	388
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	102	102	101	203
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	670	66	736	66	802
	σ_i (tf/m ²)	0	821	-246	575	-244	331
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	98	98	97	195
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	633	63	696	63	759
	σ_i (tf/m ²)	0	858	-236	622	-234	388
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	85	85	85	170
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	608	55	664	55	719
	σ_i (tf/m ²)	0	867	-206	660	-205	456
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	65	65	65	130
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	649	42	691	42	733
	σ_i (tf/m ²)	0	804	-157	647	-157	490
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	37	37	46	82
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	690	24	713	30	743
	σ_i (tf/m ²)	0	749	-88	661	-111	550
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-99	-62	46	-17
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-51	662	30	692
	σ_i (tf/m ²)	-192	469	-111	359
S2	σ_s (tf/m ²)	-79	-14	65	51
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	6	697	42	739
	σ_i (tf/m ²)	-242	404	-157	247
S3	σ_s (tf/m ²)	-67	19	85	103
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	46	710	55	765
	σ_i (tf/m ²)	-284	376	-205	171
S4	σ_s (tf/m ²)	-61	37	97	134
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	61	757	63	820
	σ_i (tf/m ²)	-295	328	-234	93
S5	σ_s (tf/m ²)	-59	43	101	144
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	60	796	66	862
	σ_i (tf/m ²)	-289	287	-244	42
S6	σ_s (tf/m ²)	-61	37	97	134
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	61	757	63	820
	σ_i (tf/m ²)	-295	328	-234	93
S7	σ_s (tf/m ²)	-67	19	85	103
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	46	710	55	765
	σ_i (tf/m ²)	-284	376	-205	171
S8	σ_s (tf/m ²)	-79	-14	65	51
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	6	697	42	739
	σ_i (tf/m ²)	-242	404	-157	247
S9	σ_s (tf/m ²)	-99	-62	46	-17
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-51	662	30	692
	σ_i (tf/m ²)	-192	469	-111	359
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 291/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do cisalhamento - $t = \infty$

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,k} = V_p^{prot}$ em tempo $t = \infty$

Seção	$V_{g1,k}$ (tf)	$V_{g2,k}$ (tf)	$V_{g3,k}$ (tf)	$V_{p,k}$ (tf)	$V_{q,max,k}$ (tf)	$V_{q,min,k}$ (tf)	V_k^{max} (tf)	V_k^{min} (tf)
S0	29,06	28,18	17,33	0,00	72,45	0,00	147,02	74,57
S1	21,71	22,54	13,87	-38,13	61,49	-2,13	81,48	17,85
S2	16,28	16,91	10,40	-33,56	41,05	-5,43	51,08	4,60
S3	10,86	11,27	6,93	-19,18	33,54	-9,79	43,43	0,09
S4	5,43	5,64	3,47	-4,17	26,66	-14,79	37,02	-4,43
S5	0,00	0,00	0,00	0,00	20,41	-20,41	20,41	-20,41
S6	-5,43	-5,64	-3,47	4,17	14,79	-26,66	4,43	-37,02
S7	-10,86	-11,27	-6,93	19,18	9,79	-33,54	-0,09	-43,43
S8	-16,28	-16,91	-10,40	33,56	5,43	-41,05	-4,60	-51,08
S9	-21,71	-22,54	-13,87	38,13	2,13	-61,49	-17,85	-81,48
S10	-29,06	-28,18	-17,33	0,00	0,00	-72,45	-74,57	-147,02

Verificação do concreto

$$\phi^{bainha} \text{ (m)} = 0,075$$

$$n_{bainhas \text{ alinhadas na alma}} = 1$$

$$V_{sd} = 1,35 \times V_g + \left\{ \begin{matrix} 1,2 \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \times V_p + 1,5 \times V_q$$

$$V_{rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b_{w,nom} \times d$$

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \text{ (fck em MPa)}$$

Seção	V_{sd} (tf)	b_w (m)	H (m)	$\Sigma \Phi/2$ (m)	b_w^{nom} (m)	d (m)	V_{rd2} (tf)
S0	209,4	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2
S1	136,4	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S2	90,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S3	72,3	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S4	55,9	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S5	30,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S6	55,9	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S7	72,3	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S8	90,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S9	136,4	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S10	209,4	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

Parcela do esforço cortante absorvida pelos mecanismos complementares à treliça

$$M_{sdu} = 1,35 \times M_g + 1,5 \times M_q$$

Seção	M _{g1,k}	M _{g2,k}	M _{g3,k}	M _{q máx,k}	M _{q mín,k}	M _{sdu} (tf.m)
S0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
S1	73,57	75,32	46,33	193,15	0,00	553,3
S2	129,99	133,90	82,37	273,77	0,00	878,1
S3	170,29	175,75	108,11	357,75	0,00	1149,7
S4	194,47	200,85	123,55	409,26	0,00	1314,4
S5	202,53	209,22	128,70	426,89	0,00	1369,9
S6	194,47	200,85	123,55	409,26	0,00	1314,4
S7	170,29	175,75	108,11	357,75	0,00	1149,7
S8	129,99	133,90	82,37	273,77	0,00	878,1
S9	73,57	75,32	46,33	193,15	0,00	553,3
S10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

$$V_c = V_{c0} \times (1 + M_0 / M_{sd,m\acute{a}x}) \leq 2 \times V_{c0}$$

$$M_0 = 0,90 \times (\sigma_p^{prot.} \times W)$$

$$V_{c0} = 0,60 \cdot f_{ctd} \cdot bw \cdot d$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,70 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}}$$

com fck em MPa

Seção	$\sigma_p^{prot.}$ (tf/m ²)	W _i (m ³)	M ₀ (tf.m)	1+ Mo/Msd,máx
S0	0	0,782	0,00	1,00
S1	962	0,524	453,41	1,82
S2	1277	0,524	602,08	1,69
S3	1521	0,524	717,12	1,62
S4	1636	0,524	771,28	1,59
S5	1649	0,524	777,51	1,57
S6	1636	0,524	771,28	1,59
S7	1521	0,524	717,12	1,62
S8	1277	0,524	602,08	1,69
S9	962	0,524	453,41	1,82
S10	0	0,782	0,00	1,00

Seção	b_w^{nom} (m)	d (m)	Vc0 (tf)	2 * Vc0 (tf)	Vc (tf)
S0	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5
S1	0,183	1,784	34,3	68,5	62,4
S2	0,183	1,784	34,3	68,5	57,8
S3	0,183	1,784	34,3	68,5	55,6
S4	0,183	1,784	34,3	68,5	54,4
S5	0,183	1,784	34,3	68,5	53,7
S6	0,183	1,784	34,3	68,5	54,4
S7	0,183	1,784	34,3	68,5	55,6
S8	0,183	1,784	34,3	68,5	57,8
S9	0,183	1,784	34,3	68,5	62,4
S10	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

Seção	Vsd (tf)	Vc (tf)	V _{swd} (tf)
S0	209,4	131,5	77,90
S1	136,4	62,4	74,02
S2	90,2	57,8	32,45
S3	72,3	55,6	16,64
S4	55,9	54,4	1,47
S5	30,6	53,7	0,00
S6	55,9	54,4	1,47
S7	72,3	55,6	16,64
S8	90,2	57,8	32,45
S9	136,4	62,4	74,02
S10	209,4	131,5	77,90

Cálculo da taxa volumétrica de armação transversal

$$V_{swd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{swd} / (0,90 \times d \times f_{ywd})$$

$$\rho_{sw} = (A_{sw} / s) \times (1 / b_w) \geq 0,20 \times f_{ctm} / f_{ywk}$$

$$f_{ywk} = f_{yk}$$

Seção	b_w (m)	V _{swd} (tf)	A_{sw}/s (cm ² /m)	ρ_{sw} (cm ² /m ²)	ρ_{sw}^{min} (cm ² /m ²)
S0	0,70	77,9	11,16	15,94	14,04
S1	0,22	74,0	10,60	48,20	14,04
S2	0,22	32,4	4,65	21,13	14,04
S3	0,22	16,6	2,38	10,83	14,04
S4	0,22	1,5	0,21	0,96	14,04
S5	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S6	0,22	1,5	0,21	0,96	14,04
S7	0,22	16,6	2,38	10,83	14,04
S8	0,22	32,4	4,65	21,13	14,04
S9	0,22	74,0	10,60	48,20	14,04
S10	0,70	77,9	11,16	15,94	14,04

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\psi_{fad} = 0,50$$

$$\Delta\sigma_{sw} = \sigma_{sw}^{m\acute{a}x} - \sigma_{sw}^{m\acute{i}n} \quad \sigma_{sw}^{m\acute{a}x/m\acute{i}n} = \frac{V_{m\acute{a}x/m\acute{i}n} - V_c/2}{b_w \times d \times \rho_{sw}}$$

$$f \cdot f \cdot = \frac{\Delta\sigma_{sw}}{\Delta f_{sd}} \quad \Delta f_{sd}^{fad} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 850$$

Seção	V _{máx} (tf)	V _{mín} (tf)	V _c /2 (tf)	$\sigma_{sw}^{m\acute{a}x}$ (tf/cm ²)	$\sigma_{sw}^{m\acute{i}n}$ (tf/cm ²)	$\Delta\sigma_{sw}$ (tf/cm ²)	f.f.	ρ_{sw} (cm ² /m ²)
S0	110,80	74,57	65,7	2,26	0,44	1,82	2,14	34,13
S1	50,73	18,92	31,2	1,03	0,00	1,03	1,22	58,61
S2	30,56	7,31	28,9	0,20	0,00	0,20	1,00	21,13
S3	26,66	4,99	27,8	0,00	0,00	0,00	1,00	10,83
S4	23,69	2,97	27,2	0,00	0,00	0,00	1,00	0,96
S5	10,20	-10,20	26,9	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S6	-2,97	-23,69	27,2	0,00	0,00	0,00	1,00	0,96
S7	-4,99	-26,66	27,8	0,00	0,00	0,00	1,00	10,83
S8	-7,31	-30,56	28,9	0,00	0,20	0,20	1,00	21,13
S9	-18,92	-50,73	31,2	0,00	1,03	1,03	1,22	58,61
S10	-74,57	-110,80	65,7	0,44	2,26	1,82	2,14	34,13

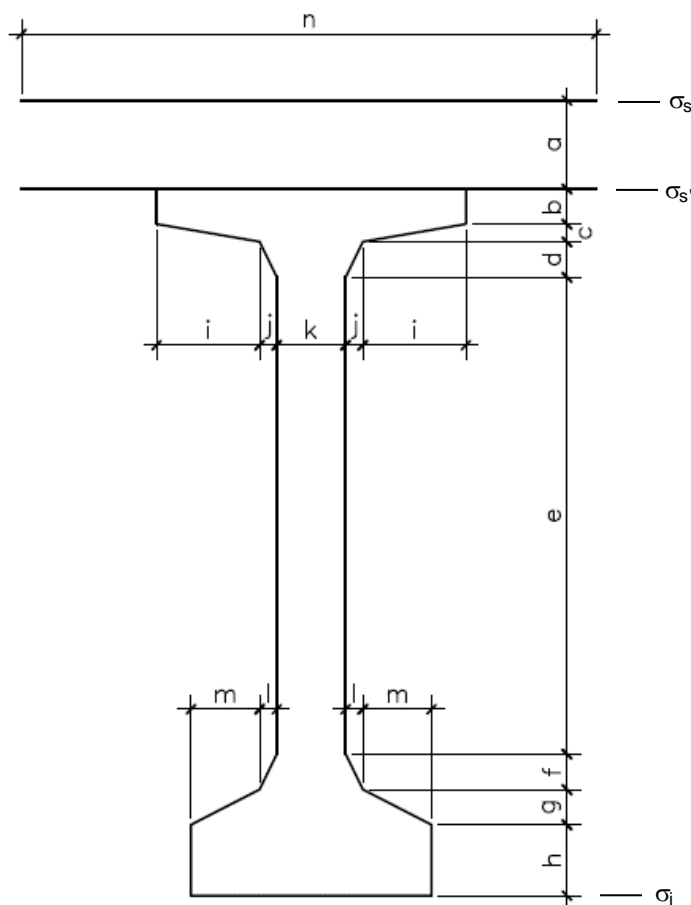
Determinação dos estribos e seus espaçamentos

$$s = (n \times A_s^{1\text{perna}}) / (\rho_{sw} \times ff \times b_w^{medio})$$

Seção	b _w (m)	ρ_{wu} (cm ² /m ²)	ρ_{wu} (Méd/Mín)	n	Φ (mm)	A _s ^{1perna}	S _{calculado} (cm)	S _{adotado} (cm)
S0	0,70	34,13						
			46,37	2	12,5	1,23	11,5	10,0
S1	0,22	58,61						
			39,87	2	10,0	0,79	17,9	17,5
S2	0,22	21,13						
			15,98	2	8,0	0,50	28,6	27,5
S3	0,22	10,83						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S4	0,22	0,96						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S5	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S6	0,22	0,96						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S7	0,22	10,83						
			15,98	2	8,0	0,50	28,6	27,5
S8	0,22	21,13						
			39,87	2	10,0	0,79	17,9	17,5
S9	0,22	58,61						
			46,37	2	12,5	1,23	11,5	10,0
S10	0,70	34,13						

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à ruptura)

Seção S₅



$$\begin{aligned} b_f = n \text{ (m)} &= 3,300 \\ h_{laje} = a \text{ (m)} &= 0,230 \\ b \text{ (m)} &= 0,050 \\ c \text{ (m)} &= 0,050 \\ d \text{ (m)} &= 0,100 \\ e \text{ (m)} &= 1,400 \\ f \text{ (m)} &= 0,200 \\ g \text{ (m)} &= 0,100 \\ h \text{ (m)} &= 0,100 \\ i \text{ (m)} &= 0,000 \\ j \text{ (m)} &= 0,490 \\ b_w = k \text{ (m)} &= 0,220 \end{aligned}$$

$$H_{total} \text{ (m)} = 2,000$$

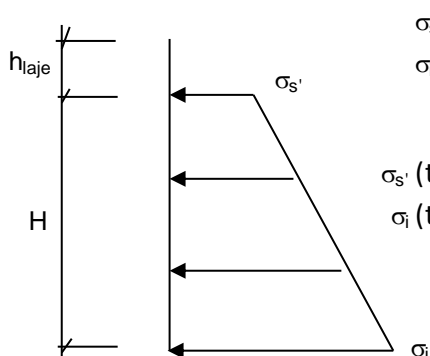
Materiais:

$$\text{Concreto laje } f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0 \quad E_{cs, laje} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$$

$$\text{Concreto viga } f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0 \quad E_{cs, viga} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$$

$$\text{Aço: CP-190 RB} \quad E_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



$$\sigma_{s'} = \sigma_{s'} \text{ da seção } S_5 \text{ (Fase 7)}$$

$$\sigma_i = \sigma_i \text{ da seção } S_5 \text{ (Fase 7)}$$

$$\sigma_{s'} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 796,5$$

$$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)} = 286,7$$

Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

	$\sigma_{sp}^{t=\infty}$ (kgf/cm ²)
C1	11.038
C2	11.108
C3	11.037
C4	11.051
C5	10.888
C6	0
C7	0
C8	0
C9	0

Solicitações atuantes na seção S₅

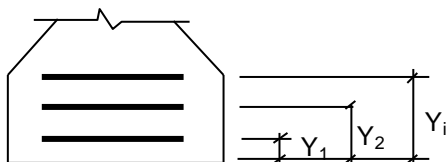
$$M_{g1} \text{ (tf.m)} = 202,5$$

$$M_q \text{ (tf.m)} = 426,9$$

$$M_{g2} \text{ (tf.m)} = 209,2$$

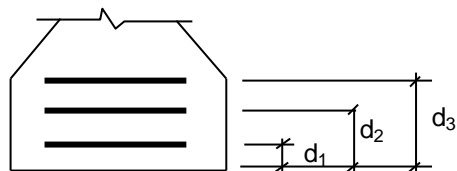
$$M_{g3} \text{ (tf.m)} = 128,7$$

Cálculo do C.G. da armadura de protensão



	y (m)
C1	0,420
C2	0,270
C3	0,120
C4	0,120
C5	0,120
C6	
C7	
C8	
C9	

Cálculo do C.G. da armadura passiva complementar



1ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 6$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 16$$

$$d_1 \text{ (m)} = 0,060$$

$$\text{C.G. (cm)} = 0,060$$

2ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_2 \text{ (m)} = 0,100$$

3ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

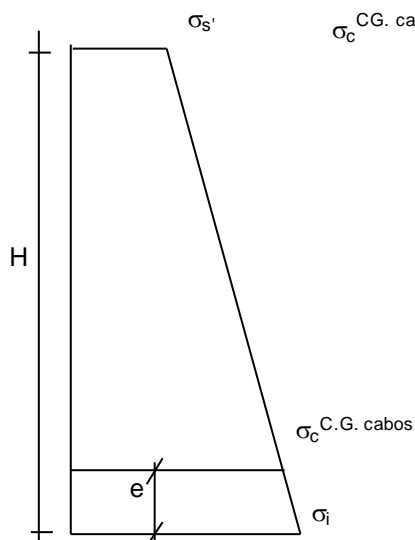
$$d_3 \text{ (m)} = 0,150$$

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=\infty} / E_{sp}$$

	$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}}$
C1	0,0055
C2	0,0056
C3	0,0055
C4	0,0055
C5	0,0054
C6	0,0000
C7	0,0000
C8	0,0000
C9	0,0000

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



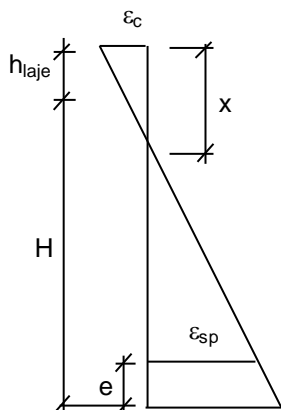
$$\sigma_c^{\text{C.G. cabos}} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma_s') / H] + \sigma_s'$$

$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{\text{C.G. cabos}} / E_{cs}$$

	y (m)	σ_c (tf/m ²)	$\epsilon_{sp}^{\text{descomp}}$
C1	0,420	393,8	0,00012
C2	0,270	355,5	0,00011
C3	0,120	317,3	0,00010
C4	0,120	317,3	0,00010
C5	0,120	317,3	0,00010
C6	0,000	0,0	0,00000
C7	0,000	0,0	0,00000
C8	0,000	0,0	0,00000
C9	0,000	0,0	0,00000

Equilíbrio da seção:

Deformada admitida para a seção S₅



$$\epsilon_c (\text{‰}) = 1,050$$

$$\epsilon_{sp} (\text{‰}) = 10,000$$

$$x = [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0,200$$

Cálculo da resultante de compressão

Lamela	y_{1i} (m)	y_{2i} (m)	B1 (m)	B2 (m)	ε_{ci} (‰)	σ_{cd} (tf/m ²)	F_i (tf)
1	0,000	0,040	3,300	3,300	0,95	1753	231,9
2	0,040	0,080	3,300	3,300	0,74	1457	192,8
3	0,080	0,120	3,300	3,300	0,53	1108	146,6
4	0,120	0,160	3,300	3,300	0,32	705	93,3
5	0,160	0,200	3,300	3,300	0,11	248	32,9
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 697,4$$

$$C.G._{cc} \text{ (m)} = 0,072$$

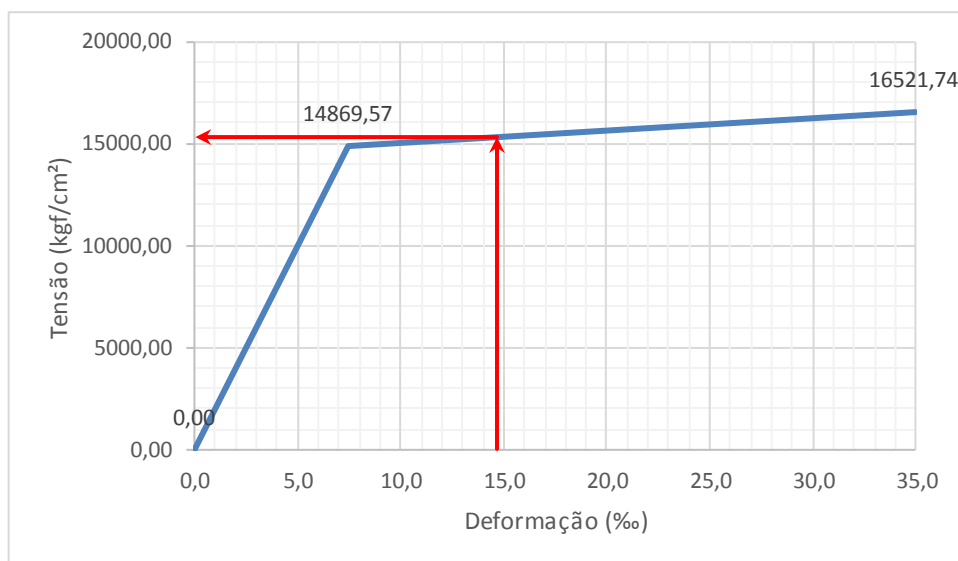
Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

	y (m)	ϵ_{sp} (‰)	ϵ_{sp}^{total} (‰)
C1	0,420	9,03	14,670
C2	0,270	9,78	15,441
C3	0,120	10,00	15,618
C4	0,120	10,00	15,625
C5	0,120	10,00	15,543
C6	0,000	0,00	0,000
C7	0,000	0,00	0,000
C8	0,000	0,00	0,000
C9	0,000	0,00	0,000

Do diagrama tensão-deformação preconizado na NBR 6118, tem-se

$$f_{pyd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.869,6 \quad f_{ptd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 16.521,7$$



$$R_{st,CP} = A_{sp} \times \sigma_{sp}$$

	σ_{sp} (kgf/cm ²)	A_{sp} (cm ²)	$R_{st,CP-190}$ (tf)
C1	15.303	8,40	128,55
C2	15.349	8,40	128,94
C3	15.360	8,40	129,02
C4	15.360	8,40	129,03
C5	15.356	8,40	128,99
C6	0	0,00	0,00
C7	0	0,00	0,00
C8	0	0,00	0,00
C9	0	0,00	0,00
$R_{st,CP}$ (tf) =			644,52

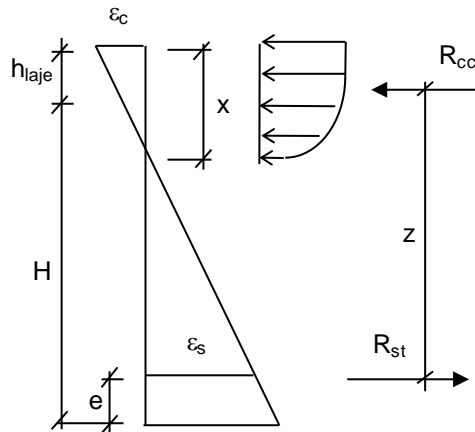
$$A_s^{CA-50} (cm^2) = 12,064$$

$$R_{st,CA-50} = A_s^{CA-50} \times \sigma_s$$

$$R_{st,CA-50} (tf) = 52,5$$

$$R_{st} = R_{st,CP} + R_{st,CA-50}$$

$$R_{st} (tf) = 697,0$$



	z (m)
C1	1,738
C2	1,888
C3	2,038
C4	2,038
C5	2,038
C6	0,000
C7	0,000
C8	0,000
C9	0,000
CA-50	2,098

$$z = H + h_{laje} - C.G._{cc} - e$$

$$M_i = R_{st,i} * z_i$$

$$z = \sum M_i / R_{st}$$

$$z (m) = 1,960$$

Assim temos:


$$M_u = R_{st} * z \quad M_u (tf.m) = 1.370$$

$$M_d = 1,35 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,5 * (M_q) + \Delta F_{sd} * z$$

$$\Delta F_{sd} (tf) = 0,00$$

$$M_d (tf.m) = 1.370$$

$$\text{Então: } M_u / M_d = 1,00 > 1,00 \text{ (Atende)}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 301/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

5.6 VIGAS DE 27,40m (VIGA INTERNA À CURVA DO VÃO ENTRE EIXOS 02A E 03A – RAMO 2000)

Características geométricas das seções

As características das seções serão calculadas considerando contribuição das armaduras passivas principais (superior e inferior), além das armaduras ativas.

As características das seções do conjunto viga+laje serão calculadas considerando a relação entre os módulos de elasticidade do concreto da viga e da laje, n .

$$f_{ck,viga} \text{ (MPa)} = 40 \quad f_{ck,laje} \text{ (MPa)} = 40 \quad \text{tipo de agregado considerado: granito ou gnaiss}$$

$$E_{CS,viga} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad E_{CS,laje} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad n = 1,00$$

$$E_s \text{ (MPa)} = 200.000 \quad \alpha = 6,27$$

Viga Isolada

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,700	0,050	1,900	1,850	0,048	1,877	0,089	0,167	0,000
4	0,700	0,700	1,450	1,850	0,400	1,015	1,125	1,142	1,285	0,178
5	0,700	0,700	0,200	0,400	0,200	0,140	0,300	0,042	0,013	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,463 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 2,101 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,519 & V_s' \text{ (m)} &= 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,541 \\
A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,499 \\
Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
\end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A_s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,463 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,541 \\
I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,519 & V_i \text{ (m)} &= 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,499
\end{aligned}$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A _s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

[illegible]

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\
 Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 & & & &
 \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned}
 A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\
 H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\
 I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369
 \end{aligned}$$

Conjunto viga + laje

$$h_{\text{laje}} \text{ (m)} = 0,23$$

$$\text{intereixo de vigas (m)} = 2,500$$

Vigas centrais

Seção S0

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 2,038$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,887$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,126$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,657$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,521$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,999$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,343$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,743$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,306$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,728$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,050$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,498$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,535$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,765$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,502$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,509$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,306$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,765$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,728$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,498$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,502$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,050$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,535$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,509$$

Seção S3

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,306$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,765$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,728$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,498$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,502$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,050$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,535$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,509$$

Seção S4

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,306$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,765$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,728$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,498$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,502$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,050$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,535$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,509$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	2,500	2,500	0,100	0,230	0,130	0,250	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,500	2,500	0,130	0,130	0,000	0,325	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,575$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,306$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,765$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,728$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,498$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,502$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,050$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,535$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,509$$

Vigas de bordo

Seção S0

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	3,020	3,020	0,100	0,230	0,130	0,302	0,180	0,054	0,010	0,000
2	3,020	3,020	0,130	0,130	0,000	0,393	0,065	0,026	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,695$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,012$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 2,157$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 1,067$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,844$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,614$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,386$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,264$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,737$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,769$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	3,020	3,020	0,100	0,230	0,130	0,302	0,180	0,054	0,010	0,000
2	3,020	3,020	0,130	0,130	0,000	0,393	0,065	0,026	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,695$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,012$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,426$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,807$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,677$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,447$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,553$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,192$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,805$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,519$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	3,020	3,020	0,100	0,230	0,130	0,302	0,180	0,054	0,010	0,000
2	3,020	3,020	0,130	0,130	0,000	0,393	0,065	0,026	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,695$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,012$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,426$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,807$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,677$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,447$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,553$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,192$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,805$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,519$$

Seção S3

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	3,020	3,020	0,100	0,230	0,130	0,302	0,180	0,054	0,010	0,000
2	3,020	3,020	0,130	0,130	0,000	0,393	0,065	0,026	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,695$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,012$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,426$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,807$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,677$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,447$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,553$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,192$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,805$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,519$$

Seção S4

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	3,020	3,020	0,100	0,230	0,130	0,302	0,180	0,054	0,010	0,000
2	3,020	3,020	0,130	0,130	0,000	0,393	0,065	0,026	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,695$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,012$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,426$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,807$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,677$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,447$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,553$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,192$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,805$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,519$$

Seção S5

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	3,020	3,020	0,100	0,230	0,130	0,302	0,180	0,054	0,010	0,000
2	3,020	3,020	0,130	0,130	0,000	0,393	0,065	0,026	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,695$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,012$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,426$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,807$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,677$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,447$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,553$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,192$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,805$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,519$$

Resumo das características das seções

Viga isolada

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	1,463	0,519	-	0,960	1,040	-	0,541	0,499
S1	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S2	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S3	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S4	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S5	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369

Conjunto viga+laje

Vigas centrais

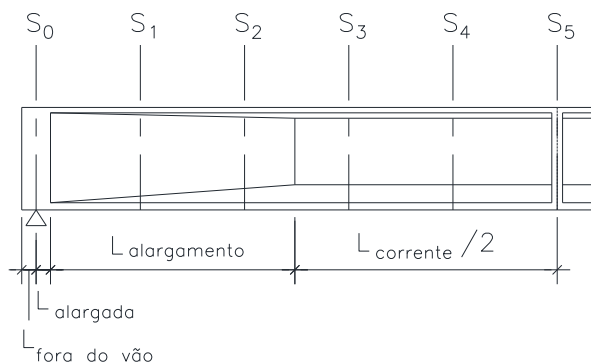
	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,038	0,999	0,887	0,657	1,343	1,126	1,521	0,743
S1	1,306	0,765	0,728	0,498	1,502	1,050	1,535	0,509
S2	1,306	0,765	0,728	0,498	1,502	1,050	1,535	0,509
S3	1,306	0,765	0,728	0,498	1,502	1,050	1,535	0,509
S4	1,306	0,765	0,728	0,498	1,502	1,050	1,535	0,509
S5	1,306	0,765	0,728	0,498	1,502	1,050	1,535	0,509

Vigas de bordo

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,157	1,067	0,844	0,614	1,386	1,264	1,737	0,769
S1	1,426	0,807	0,677	0,447	1,553	1,192	1,805	0,519
S2	1,426	0,807	0,677	0,447	1,553	1,192	1,805	0,519
S3	1,426	0,807	0,677	0,447	1,553	1,192	1,805	0,519
S4	1,426	0,807	0,677	0,447	1,553	1,192	1,805	0,519
S5	1,426	0,807	0,677	0,447	1,553	1,192	1,805	0,519

Cargas permanentes

Peso próprio da viga



$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 26,80$$

$$\Delta S \text{ (m)} = 2,680$$

$$\gamma_{\text{concreto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,50$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$L_{\text{alargada}} \text{ (m)} = 0,900$$

$$L_{\text{alargamento}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$L_{\text{corrente}} \text{ (m)} = 24,400$$

$$g_{\text{fora do vão}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$g_{\text{alargada}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$g_{\text{corrente}} \text{ (tf/m)} = 1,828$$

$$n_{\text{septos de vão}} = 1$$

$$X_{\text{septo de vão 1}} \text{ (m)} = -$$

$$X_{\text{septo de vão 2}} \text{ (m)} = -$$

$$e_{\text{septos de vão}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$R_{g1} \text{ (tf)} = 27,51$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	26,4	0,0	-	0,0	0,0
S1	19,6	60,1	-	156,9	-163,0
S2	14,7	106,0	-	276,8	-287,6
S3	9,8	138,8	-	362,5	-376,6
S4	4,9	158,5	-	413,9	-430,0
S5	0,0	165,1	-	431,0	-447,8

Diagrama de Cortante (tf)

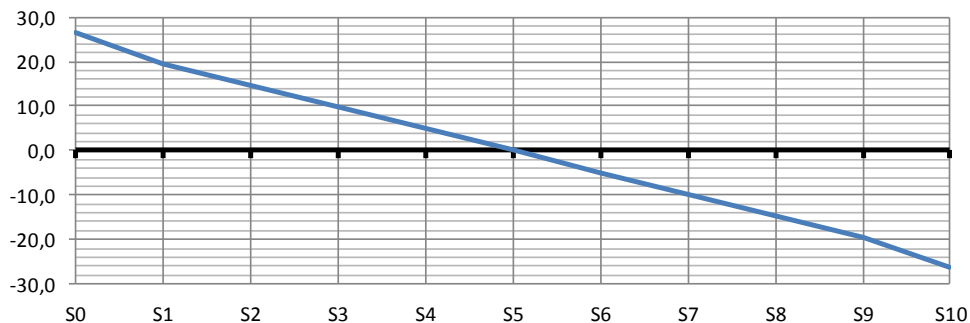
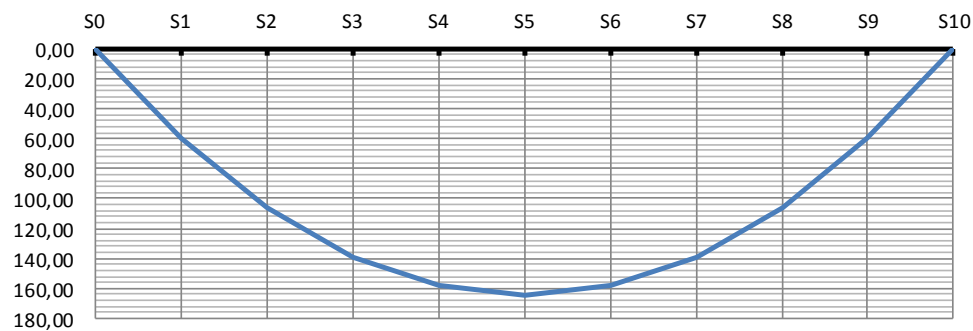


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Peso próprio da laje e transversinas

Vigas centrais

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,438$$

$$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$$

$$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 1,000$$

$$R_{g2} \text{ (tf)} = 21,77$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	19,26	0,00	-	0,0	0,0
S1	15,41	46,46	-	121,3	-126,0
S2	11,56	82,60	-	215,6	-224,0
S3	7,71	108,41	-	283,0	-294,0
S4	3,85	123,90	-	323,4	-336,0
S5	0,00	129,06	-	336,9	-350,0

Diagrama de Cortante (tf)

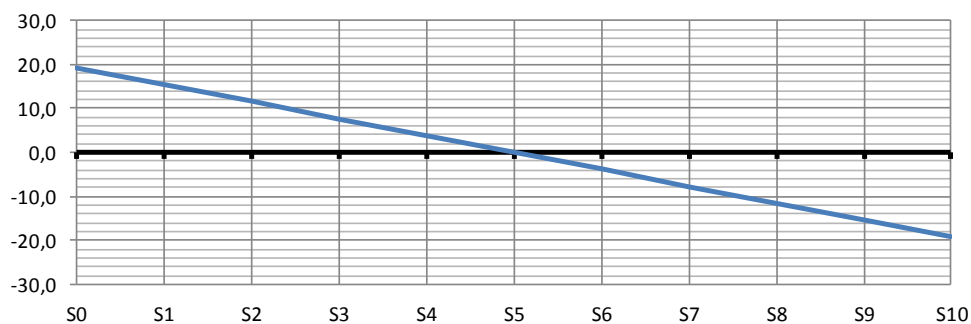
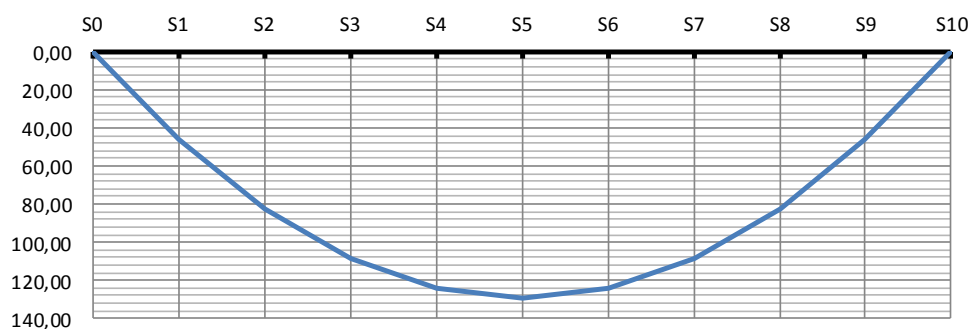


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$

$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,737$

$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 0,500$

$R_{g2} \text{ (tf)} = 25,59$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	23,27	0,00	-	0,0	0,0
S1	18,62	56,13	-	146,5	-152,2
S2	13,96	99,78	-	260,5	-270,6
S3	9,31	130,96	-	341,9	-355,2
S4	4,65	149,67	-	390,7	-405,9
S5	0,00	155,90	-	407,0	-422,8

Diagrama de Cortante (tf)

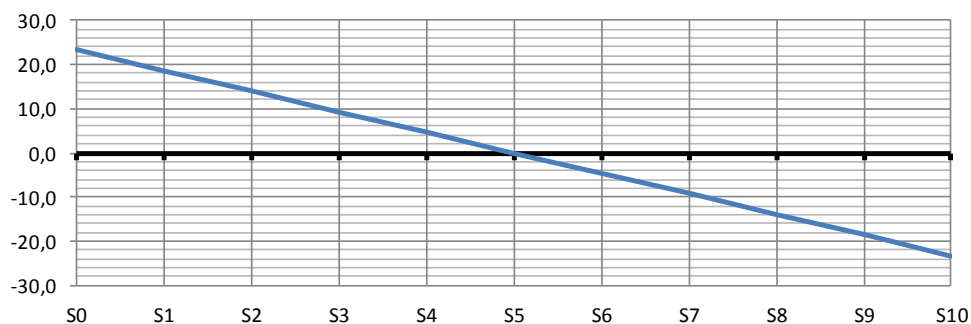
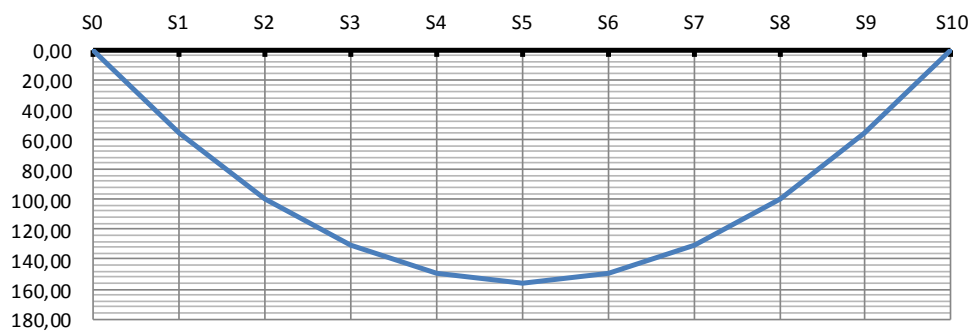


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Sobrecarga Permanente Rodoviária

Vigas centrais

$$\begin{aligned} h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} &= 0,070 & L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} &= 1,050 \\ b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} &= 2,500 \\ \gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} &= 2,40 & g_3 \text{ (tf/m)} &= 0,420 \\ R_{g3} \text{ (tf)} &= 6,07 \end{aligned}$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	5,63	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	4,50	13,57	12,9	8,8	-26,7
S2	3,38	24,13	23,0	15,7	-47,4
S3	2,25	31,67	30,2	20,6	-62,2
S4	1,13	36,20	34,5	23,6	-71,1
S5	0,00	37,71	35,9	24,6	-74,0

Diagrama de Cortante (tf)

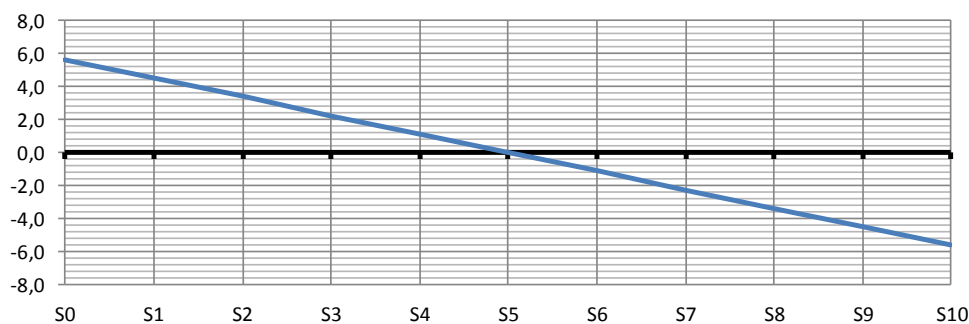
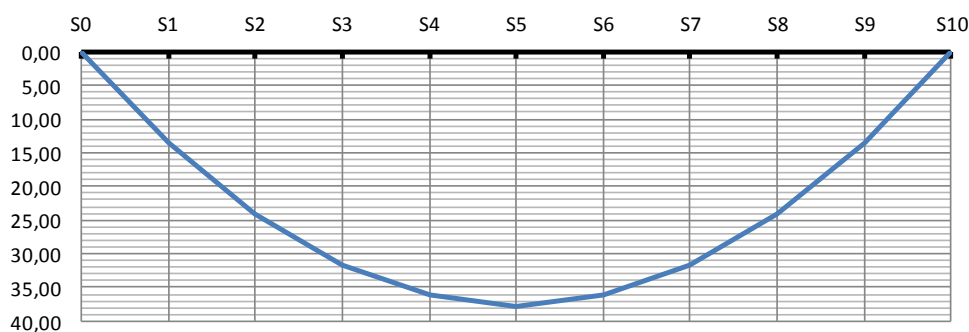


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$$\begin{aligned}
 b_{\text{guarda corpo}} &= 0,000 \\
 b_{\text{passeio}} &= 0,000 \\
 b_{\text{guarda-rodas}} &= 0,400 \\
 h_{\text{asfalto}} &= 0,070 & L_{\text{fora do vão}} &= 1,050 \\
 b_{\text{asfalto}} &= 2,620 & g_{\text{guarda-rodas}} &= 0,580 \\
 \gamma_{\text{asfalto}} &= 2,40 & g_{\text{guarda corpo}} &= 0,000 \\
 h_{\text{pingadeira}} &= 0,10 & g_{\text{passeio}} &= 0,000 \\
 b_{\text{pingadeira}} &= 0,40 & g_{\text{pingadeiras}} &= 0,100 \\
 g_3 &= 1,120
 \end{aligned}$$

$$R_{g3} \text{ (tf)} = 16,19$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	15,01	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	12,01	36,20	30,4	20,1	-69,7
S2	9,01	64,36	54,0	35,7	-123,9
S3	6,00	84,48	70,9	46,8	-162,7
S4	3,00	96,55	81,0	53,5	-185,9
S5	0,00	100,57	84,4	55,7	-193,6

Diagrama de Cortante (tf)

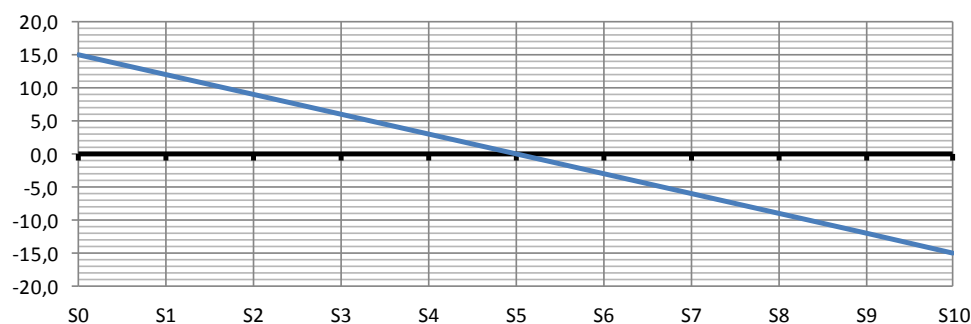
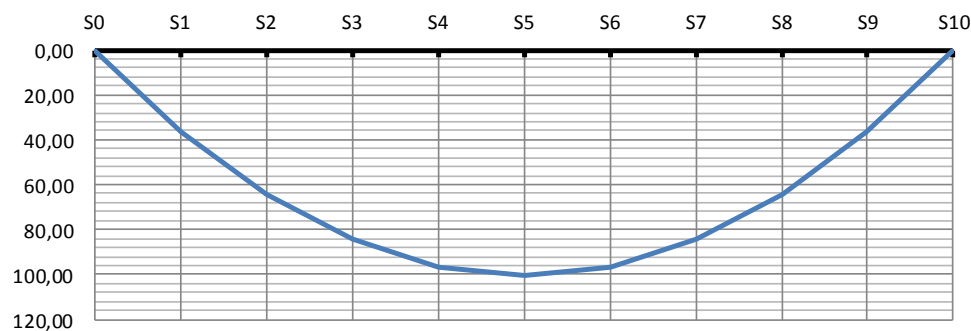



Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-iv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 315/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Carga móvel rodoviária

$$L_{\text{transv}} \text{ (m)} = 13,54$$

$$n_{\text{vigas}} = 5$$

	$X_i \text{ (m)}$	X_i^2	R_{V1}	R_{V2}	R_{V3}	R_{V4}	R_{V5}	R_{V6}
V1	5,00	25,00	0,600	0,400	0,200	0,000	-0,200	-
V2	2,50	6,25	0,400	0,300	0,200	0,100	0,000	-
V3	0,00	0,00	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	-
V4	-2,50	6,25	0,000	0,100	0,200	0,300	0,400	-
V5	-5,00	25,00	-0,200	0,000	0,200	0,400	0,600	-
V6		-	-	-	-	-	-	-
	ΣX_i^2	62,500						

$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 26,80$$

$$P \text{ (tf/roda)} = 6,000$$

$$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,500$$

$$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$$

Coefficiente de impacto vertical (CIV)

$$CIV = 1,35 \text{ para vãos menores que } 10\text{m}$$

$$CIV = 1 + 1,06 \left(\frac{20}{L + 50} \right) \text{ para vãos maiores que } 10\text{m}$$

$$CIV = 1,28$$

Coefficiente do número de faixas (CNF)

$$CNF = 1 - 0,05(n - 2) > 0,9$$

$$n_{\text{faixas}} = 2$$

$$CNF = 1,00$$

Coefficiente de impacto adicional (CIA)

$$CIA = 1,25 \text{ para obras em concreto ou mistas}$$

$$CIA = 1,15 \text{ para obras em aço}$$

$$CIA = 1,25$$

Aplicado apenas nas seções a uma distância normal à junta inferior a 5m.

Trem-tipo para V1 (viga de bordo)

$$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$$

$$i = 0,080$$

$$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$$

$$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 8,870$$

	X (m)	Y
a	6,770	0,742
b	6,770	0,742
c	6,370	0,710
d	5,870	0,670
e	3,870	0,510
f	-2,500	0,000
g	-5,830	-0,266
h	-6,230	-0,298
i	-6,230	-0,298

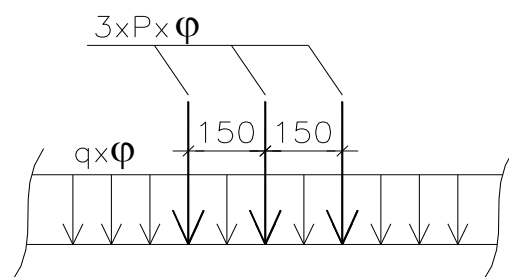
$$P \text{ (tf/eixo)} = 7,075 \quad (\text{sem impacto})$$

$$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,574 \quad (\text{sem impacto})$$

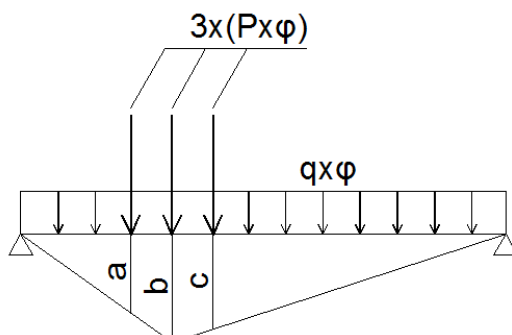
$$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$$

$$P \text{ (tf/eixo)} = 9,028 \quad (\text{com CIV e CNF})$$

$$q_{\text{total}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 2,008 \quad (\text{com CIV e CNF})$$

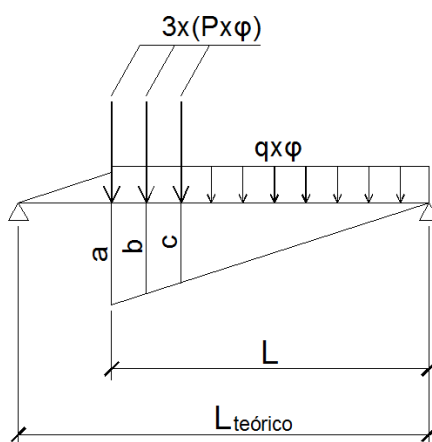


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	2,68	2,112	2,412	2,262	157,70
S2	5,36	3,688	4,288	3,988	223,39
S3	8,04	4,728	5,628	5,178	291,67
S4	10,72	5,532	6,432	5,832	333,73
S5	13,40	5,950	6,700	5,950	348,19
S6	16,08	5,532	6,432	5,832	333,73
S7	18,76	4,728	5,628	5,178	291,67
S8	21,44	3,688	4,288	3,988	223,39
S9	24,12	2,112	2,412	2,262	157,70
S10	26,80	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	26,80	1,000	0,944	0,888	65,59
S1	2,68	24,12	0,900	0,844	0,788	55,82
S2	5,36	21,44	0,800	0,744	0,688	37,37
S3	8,04	18,76	0,700	0,644	0,588	30,63
S4	10,72	16,08	0,600	0,544	0,488	24,42
S5	13,40	13,40	0,500	0,444	0,388	18,75
S6	16,08	10,72	0,400	0,344	0,288	13,62
S7	18,76	8,04	0,300	0,244	0,188	9,03
S8	21,44	5,36	0,200	0,144	0,088	4,98
S9	24,12	2,68	0,100	0,044	0,000	1,96
S10	26,80	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V1

	$V_{C.M.} \text{ (tf)}$	$M_{C.M.} \text{ (tf.m)}$	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	65,59	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	55,82	157,70	132,4	87,4	-303,7
S2	37,37	223,39	187,5	123,8	-430,1
S3	30,63	291,67	244,8	161,6	-561,6
S4	24,42	333,73	280,1	184,9	-642,6
S5	18,75	348,19	292,2	192,9	-670,5
S6	13,62	333,73	280,1	184,9	-642,6
S7	9,03	291,67	244,8	161,6	-561,6
S8	4,98	223,39	187,5	123,8	-430,1
S9	1,96	157,70	132,4	87,4	-303,7
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Trem-tipo para V2 (viga central)

$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$

$i = 0,040$

$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$

$L_{C.M.} \text{ (m)} = 11,370$

	$X \text{ (m)}$	Y
a	6,770	0,471
b	6,770	0,471
c	6,370	0,455
d	5,870	0,435
e	3,870	0,355
f	-5,000	0,000
g	-5,830	-0,033
h	-6,230	-0,049
i	-6,230	-0,049

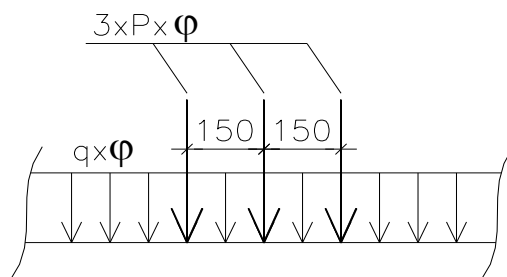
$P \text{ (tf/eixo)} = 4,738$ (sem impacto)

$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,293$ (sem impacto)

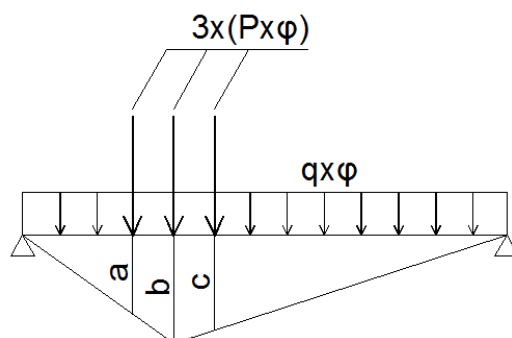
$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$

$P \text{ (tf/eixo)} = 6,045$ (com CIV e CNF)

$p \text{ (tf/m)} = 1,650$ (com CIV e CNF)

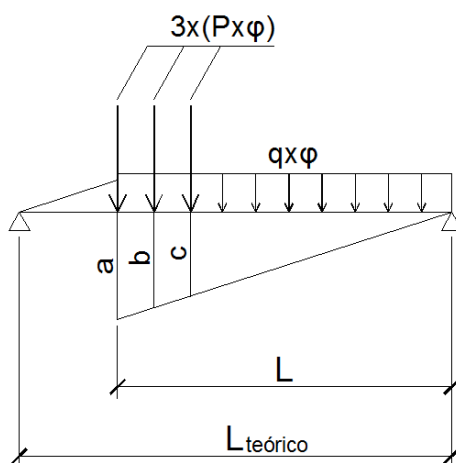


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	2,68	2,112	2,412	2,262	117,93
S2	5,36	3,688	4,288	3,988	167,11
S3	8,04	4,728	5,628	5,178	218,32
S4	10,72	5,532	6,432	5,832	249,76
S5	13,40	5,950	6,700	5,950	260,55
S6	16,08	5,532	6,432	5,832	249,76
S7	18,76	4,728	5,628	5,178	218,32
S8	21,44	3,688	4,288	3,988	167,11
S9	24,12	2,112	2,412	2,262	117,93
S10	26,80	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	26,80	1,000	0,944	0,888	49,03
S1	2,68	24,12	0,900	0,844	0,788	41,52
S2	5,36	21,44	0,800	0,744	0,688	27,64
S3	8,04	18,76	0,700	0,644	0,588	22,51
S4	10,72	16,08	0,600	0,544	0,488	17,82
S5	13,40	13,40	0,500	0,444	0,388	13,58
S6	16,08	10,72	0,400	0,344	0,288	9,78
S7	18,76	8,04	0,300	0,244	0,188	6,42
S8	21,44	5,36	0,200	0,144	0,088	3,50
S9	24,12	2,68	0,100	0,044	0,000	1,36
S10	26,80	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V2

	V _{C.M.} (tf)	M _{C.M.} (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	49,03	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	41,52	117,93	112,3	76,8	-231,5
S2	27,64	167,11	159,2	108,9	-328,1
S3	22,51	218,32	207,9	142,3	-428,6
S4	17,82	249,76	237,9	162,8	-490,4
S5	13,58	260,55	248,1	169,8	-511,5
S6	9,78	249,76	237,9	162,8	-490,4
S7	6,42	218,32	207,9	142,3	-428,6
S8	3,50	167,11	159,2	108,9	-328,1
S9	1,36	117,93	112,3	76,8	-231,5
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Cálculo da Protensão

Módulo de elasticidade do cabo



E_p (MPa) = 200.000

E_p (kgf/cm²) = 2.000.000

Tensão inicial no cabo:

Pós-Tensão -

$\sigma_{p0} \leq$

$$\left\{ \begin{array}{l} -0,74 * f_{ptk} = 14060 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,82 * f_{pk} = 14022 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

Pré-Tensão -

$\sigma_{p0} \leq$

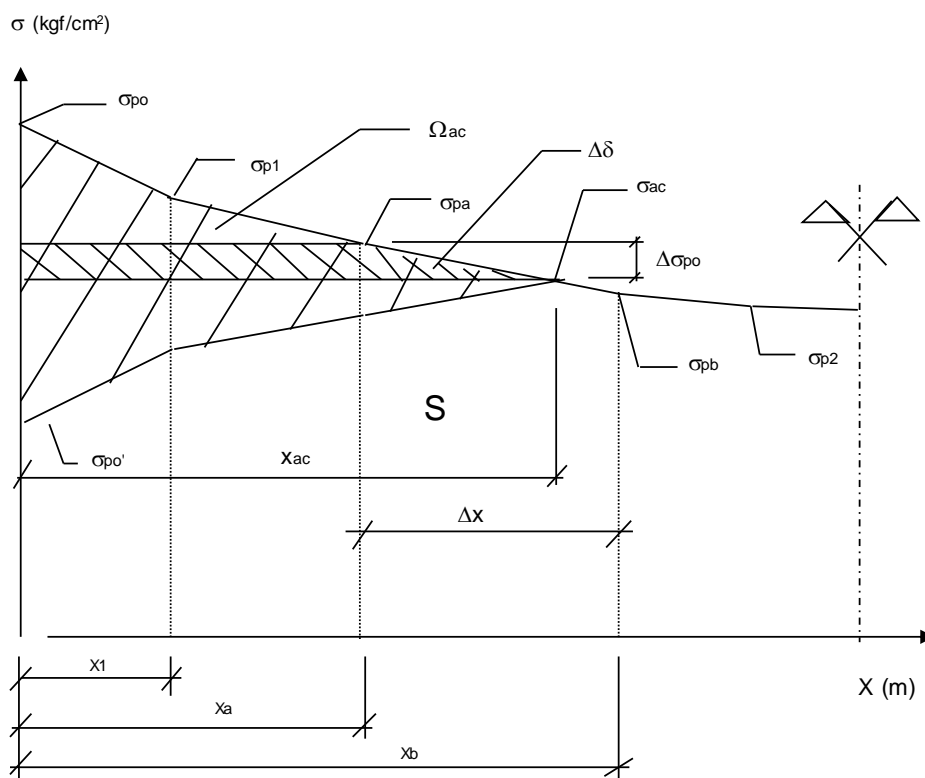
$$\left\{ \begin{array}{l} -0,77 * f_{ptk} = 14630 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,85 * f_{pk} = 14535 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

onde: f_{ptk} (kg/cm²) = 19.000

f_{pyk} (kgf/cm²) = 17.100

Cabo	Etapa	Sistema
C1	1	Viga isolada
C2	1	Viga isolada
C3	1	Viga isolada
C4	2	Viga isolada
C5	2	Viga isolada
C6		-
C7		-
C8		-
C9		-


Cálculo das perdas imediatas de protensão



A tensão após as perdas por atrito é dada por:

$$\sigma_{p0}(x) = \sigma_{p0} * e^{-\mu(\alpha + k * x)}$$

- onde:
- $\sigma_{p0}(x)$ é a tensão no cabo após perdas por atrito numa seção situada à uma distância (x) da ancoragem do cabo.
 - (x) é a distância entre a ancoragem e a seção da viga onde está sendo calculada a tensão $\sigma_{p0}(x)$.
 - μ é o coeficiente de atrito entre o cabo e a bainha. Adota-se $\mu = 0,20$.
 - K é o desvio angular por unidade de comprimento. Adota-se $K = 0,01 \text{ rad/m}$.
 - α é variação angular entre a ancoragem e a seção em (x).

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 322/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cabo C1

Unidade de protensão → 6 ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{reco da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	27,10	1,700	8,000		16,00	1,000	14022
S1	2,910	24,19	1,291	8,000	0,00	16,00	0,994	13941
S2	5,570	21,53	0,921	7,400	0,60	15,40	0,987	13838
S3	8,230	18,87	0,636	4,800	3,20	12,80	0,973	13640
S4	10,890	16,21	0,469	2,300	5,70	10,30	0,959	13450
S5	13,550	13,55	0,420	0,000	8,00	8,00	0,946	13271
S6	16,210	10,89	0,469	-2,300	10,30	5,70	0,959	13450
S7	18,870	8,23	0,636	-4,800	12,80	3,20	0,973	13640
S8	21,530	5,57	0,921	-7,400	15,40	0,60	0,987	13838
S9	24,190	2,91	1,291	-8,000	16,00	0,00	0,994	13941
S10	27,100	0,00	1,700	-8,000	16,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 93 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

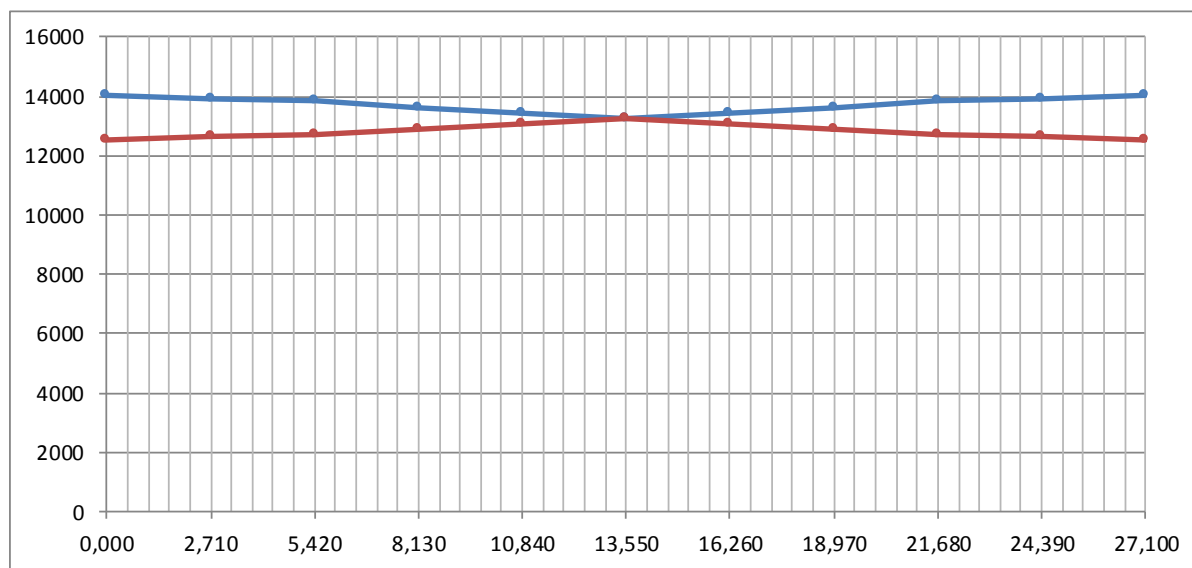
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 93 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por reco da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0
S1	12622	106,0	1,019	0,272	105,0	-14,8	28,6
S2	12716	106,8	1,019	-0,098	105,9	-13,8	-10,4
S3	12901	108,4	1,019	-0,384	108,0	-9,1	-41,4
S4	13083	109,9	1,019	-0,550	109,8	-4,4	-60,4
S5	13247	111,3	1,019	-0,599	111,3	0,0	-66,7
S6	13083	109,9	1,019	-0,550	109,8	4,4	-60,4
S7	12901	108,4	1,019	-0,384	108,0	9,1	-41,4
S8	12716	106,8	1,019	-0,098	105,9	13,8	-10,4
S9	12622	106,0	1,019	0,272	105,0	14,8	28,6
S10	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem
(tensões em kgf/cm² e comprimento em metros)

Cabo C2

Unidade de protensão → 6 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	27,10	1,350	6,500		13,00	1,000	14022
S1	2,910	24,19	1,019	6,500	0,00	13,00	0,994	13941
S2	5,570	21,53	0,716	6,500	0,00	13,00	0,989	13867
S3	8,230	18,87	0,452	4,500	2,00	11,00	0,977	13697
S4	10,890	16,21	0,304	1,900	4,60	8,40	0,963	13501
S5	13,550	13,55	0,270	0,000	6,50	6,50	0,951	13341
S6	16,210	10,89	0,304	-1,900	8,40	4,60	0,963	13501
S7	18,870	8,23	0,452	-4,500	11,00	2,00	0,977	13697
S8	21,530	5,57	0,716	-6,500	13,00	0,00	0,989	13867
S9	24,190	2,91	1,019	-6,500	13,00	0,00	0,994	13941
S10	27,100	0,00	1,350	-6,500	13,00		1,000	14022

Δl^{esq} (mm) = 93 (alongamento previsto na ancoragem esquerda)*

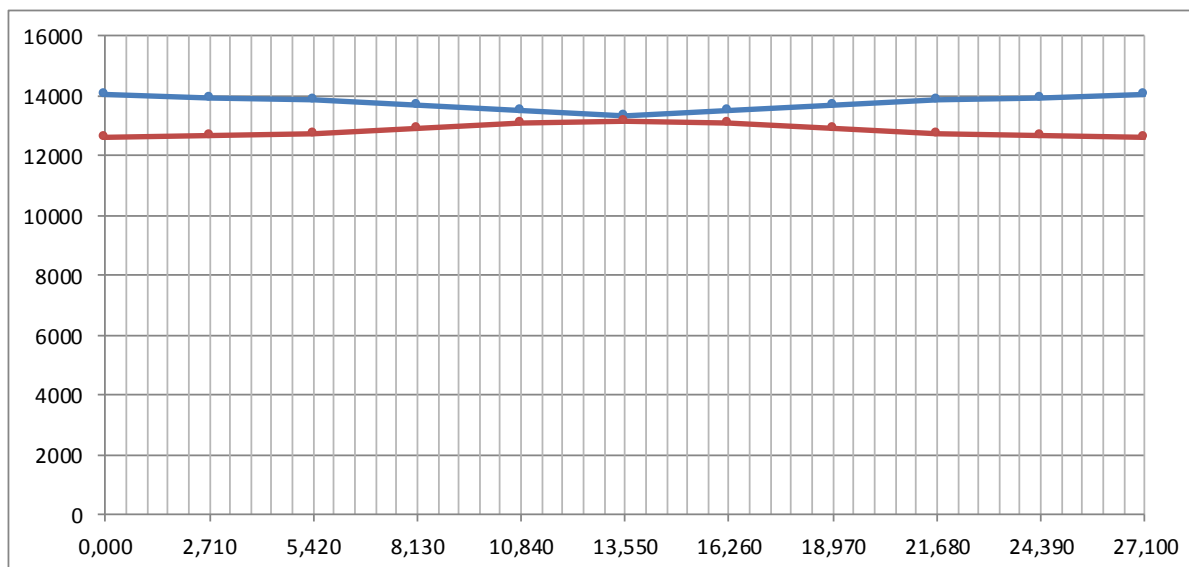
Δl^{dir} (mm) = 93 (alongamento previsto na ancoragem direita)*

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,310	0,0	0,0	0,0
S1	12683	106,5	1,019	0,000	105,9	-12,1	0,0
S2	12752	107,1	1,019	-0,303	106,4	-12,1	-32,2
S3	12910	108,4	1,019	-0,568	108,1	-8,5	-61,4
S4	13099	110,0	1,019	-0,716	110,0	-3,6	-78,7
S5	13176	110,7	1,019	-0,749	110,7	0,0	-82,9
S6	13099	110,0	1,019	-0,716	110,0	3,6	-78,7
S7	12910	108,4	1,019	-0,568	108,1	8,5	-61,4
S8	12752	107,1	1,019	-0,303	106,4	12,1	-32,2
S9	12683	106,5	1,019	0,000	105,9	12,1	0,0
S10	0	0,0	1,040	0,310	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm² e comprimento em metros)

Cabo C3

Unidade de protensão → 6 Ø15,2

Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva

Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{reco da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	27,10	1,000	5,000		10,00	1,000	14022
S1	2,910	24,19	0,746	5,00	0,00	10,00	0,994	13941
S2	5,570	21,53	0,513	5,00	0,00	10,00	0,989	13867
S3	8,230	18,87	0,286	4,30	0,70	9,30	0,981	13759
S4	10,890	16,21	0,147	1,70	3,30	6,70	0,967	13563
S5	13,550	13,55	0,120	0,00	5,00	5,00	0,956	13411
S6	16,210	10,89	0,147	-1,70	6,70	3,30	0,967	13563
S7	18,870	8,23	0,286	-4,30	9,30	0,70	0,981	13759
S8	21,530	5,57	0,513	-5,00	10,00	0,00	0,989	13867
S9	24,190	2,91	0,746	-5,00	10,00	0,00	0,994	13941
S10	27,100	0,00	1,000	-5,00	10,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 93 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

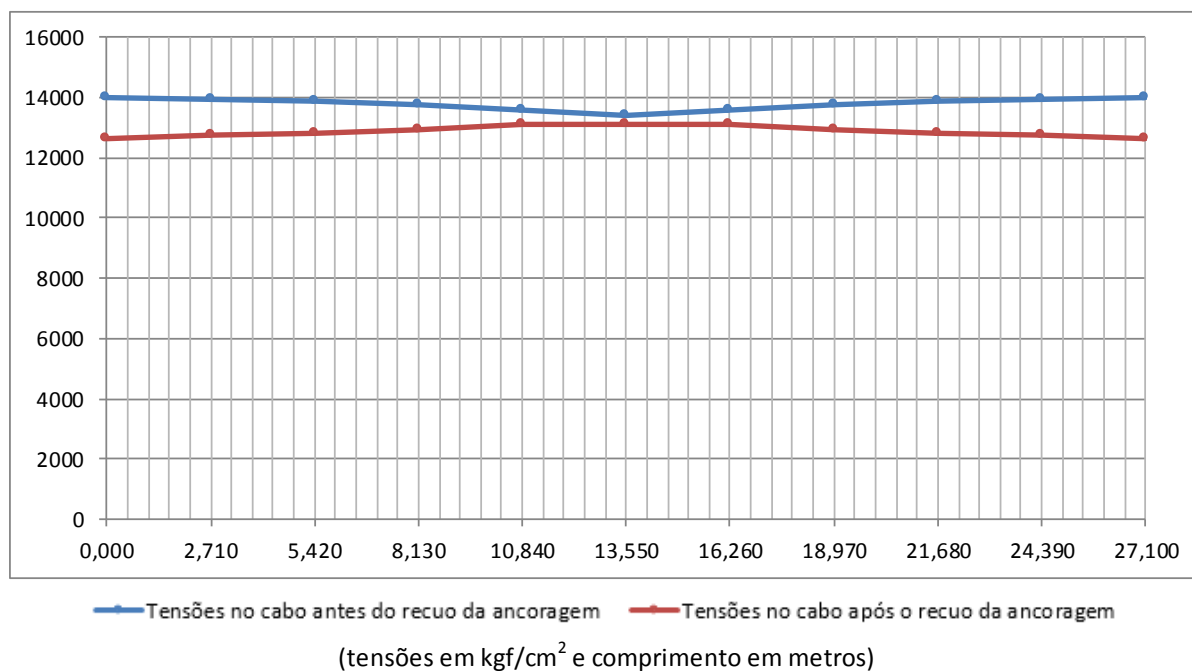
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 93 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por reco da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0
S1	12740	107,0	1,019	-0,273	106,6	-9,3	-29,1
S2	12809	107,6	1,019	-0,506	107,2	-9,4	-54,2
S3	12910	108,4	1,019	-0,733	108,1	-8,1	-79,3
S4	13100	110,0	1,019	-0,872	110,0	-3,3	-95,9
S5	13096	110,0	1,019	-0,899	110,0	0,0	-98,9
S6	13100	110,0	1,019	-0,872	110,0	3,3	-95,9
S7	12910	108,4	1,019	-0,733	108,1	8,1	-79,3
S8	12809	107,6	1,019	-0,506	107,2	9,4	-54,2
S9	12740	107,0	1,019	-0,273	106,6	9,3	-29,1
S10	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0

A perda por reco da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Cabo C4

Unidade de protensão → 6 ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 2ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	27,10	0,650	3,500		7,00	1,000	14022
S1	2,910	24,19	0,472	3,50	0,00	7,00	0,994	13941
S2	5,570	21,53	0,310	3,50	0,00	7,00	0,989	13867
S3	8,230	18,87	0,159	2,30	1,20	5,80	0,980	13735
S4	10,890	16,21	0,120	0,00	3,50	3,50	0,967	13553
S5	13,550	13,55	0,120	0,00	3,50	3,50	0,961	13481
S6	16,210	10,89	0,120	0,00	3,50	3,50	0,967	13553
S7	18,870	8,23	0,159	-2,30	5,80	1,20	0,980	13735
S8	21,530	5,57	0,310	-3,50	7,00	0,00	0,989	13867
S9	24,190	2,91	0,472	-3,50	7,00	0,00	0,994	13941
S10	27,100	0,00	0,650	-3,50	7,00		1,000	14022

Δl^{esq} (mm) = 93 (alongamento previsto na ancoragem esquerda)*

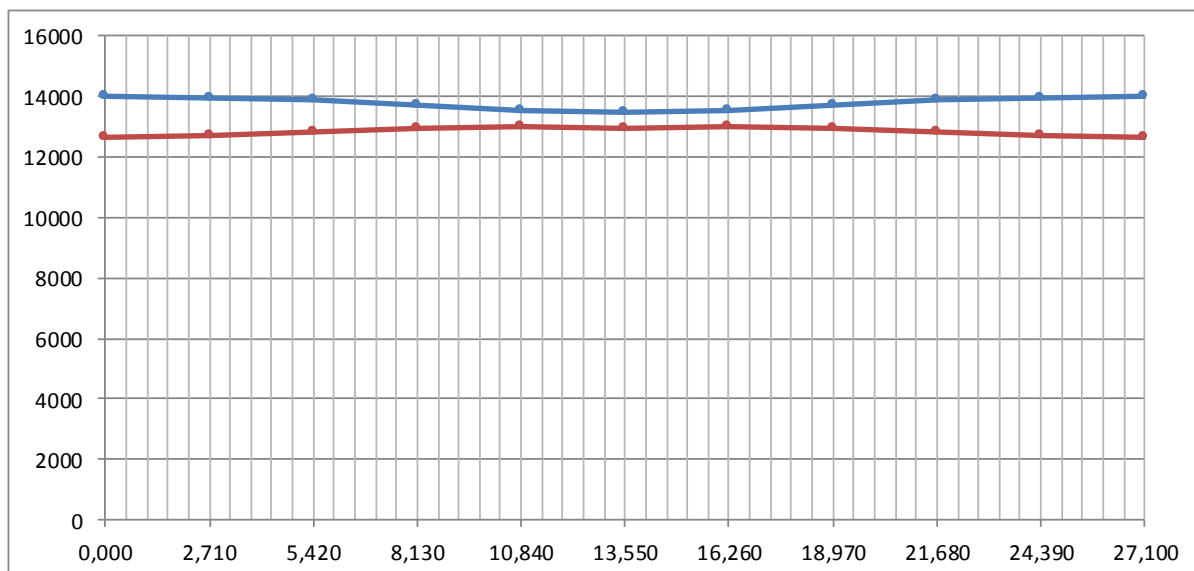
Δl^{dir} (mm) = 93 (alongamento previsto na ancoragem direita)*

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,390	0,0	0,0	0,0
S1	12736	107,0	1,019	-0,547	106,8	-6,5	-58,4
S2	12805	107,6	1,019	-0,709	107,4	-6,6	-76,2
S3	12931	108,6	1,019	-0,860	108,5	-4,4	-93,4
S4	12991	109,1	1,019	-0,899	109,1	0,0	-98,1
S5	12919	108,5	1,019	-0,899	108,5	0,0	-97,6
S6	12991	109,1	1,019	-0,899	109,1	0,0	-98,1
S7	12931	108,6	1,019	-0,860	108,5	4,4	-93,4
S8	12805	107,6	1,019	-0,709	107,4	6,6	-76,2
S9	12736	107,0	1,019	-0,547	106,8	6,5	-58,4
S10	0	0,0	1,040	-0,390	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm² e comprimento em metros)

Cabo C5

Unidade de protensão → 6 Ø15,2

Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva

Etapa de protensão → 2ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recoo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	$x_i \text{ (m)}$	$L-x_i \text{ (m)}$	cota (m)	$\alpha \text{ (}^\circ\text{)}$	$\Sigma\Delta\alpha \text{ (}^\circ\text{)}$	$\Sigma\Delta\alpha \text{ (}^\circ\text{)}$	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0} \text{ (x)}$
S0	0,000	27,10	0,300	2,000		4,00	1,000	14022
S1	2,910	24,19	0,199	2,00	0,00	4,00	0,994	13941
S2	5,570	21,53	0,121	0,40	1,60	2,40	0,983	13789
S3	8,230	18,87	0,120	0,00	2,00	2,00	0,977	13697
S4	10,890	16,21	0,120	0,00	2,00	2,00	0,972	13624
S5	13,550	13,55	0,120	0,00	2,00	2,00	0,966	13552
S6	16,210	10,89	0,120	0,00	2,00	2,00	0,972	13624
S7	18,870	8,23	0,120	0,00	2,00	2,00	0,977	13697
S8	21,530	5,57	0,121	-0,40	2,40	1,60	0,983	13789
S9	24,190	2,91	0,199	-2,00	4,00	0,00	0,994	13941
S10	27,100	0,00	0,300	-2,00	4,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 93 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

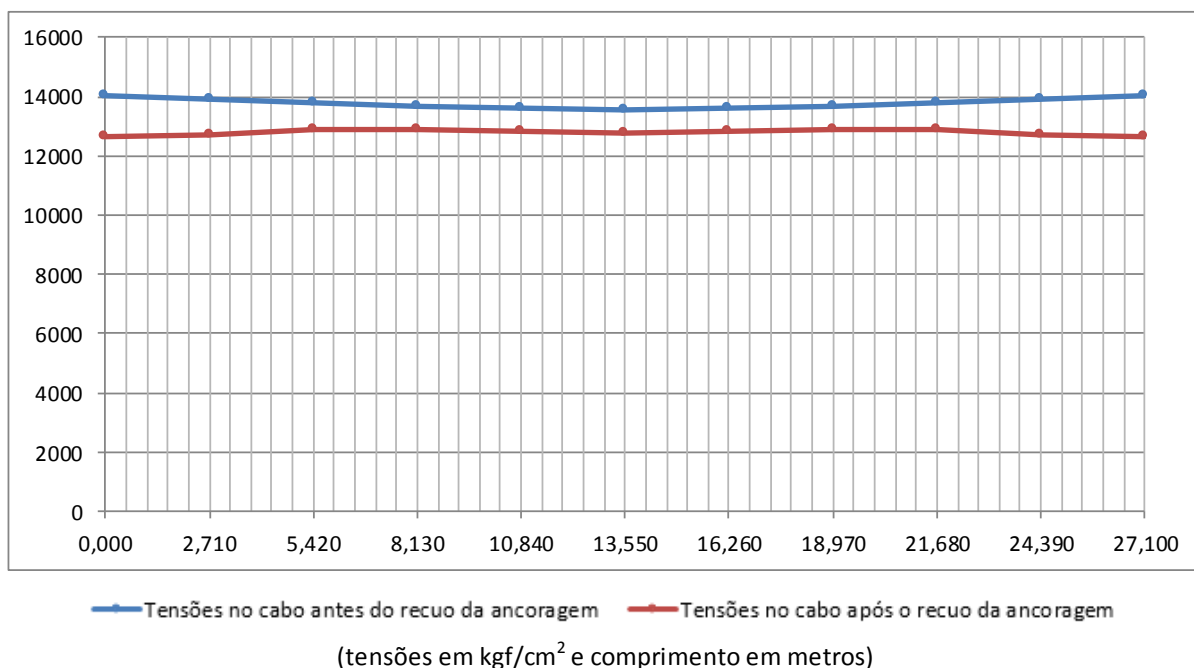
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 93 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recoo da ancoragem

Seção	$\sigma_p \text{ (x)}$	$F_p \text{ (tf)}$	$V_i \text{ (m)}$	exc (m)	$N \text{ (tf)}$	$V \text{ (tf)}$	$M \text{ (tf.m)}$
S0	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0
S1	12728	106,9	1,019	-0,821	106,8	-3,7	-87,7
S2	12872	108,1	1,019	-0,898	108,1	-0,8	-97,1
S3	12890	108,3	1,019	-0,899	108,3	0,0	-97,4
S4	12818	107,7	1,019	-0,899	107,7	0,0	-96,8
S5	12746	107,1	1,019	-0,899	107,1	0,0	-96,3
S6	12818	107,7	1,019	-0,899	107,7	0,0	-96,8
S7	12890	108,3	1,019	-0,899	108,3	0,0	-97,4
S8	12872	108,1	1,019	-0,898	108,1	0,8	-97,1
S9	12728	106,9	1,019	-0,821	106,8	3,7	-87,7
S10	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0

A perda por recoo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Perda por encurtamento imediato do concreto

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$s = 0,38$$

1ª etapa de protensão

$$\alpha_E = 1,0$$

$$t_0 \text{ (dias)} = 3$$

$$\beta_s(t_0) = 0,458$$


$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 18,3$$

$$n_{cabos} = 3$$

$$\alpha = 8,34$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 23.968,7$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	0,103	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	317,5	-0,6	0,000	0,731	0,376	434,3	0,604	120,8
S2	319,5	-96,8	-0,101	0,731	0,376	463,1	0,644	128,8
S3	324,2	-182,1	-0,187	0,731	0,376	534,2	0,743	148,6
S4	329,8	-235,0	-0,238	0,731	0,376	599,7	0,834	166,8
S5	332,0	-248,5	-0,250	0,731	0,376	619,2	0,861	172,2
S6	329,8	-235,0	-0,238	0,731	0,376	599,7	0,834	166,8
S7	324,2	-182,1	-0,187	0,731	0,376	534,2	0,743	148,6
S8	319,5	-96,8	-0,101	0,731	0,376	463,1	0,644	128,8
S9	317,5	-0,6	0,000	0,731	0,376	434,3	0,604	120,8
S10	0,0	0,0	0,103	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 330/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

2ª etapa de protensão

$$t_0 \text{ (dias)} = 15$$

$$\beta_s(t_0) = 0,870$$

$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 34,8$$

$$n_{cabos} = 2$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 33.036,6$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	-0,126	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	213,6	-146,1	-0,152	0,731	0,376	351,3	0,354	70,9
S2	215,5	-173,3	-0,179	0,731	0,376	377,2	0,381	76,1
S3	216,8	-190,7	-0,195	0,731	0,376	395,8	0,399	79,9
S4	216,8	-194,9	-0,200	0,731	0,376	400,2	0,404	80,8
S5	215,6	-193,8	-0,200	0,731	0,376	398,0	0,402	80,3
S6	216,8	-194,9	-0,200	0,731	0,376	400,2	0,404	80,8
S7	216,8	-190,7	-0,195	0,731	0,376	395,8	0,399	79,9
S8	215,5	-173,3	-0,179	0,731	0,376	377,2	0,381	76,1
S9	213,6	-146,1	-0,152	0,731	0,376	351,3	0,354	70,9
S10	0,0	0,0	-0,126	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

Onde:

s = coeficiente que depende do tipo de cimento

t_0 = idade de aplicação da protensão

$$\beta_s = e^{s \times (1 - \sqrt{28/t_0})} \quad f_{cj} = \beta_s \times f_{ck} \quad E_c = \alpha_E \times 5600 \times \sqrt{f_{cj}}$$

$$\Delta \epsilon_{cp} = \frac{n-1}{2n} \times \frac{\sigma_{c,cgp}}{E_{c,t0}} \quad \Delta \sigma_p = \frac{\Delta \epsilon_{cp}}{E_p}$$

	Seção	Fase 1	Fase 2	Fase 3
$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	S0	0,0	0,0	0,0
	S1	191,7	70,9	0,0
	S2	204,9	76,1	0,0
	S3	228,5	79,9	0,0
	S4	247,6	80,8	0,0
	S5	252,6	80,3	0,0
	S6	247,6	80,8	0,0
	S7	228,5	79,9	0,0
	S8	204,9	76,1	0,0
	S9	191,7	70,9	0,0
	S10	0,0	0,0	0,0

Tensões nos cabos e solicitações devido à protensão após as perdas imediatas

C1

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12430	104,4	103,4	-14,5	28,2	11,4%
S2	12511	105,1	104,2	-13,5	-10,2	10,8%
S3	12672	106,4	106,1	-8,9	-40,7	9,6%
S4	12836	107,8	107,7	-4,3	-59,3	8,5%
S5	12995	109,2	109,2	0,0	-65,4	7,3%
S6	12836	107,8	107,7	4,3	-59,3	8,5%
S7	12672	106,4	106,1	8,9	-40,7	9,6%
S8	12511	105,1	104,2	13,5	-10,2	10,8%
S9	12430	104,4	103,4	14,5	28,2	11,4%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C2

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12492	104,9	104,3	-11,9	0,0	10,9%
S2	12547	105,4	104,7	-11,9	-31,7	10,5%
S3	12682	106,5	106,2	-8,4	-60,3	9,6%
S4	12851	108,0	107,9	-3,6	-77,2	8,3%
S5	12923	108,6	108,6	0,0	-81,3	7,8%
S6	12851	108,0	107,9	3,6	-77,2	8,3%
S7	12682	106,5	106,2	8,4	-60,3	9,6%
S8	12547	105,4	104,7	11,9	-31,7	10,5%
S9	12492	104,9	104,3	11,9	0,0	10,9%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C3

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12548	105,4	105,0	-9,2	-28,7	10,5%
S2	12604	105,9	105,5	-9,2	-53,4	10,1%
S3	12682	106,5	106,2	-8,0	-77,9	9,6%
S4	12852	108,0	107,9	-3,2	-94,1	8,3%
S5	12843	107,9	107,9	0,0	-97,0	8,4%
S6	12852	108,0	107,9	3,2	-94,1	8,3%
S7	12682	106,5	106,2	8,0	-77,9	9,6%
S8	12604	105,9	105,5	9,2	-53,4	10,1%
S9	12548	105,4	105,0	9,2	-28,7	10,5%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C4

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12665	106,4	106,2	-6,5	-58,1	9,7%
S2	12729	106,9	106,7	-6,5	-75,7	9,2%
S3	12851	107,9	107,9	-4,3	-92,8	8,4%
S4	12910	108,4	108,4	0,0	-97,5	7,9%
S5	12839	107,8	107,8	0,0	-97,0	8,4%
S6	12910	108,4	108,4	0,0	-97,5	7,9%
S7	12851	107,9	107,9	4,3	-92,8	8,4%
S8	12729	106,9	106,7	6,5	-75,7	9,2%
S9	12665	106,4	106,2	6,5	-58,1	9,7%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C5

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12657	106,3	106,3	-3,7	-87,2	9,7%
S2	12796	107,5	107,5	-0,8	-96,5	8,7%
S3	12810	107,6	107,6	0,0	-96,7	8,6%
S4	12738	107,0	107,0	0,0	-96,2	9,2%
S5	12666	106,4	106,4	0,0	-95,7	9,7%
S6	12738	107,0	107,0	0,0	-96,2	9,2%
S7	12810	107,6	107,6	0,0	-96,7	8,6%
S8	12796	107,5	107,5	0,8	-96,5	8,7%
S9	12657	106,3	106,3	3,7	-87,2	9,7%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

Resumo das solicitações e tensões nas fibras extremas do concreto devido à protensão após as perdas imediatas

1ª etapa de protensão

Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	312,7	-35,6	-0,6	0,0	426,2	429,3
S2	314,4	-34,7	-95,3	0,0	181,3	688,5
S3	318,5	-25,3	-178,8	0,0	-31,2	920,7
S4	323,5	-11,1	-230,6	0,0	-159,3	1067,9
S5	325,6	0,0	-243,7	0,0	-190,8	1106,4
S6	323,5	11,1	-230,6	0,0	-159,3	1067,9
S7	318,5	25,3	-178,8	0,0	-31,2	920,7
S8	314,4	34,7	-95,3	0,0	181,3	688,5
S9	312,7	35,6	-0,6	0,0	426,2	429,3
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

2ª etapa de protensão

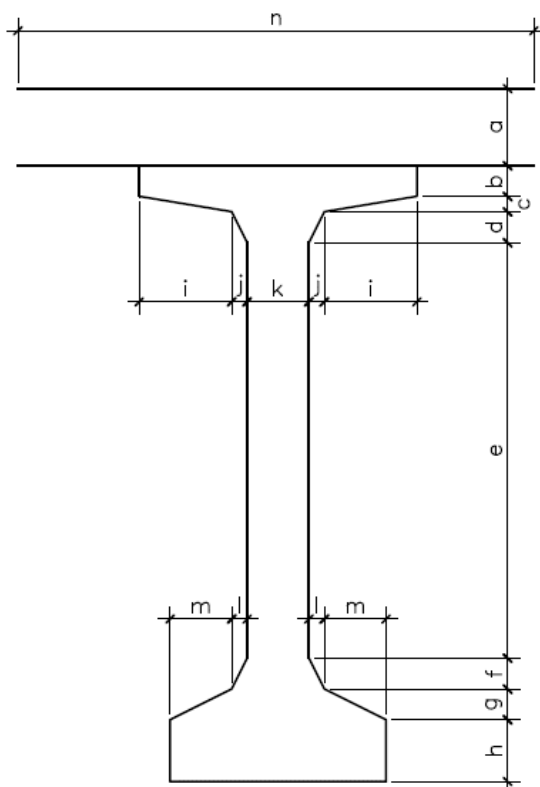
Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	212,4	-10,2	-145,3	0,0	-88,6	684,6
S2	214,2	-7,3	-172,2	0,0	-156,6	760,2
S3	215,5	-4,3	-189,5	0,0	-200,0	808,8
S4	215,4	0,0	-193,7	0,0	-210,9	820,1
S5	214,2	0,0	-192,6	0,0	-209,8	815,5
S6	215,4	0,0	-193,7	0,0	-210,9	820,1
S7	215,5	4,3	-189,5	0,0	-200,0	808,8
S8	214,2	7,3	-172,2	0,0	-156,6	760,2
S9	212,4	10,2	-145,3	0,0	-88,6	684,6
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Cálculo das perdas lentas de protensão

$U (\%) = 80$ (umidade relativa do ar)

$$\gamma = 2,22 \quad \gamma = 1 + e^{(-7,8+0,1 \times U)}$$

Cálculo da espessura fictícia



Seção	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)
S0	0,000	0,050	0,050	0,050
S1	0,000	0,050	0,050	0,100
S2	0,000	0,050	0,050	0,100
S3	0,000	0,050	0,050	0,100
S4	0,000	0,050	0,050	0,100
S5	0,000	0,050	0,050	0,100
S6	0,000	0,050	0,050	0,100
S7	0,000	0,050	0,050	0,100
S8	0,000	0,050	0,050	0,100
S9	0,000	0,050	0,050	0,100
S10	0,000	0,050	0,050	0,050

Seção	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)	i (m)	j (m)	k (m)	l (m)	m (m)	n (m)
S0	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200
S1	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S2	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S3	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S4	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S5	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S6	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S7	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S8	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S9	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S10	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200

Seção	P _{ext} (m)	P _{int} (m)	u (m)	A (m ²)	h _{fic} (m)
S0	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030
S1	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S2	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S3	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S4	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S5	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S6	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S7	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S8	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S9	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S10	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030

Onde,

P_{ext} - é o perímetro externo da seção

P_{int} - é o perímetro interno da seção

u - é o perímetro da seção em contato com o ar, dado por: $P_{ext} + P_{int}/2$

A - é a área da seção transversal

h_{fic} - é a espessura fictícia, dada por: $\gamma \times 2 \times A / u$

Cálculo da idade corrigida

$$t_* = \frac{\alpha}{30} \times \sum_{t=0}^t [(T_i + 10) \times \Delta t_i]$$

$\alpha = 1$ (fluência) $T_i (^{\circ}) = 25$

Δt_i (dias) = 7,8 (média ponderada das idades de protensão)

t_{0*} (dias) = 9,1 (fluência)


t_{0*} (dias) = 9,1 (retração)

$t_{\infty*}$ (dias) = ∞

Fluência

a deformação por fluência é dada por:

$$\varepsilon_{c\phi}(t_2; t_0) = \frac{\sigma_{c, t_0}}{E_{c, 28}} \times \varphi(t_2; t_0)$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 336/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

onde:

$$\varphi_{(t_1;t_0)} = \varphi_{d\infty} \times \beta_d + \varphi_{f\infty} \times [\beta_f(t_{1*}) - \beta_f(t_{0*})] + \varphi_a$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\beta_d = \frac{t_{1*} - t_{0*} + 20}{t_{1*} - t_{0*} + 70}$$

$$\varphi_{f\infty} = \varphi_{1c} \times \varphi_{2c}$$

$$\varphi_{1c} = 4,45 - 0,035 \times U \quad \varphi_{2c} = \frac{42 + h_{fic}(cm)}{20 + h_{fic}(cm)}$$

$$\beta_f(t) = \frac{t^2 + A \times t + B}{t^2 + C \times t + D} \quad \text{com} \quad \begin{cases} A = 42 \times h_{fic}^3 - 350 \times h_{fic}^2 + 588 \times h_{fic} + 113 \\ B = 768 \times h_{fic}^3 - 3060 \times h_{fic}^2 + 3234 \times h_{fic} - 23 \\ C = -200 \times h_{fic}^3 + 13 \times h_{fic}^2 + 1090 \times h_{fic} + 183 \\ D = 7579 \times h_{fic}^3 - 31916 \times h_{fic}^2 + 35343 \times h_{fic} + 1931 \end{cases}$$

$$\varphi_a = 0,8 \times \left[1 - \frac{9 \times t_{0*} \times (t_{0*} + 42)}{(9 \times t_{0*} + 40) \times (t_{0*} + 61)} \right]$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\varphi_a = 0,408$$

$$\varphi_{1c} = 1,7$$

$$\varphi_{f\infty} = 1,0$$

$$\beta_d = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	φ_{2c}	φ_{∞}	$\beta_{f(t)}$	$\varphi_{(\infty,t)}$
S0	1,030	1,179	1,945	0,200	2,365
S1	0,469	1,329	2,193	0,209	2,544
S2	0,469	1,329	2,193	0,209	2,544
S3	0,412	1,360	2,243	0,210	2,580
S4	0,469	1,329	2,193	0,209	2,544
S5	0,469	1,329	2,193	0,209	2,544
S6	0,469	1,329	2,193	0,209	2,544
S7	0,412	1,360	2,243	0,210	2,580
S8	0,469	1,329	2,193	0,209	2,544
S9	0,469	1,329	2,193	0,209	2,544
S10	1,030	1,179	1,945	0,200	2,365

Retração do concreto

a deformação por retração é dada por:

$$\varepsilon_{cs,(t_1;t_0)} = \varepsilon_{cs,(t_{00})} \times [\beta_s(t_{1*}) - \beta_s(t_{0*})]$$

onde:

$$\varepsilon_{cs,(t_{\infty})} = \varepsilon_{1s} \times \varepsilon_{2s}$$

$$\varepsilon_{1s} = - \left(6,16 + \frac{U}{484} - \frac{U^2}{1590} \right) \times 10^4$$

$$\varepsilon_{2s} = \frac{33 + 2 \times h_{fic}}{20,8 + 3 \times h_{fic}}$$

$$\beta_s(t) = \frac{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + A \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + B \times \left(\frac{t}{100}\right)}{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + C \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + D \times \left(\frac{t}{100}\right) + E}$$

$$com \begin{cases} A = 40 \\ B = 116 \times h_{fic}^3 - 282 \times h_{fic}^2 + 220 \times h_{fic} - 4,8 \\ C = 2,5 \times h_{fic}^3 - 8,8 \times h_{fic} + 40,7 \\ D = -75 \times h_{fic}^3 + 585 \times h_{fic}^2 + 496 \times h_{fic} - 6,8 \\ E = -169 \times h_{fic}^4 + 88 \times h_{fic}^3 + 584 \times h_{fic}^2 - 39 \times h_{fic} + 0,8 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{1s} \times 10^4 = 2,3$$

$$\beta_{s\infty} = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	ε_{2s}	$\beta_{s(t0*)}$	$\varepsilon_{cs,(t\infty)} \times 10^4$	$\varepsilon_{cs,(t\infty,t0)} \times 10^4$
S0	1,030	1,468	0,008	3,376	3,348
S1	0,469	1,528	0,033	3,515	3,400
S2	0,469	1,528	0,033	3,515	3,400
S3	0,412	1,535	0,040	3,531	3,388
S4	0,469	1,528	0,033	3,515	3,400
S5	0,469	1,528	0,033	3,515	3,400
S6	0,469	1,528	0,033	3,515	3,400
S7	0,412	1,535	0,040	3,531	3,388
S8	0,469	1,528	0,033	3,515	3,400
S9	0,469	1,528	0,033	3,515	3,400
S10	1,030	1,468	0,008	3,376	3,348

Relaxação do aço

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$E_c \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 354.175$$

$$f_{ptk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 19.000$$

$$\alpha_p = 5,647$$

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente

Seção	M_{g1+g2} (tf.m)	I_z (m ⁴)	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,pgp,g}$ (tf/m ²)
S0	0,00	0,519	-1,040	0,0
S1	116,22	0,376	-0,274	-84,7
S2	205,81	0,376	-0,503	-275,4
S3	269,81	0,376	-0,689	-494,5
S4	308,21	0,376	-0,787	-645,7
S5	321,00	0,376	-0,809	-691,2
S6	308,21	0,376	-0,787	-645,7
S7	269,81	0,376	-0,689	-494,5
S8	205,81	0,376	-0,503	-275,4
S9	116,22	0,376	-0,274	-84,7
S10	0,00	0,519	-1,040	0,0

Seção	M_{g3} (tf.m)	I_z (m ⁴)	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,pgp,g}$ (tf/m ²)
S0	0,00	1,067	-1,386	0,0
S1	36,20	0,807	-0,808	-36,3
S2	64,36	0,807	-1,037	-82,7
S3	84,48	0,807	-1,223	-128,1
S4	96,55	0,807	-1,321	-158,1
S5	100,57	0,807	-1,343	-167,5
S6	96,55	0,807	-1,321	-158,1
S7	84,48	0,807	-1,223	-128,1
S8	64,36	0,807	-1,037	-82,7
S9	36,20	0,807	-0,808	-36,3
S10	0,00	1,067	-1,386	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à protensão

1ª etapa de protensão

Seção	N_p (tf)	M_p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I_z (m ⁴)	$\sigma_{c,pgp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	312,7	-0,6	-0,274	0,731	0,376	428,1
S2	314,4	-95,3	-0,503	0,731	0,376	557,6
S3	318,5	-178,8	-0,689	0,731	0,376	763,5
S4	323,5	-230,6	-0,787	0,731	0,376	925,6
S5	325,6	-243,7	-0,809	0,731	0,376	970,2
S6	323,5	-230,6	-0,787	0,731	0,376	925,6
S7	318,5	-178,8	-0,689	0,731	0,376	763,5
S8	314,4	-95,3	-0,503	0,731	0,376	557,6
S9	312,7	-0,6	-0,274	0,731	0,376	428,1
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0


2ª etapa de protensão

Seção	N_p (tf)	M_p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I_z (m ⁴)	$\sigma_{c,cbp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	212,4	-145,3	-0,274	0,731	0,376	396,5
S2	214,2	-172,2	-0,503	0,731	0,376	523,6
S3	215,5	-189,5	-0,689	0,731	0,376	642,1
S4	215,4	-193,7	-0,787	0,731	0,376	700,5
S5	214,2	-192,6	-0,809	0,731	0,376	707,9
S6	215,4	-193,7	-0,787	0,731	0,376	700,5
S7	215,5	-189,5	-0,689	0,731	0,376	642,1
S8	214,2	-172,2	-0,503	0,731	0,376	523,6
S9	212,4	-145,3	-0,274	0,731	0,376	396,5
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

Seção	$\sigma_{c,cbp,p}$ (tf/m ²)
S0	0,0
S1	824,6
S2	1081,2
S3	1405,6
S4	1626,1
S5	1678,1
S6	1626,1
S7	1405,6
S8	1081,2
S9	824,6
S10	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente + protensão

Seção	$\sigma_{c,cbp,p+g}$ (tf/m ²)
S0	0,0
S1	703,7
S2	723,0
S3	783,1
S4	822,3
S5	819,4
S6	822,3
S7	783,1
S8	723,0
S9	703,7
S10	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 340/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do coeficiente de fluência do aço

$$\chi(t, t_0) = -\ln(1 - \psi(t, t_0))$$

onde:

$$\psi(t^\infty, t_0) = 2,5 \times \psi_{1000}$$

Seção	σ_{p0} (kgf/cm ²)	σ_{p0} / f_{ptk}	ψ_{1000}	$\psi(t^\infty, t_0)$	$\chi_{(t^\infty, t_0)}$
S0		0,000	0,000	0,000	0,000
S1	12558	0,661	2,032	5,079	0,052
S2	12637	0,665	2,082	5,204	0,053
S3	12739	0,670	2,146	5,365	0,055
S4	12837	0,676	2,208	5,519	0,057
S5	12853	0,676	2,218	5,545	0,057
S6	12837	0,676	2,208	5,519	0,057
S7	12739	0,670	2,146	5,365	0,055
S8	12637	0,665	2,082	5,204	0,053
S9	12558	0,661	2,032	5,079	0,052
S10		0,000	0,000	0,000	0,000

Cálculo da perda lenta total

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t,t_0)} = \frac{\varepsilon_{cs,(t,t_0)} \times E_p + \alpha_p \times \varphi(t,t_0) \times \sigma_{c,ggp,p+g} + \sigma_{p0} \times \chi(t,t_0)}{\chi_p + \chi_c \times \alpha_p \times \eta \times \rho_p}$$

onde:

$$\chi_c = 1 + 0,5 \times \varphi(t,t_0) \quad \chi_p = 1 + \chi(t,t_0)$$

e_p - é a excentricidade de protensão

$$\eta = 1 + e_p^2 \times \frac{A_c}{I_x} \quad \rho_p = \frac{A_s}{A_c}$$

Seção	χ_c	χ_p	e_p (m)	η	ρ_p	$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t,t_0)}$ (kgf/cm ²)	$\Delta\sigma_{lenta}$ (%)
S0	2,183	1,000	-1,386	4,886	0,0000	0,0	0,0%
S1	2,272	1,052	-0,808	2,153	0,0029	2069,0	14,8%
S2	2,272	1,053	-1,037	2,900	0,0029	2058,2	14,7%
S3	2,290	1,055	-1,223	3,642	0,0029	2111,3	15,1%
S4	2,272	1,057	-1,321	4,085	0,0029	2138,4	15,3%
S5	2,272	1,057	-1,343	4,188	0,0029	2131,1	15,2%
S6	2,272	1,057	-1,321	4,085	0,0029	2138,4	15,3%
S7	2,290	1,055	-1,223	3,642	0,0029	2111,3	15,1%
S8	2,272	1,053	-1,037	2,900	0,0029	2058,2	14,7%
S9	2,272	1,052	-0,808	2,153	0,0029	2069,0	14,8%
S10	2,183	1,000	-1,386	4,886	0,0000	0,0	0,0%

Solicitações devido às perdas lentas de protensão

C1

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2069	-17,4	-17,2	2,4	-4,7
S2	-2058	-17,3	-17,1	2,2	1,7
S3	-2111	-17,7	-17,7	1,5	6,8
S4	-2138	-18,0	-17,9	0,7	9,9
S5	-2131	-17,9	-17,9	0,0	10,7
S6	-2138	-18,0	-17,9	-0,7	9,9
S7	-2111	-17,7	-17,7	-1,5	6,8
S8	-2058	-17,3	-17,1	-2,2	1,7
S9	-2069	-17,4	-17,2	-2,4	-4,7
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C2

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2069	-17,4	-17,3	2,0	0,0
S2	-2058	-17,3	-17,2	2,0	5,2
S3	-2111	-17,7	-17,7	1,4	10,0
S4	-2138	-18,0	-18,0	0,6	12,8
S5	-2131	-17,9	-17,9	0,0	13,4
S6	-2138	-18,0	-18,0	-0,6	12,8
S7	-2111	-17,7	-17,7	-1,4	10,0
S8	-2058	-17,3	-17,2	-2,0	5,2
S9	-2069	-17,4	-17,3	-2,0	0,0
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C3

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2069	-17,4	-17,3	1,5	4,7
S2	-2058	-17,3	-17,2	1,5	8,7
S3	-2111	-17,7	-17,7	1,3	13,0
S4	-2138	-18,0	-18,0	0,5	15,7
S5	-2131	-17,9	-17,9	0,0	16,1
S6	-2138	-18,0	-18,0	-0,5	15,7
S7	-2111	-17,7	-17,7	-1,3	13,0
S8	-2058	-17,3	-17,2	-1,5	8,7
S9	-2069	-17,4	-17,3	-1,5	4,7
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C4


Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2069	-17,4	-17,3	1,1	9,5
S2	-2058	-17,3	-17,3	1,1	12,2
S3	-2111	-17,7	-17,7	0,7	15,2
S4	-2138	-18,0	-18,0	0,0	16,2
S5	-2131	-17,9	-17,9	0,0	16,1
S6	-2138	-18,0	-18,0	0,0	16,2
S7	-2111	-17,7	-17,7	-0,7	15,2
S8	-2058	-17,3	-17,3	-1,1	12,2
S9	-2069	-17,4	-17,3	-1,1	9,5
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C5

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-2069	-17,4	-17,4	0,6	14,3
S2	-2058	-17,3	-17,3	0,1	15,5
S3	-2111	-17,7	-17,7	0,0	15,9
S4	-2138	-18,0	-18,0	0,0	16,2
S5	-2131	-17,9	-17,9	0,0	16,1
S6	-2138	-18,0	-18,0	0,0	16,2
S7	-2111	-17,7	-17,7	0,0	15,9
S8	-2058	-17,3	-17,3	-0,1	15,5
S9	-2069	-17,4	-17,4	-0,6	14,3
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

Resumo das solicitações devido às perdas de protensão e tensões nas fibras extremas do concreto

Seção	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$	$\sigma_s (tf/m^2)$	$\sigma_s' (tf/m^2)$	$\sigma_i (tf/m^2)$
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-86,5	7,6	23,8	-98,4	-56,2	-182,9
S2	-86,1	6,9	43,4	-81,4	-4,6	-235,4
S3	-88,5	4,9	61,0	-69,9	38,1	-286,4
S4	-89,8	1,8	70,7	-63,5	61,7	-314,5
S5	-89,5	0,0	72,4	-61,7	66,6	-318,9
S6	-89,8	-1,8	70,7	-63,5	61,7	-314,5
S7	-88,5	-4,9	61,0	-69,9	38,1	-286,4
S8	-86,1	-6,9	43,4	-81,4	-4,6	-235,4
S9	-86,5	-7,6	23,8	-98,4	-56,2	-182,9
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 343/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação das tensões elásticas no concreto nas diversas fases de carregamento

Serão verificadas as tensões nas fibras extremas do concreto para as seguintes fases de carregamento:

- Fase 1 = peso próprio da viga isolada + 1ª etapa de protensão
- Fase 2 = fase 1 + 2ª etapa de protensão
- Fase 3 = fase 2 + peso próprio da laje e transversinas
- Fase 4 = fase 3 + 3ª etapa de protensão
- Fase 5 = fase 4 + sobrecarga permanente
- Fase 6 = fase 5 + carga móvel
- Fase 7 = fase 5 + perdas de protensão
- Fase 8 = fase 7 + carga móvel

Tensões limites

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0 \qquad f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51 \qquad s = 0,38$$

- no instante da protensão

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctm,j} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,7 f_{ckj}$$

- na vida útil da obra

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctk,inf} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,6 f_{ck}$$

idade da 1ª protensão (dias) = 3

$$\beta_1 = 0,458 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 18,32 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,08$$


idade da 2ª protensão (dias) = 15

$$\beta_2 = 0,870 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 34,80 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,20$$

idade da 3ª protensão (dias) = 28

$$\beta_3 = 1,000 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 40,00 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,51$$


	tração (tf/m ²)	compressão (tf/m ²)
t = 3	-250,17	1282,36
t = 15	-383,75	2436,20
t = 28	-294,74	2400,00
t = ∞	-294,74	2400,00

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-iv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 344/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação do estado limite de compressão excessiva para a combinação rara de carregamentos (ELS-CE)

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m^2) para 110% da força de protensão

		g_1	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2
S0	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	157	469	626	-97	528
	σ_i (tf/m ²)	-163	472	309	753	1062
S2	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	277	199	476	-172	304
	σ_i (tf/m ²)	-288	757	470	836	1306
S3	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	362	-34	328	-220	108
	σ_i (tf/m ²)	-377	1013	636	890	1526
S4	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	414	-175	239	-232	7
	σ_i (tf/m ²)	-430	1175	745	902	1647
S5	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	431	-210	221	-231	-10
	σ_i (tf/m ²)	-448	1217	769	897	1666
S6	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	414	-175	239	-232	7
	σ_i (tf/m ²)	-430	1175	745	902	1647
S7	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	362	-34	328	-220	108
	σ_i (tf/m ²)	-377	1013	636	890	1526
S8	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	277	199	476	-172	304
	σ_i (tf/m ²)	-288	757	470	836	1306
S9	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	157	469	626	-97	528
	σ_i (tf/m ²)	-163	472	309	753	1062
S10	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	346/500

Verificação do estado limite de formação de fissuras para a combinação frequente de carregamentos (ELS-F)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{G_i,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_1 = 0,5$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	157	426	583	-89	494	147	641
	σ _i (tf/m ²)	-163	429	266	685	951	-152	799
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	277	181	458	-157	302	260	562
	σ _i (tf/m ²)	-288	689	401	760	1161	-271	891
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	362	-31	331	-200	131	342	473
	σ _i (tf/m ²)	-377	921	544	809	1353	-355	998
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	414	-159	255	-211	44	391	434
	σ _i (tf/m ²)	-430	1068	638	820	1458	-406	1052
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	431	-191	240	-210	30	407	437
	σ _i (tf/m ²)	-448	1106	659	816	1474	-423	1051
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	414	-159	255	-211	44	391	434
	σ _i (tf/m ²)	-430	1068	638	820	1458	-406	1052
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	362	-31	331	-200	131	342	473
	σ _i (tf/m ²)	-377	921	544	809	1353	-355	998
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	277	181	458	-157	302	260	562
	σ _i (tf/m ²)	-288	689	401	760	1161	-271	891
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	157	426	583	-89	494	147	641
	σ _i (tf/m ²)	-163	429	266	685	951	-152	799
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	30	30	66	97
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	641	20	661	44	705
	σ_i (tf/m ²)	0	799	-70	729	-152	577
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	54	54	94	148
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	562	36	598	62	660
	σ_i (tf/m ²)	0	891	-124	767	-215	552
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	71	71	122	193
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	473	47	520	81	601
	σ_i (tf/m ²)	0	998	-163	835	-281	554
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	81	81	140	221
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	434	53	488	92	580
	σ_i (tf/m ²)	0	1052	-186	866	-321	545
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	84	84	146	231
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	437	56	493	96	590
	σ_i (tf/m ²)	0	1051	-194	858	-335	522
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	81	81	140	221
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	434	53	488	92	580
	σ_i (tf/m ²)	0	1052	-186	866	-321	545
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	71	71	122	193
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	473	47	520	81	601
	σ_i (tf/m ²)	0	998	-163	835	-281	554
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	54	54	94	148
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	562	36	598	62	660
	σ_i (tf/m ²)	0	891	-124	767	-215	552
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	30	30	66	97
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	641	20	661	44	705
	σ_i (tf/m ²)	0	799	-70	729	-152	577
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-98	-68	66	-2
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-56	605	44	648
	σ_i (tf/m ²)	-183	546	-152	394
S2	σ_s (tf/m ²)	-81	-27	94	66
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-5	593	62	655
	σ_i (tf/m ²)	-235	531	-215	316
S3	σ_s (tf/m ²)	-70	1	122	123
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	38	558	81	639
	σ_i (tf/m ²)	-286	549	-281	268
S4	σ_s (tf/m ²)	-64	18	140	158
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	62	549	92	642
	σ_i (tf/m ²)	-315	552	-321	230
S5	σ_s (tf/m ²)	-62	23	146	169
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	67	560	96	656
	σ_i (tf/m ²)	-319	539	-335	204
S6	σ_s (tf/m ²)	-64	18	140	158
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	62	549	92	642
	σ_i (tf/m ²)	-315	552	-321	230
S7	σ_s (tf/m ²)	-70	1	122	123
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	38	558	81	639
	σ_i (tf/m ²)	-286	549	-281	268
S8	σ_s (tf/m ²)	-81	-27	94	66
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-5	593	62	655
	σ_i (tf/m ²)	-235	531	-215	316
S9	σ_s (tf/m ²)	-98	-68	66	-2
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-56	605	44	648
	σ_i (tf/m ²)	-183	546	-152	394
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	349/500

Verificação do estado limite de descompressão para a combinação quase permanente de carregamentos (ELS-D)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_2 = 0,3$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	157	426	583	-89	494	147	641
	σ _i (tf/m ²)	-163	429	266	685	951	-152	799
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	277	181	458	-157	302	260	562
	σ _i (tf/m ²)	-288	689	401	760	1161	-271	891
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	362	-31	331	-200	131	342	473
	σ _i (tf/m ²)	-377	921	544	809	1353	-355	998
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	414	-159	255	-211	44	391	434
	σ _i (tf/m ²)	-430	1068	638	820	1458	-406	1052
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	431	-191	240	-210	30	407	437
	σ _i (tf/m ²)	-448	1106	659	816	1474	-423	1051
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	414	-159	255	-211	44	391	434
	σ _i (tf/m ²)	-430	1068	638	820	1458	-406	1052
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	362	-31	331	-200	131	342	473
	σ _i (tf/m ²)	-377	921	544	809	1353	-355	998
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	277	181	458	-157	302	260	562
	σ _i (tf/m ²)	-288	689	401	760	1161	-271	891
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	157	426	583	-89	494	147	641
	σ _i (tf/m ²)	-163	429	266	685	951	-152	799
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g_3	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	30	30	40	70
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	641	20	661	26	687
	σ_i (tf/m ²)	0	799	-70	729	-91	638
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	54	54	56	110
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	562	36	598	37	635
	σ_i (tf/m ²)	0	891	-124	767	-129	638
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	71	71	73	144
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	473	47	520	48	568
	σ_i (tf/m ²)	0	998	-163	835	-168	667
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	81	81	84	165
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	434	53	488	55	543
	σ_i (tf/m ²)	0	1052	-186	866	-193	673
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	84	84	88	172
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	437	56	493	58	551
	σ_i (tf/m ²)	0	1051	-194	858	-201	657
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	81	81	84	165
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	434	53	488	55	543
	σ_i (tf/m ²)	0	1052	-186	866	-193	673
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	71	71	73	144
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	473	47	520	48	568
	σ_i (tf/m ²)	0	998	-163	835	-168	667
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	54	54	56	110
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	562	36	598	37	635
	σ_i (tf/m ²)	0	891	-124	767	-129	638
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	30	30	40	70
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	641	20	661	26	687
	σ_i (tf/m ²)	0	799	-70	729	-91	638
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-98	-68	40	-28
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-56	605	26	631
	σ_i (tf/m ²)	-183	546	-91	455
S2	σ_s (tf/m ²)	-81	-27	56	29
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-5	593	37	630
	σ_i (tf/m ²)	-235	531	-129	402
S3	σ_s (tf/m ²)	-70	1	73	74
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	38	558	48	607
	σ_i (tf/m ²)	-286	549	-168	380
S4	σ_s (tf/m ²)	-64	18	84	102
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	62	549	55	605
	σ_i (tf/m ²)	-315	552	-193	359
S5	σ_s (tf/m ²)	-62	23	88	110
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	67	560	58	618
	σ_i (tf/m ²)	-319	539	-201	338
S6	σ_s (tf/m ²)	-64	18	84	102
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	62	549	55	605
	σ_i (tf/m ²)	-315	552	-193	359
S7	σ_s (tf/m ²)	-70	1	73	74
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	38	558	48	607
	σ_i (tf/m ²)	-286	549	-168	380
S8	σ_s (tf/m ²)	-81	-27	56	29
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-5	593	37	630
	σ_i (tf/m ²)	-235	531	-129	402
S9	σ_s (tf/m ²)	-98	-68	40	-28
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-56	605	26	631
	σ_i (tf/m ²)	-183	546	-91	455
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 352/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do cisalhamento - $t = \infty$

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,K} = V_p^{\text{prot}}$ em tempo $t = \infty$

Seção	$V_{g1,k}$ (tf)	$V_{g2,k}$ (tf)	$V_{g3,k}$ (tf)	$V_{p,k}$ (tf)	$V_{q,max,k}$ (tf)	$V_{q,min,k}$ (tf)	V_k^{max} (tf)	V_k^{min} (tf)
S0	26,41	23,27	15,01	0,00	65,59	0,00	130,28	64,69
S1	19,59	18,62	12,01	-38,23	55,82	-1,96	67,80	10,02
S2	14,69	13,96	9,01	-35,10	37,37	-4,98	39,93	-2,42
S3	9,80	9,31	6,00	-24,67	30,63	-9,03	31,07	-8,59
S4	4,90	4,65	3,00	-9,26	24,42	-13,62	27,72	-10,33
S5	0,00	0,00	0,00	0,00	18,75	-18,75	18,75	-18,75
S6	-4,90	-4,65	-3,00	9,26	13,62	-24,42	10,33	-27,72
S7	-9,80	-9,31	-6,00	24,67	9,03	-30,63	8,59	-31,07
S8	-14,69	-13,96	-9,01	35,10	4,98	-37,37	2,42	-39,93
S9	-19,59	-18,62	-12,01	38,23	1,96	-55,82	-10,02	-67,80
S10	-26,41	-23,27	-15,01	0,00	0,00	-65,59	-64,69	-130,28

Verificação do concreto

$$\phi^{bainha} \text{ (m)} = 0,075$$

$$n_{\text{bainhas alinhadas na alma}} = 1$$


$$V_{sd} = 1,35 \times V_g + \left\{ \begin{matrix} 1,2 \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \times V_p + 1,5 \times V_q$$

$$V_{rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b_{w,nom} \times d$$

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \quad (f_{ck} \text{ em MPa})$$

Seção	V_{sd} (tf)	b_w (m)	H (m)	$\Sigma \Phi/2$ (m)	b_w^{nom} (m)	d (m)	V_{rd2} (tf)
S0	185,7	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2
S1	117,1	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S2	75,3	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S3	57,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S4	45,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S5	28,1	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S6	45,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S7	57,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S8	75,3	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S9	117,1	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S10	185,7	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 353/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Parcela do esforço cortante absorvida pelos mecanismos complementares à treliça

$$M_{sdu} = 1,35 \times M_g + 1,5 \times M_q$$

Seção	M _{g1,k}	M _{g2,k}	M _{g3,k}	M _{q máx,k}	M _{q mín,k}	M _{sdu} (tf.m)
S0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
S1	60,09	56,13	36,20	157,70	0,00	442,3
S2	106,04	99,78	64,36	223,39	0,00	699,8
S3	138,85	130,96	84,48	291,67	0,00	915,8
S4	158,54	149,67	96,55	333,73	0,00	1047,0
S5	165,10	155,90	100,57	348,19	0,00	1091,4
S6	158,54	149,67	96,55	333,73	0,00	1047,0
S7	138,85	130,96	84,48	291,67	0,00	915,8
S8	106,04	99,78	64,36	223,39	0,00	699,8
S9	60,09	56,13	36,20	157,70	0,00	442,3
S10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

$$V_c = V_{c0} \times (1 + M_0 / M_{sd,m\acute{a}x}) \leq 2 \times V_{c0}$$

$$M_0 = 0,90 \times (\sigma_p^{prot.} \times W)$$

$$V_{c0} = 0,60 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,70 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}}$$

com f_{ck} em MPa

Seção	σ _p ^{prot.} (tf/m ²)	W _i (m ³)	M ₀ (tf.m)	1+ M ₀ /M _{sd,máx}
S0	0	0,769	0,00	1,00
S1	931	0,519	435,17	1,98
S2	1213	0,519	567,13	1,81
S3	1443	0,519	674,52	1,74
S4	1573	0,519	735,46	1,70
S5	1603	0,519	749,28	1,69
S6	1573	0,519	735,46	1,70
S7	1443	0,519	674,52	1,74
S8	1213	0,519	567,13	1,81
S9	931	0,519	435,17	1,98
S10	0	0,769	0,00	1,00

Seção	b_w^{nom} (m)	d (m)	Vc0 (tf)	2 * Vc0 (tf)	Vc (tf)
S0	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5
S1	0,183	1,784	34,3	68,5	68,0
S2	0,183	1,784	34,3	68,5	62,0
S3	0,183	1,784	34,3	68,5	59,5
S4	0,183	1,784	34,3	68,5	58,3
S5	0,183	1,784	34,3	68,5	57,8
S6	0,183	1,784	34,3	68,5	58,3
S7	0,183	1,784	34,3	68,5	59,5
S8	0,183	1,784	34,3	68,5	62,0
S9	0,183	1,784	34,3	68,5	68,0
S10	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

Seção	Vsd (tf)	Vc (tf)	V _{swd} (tf)
S0	185,7	131,5	54,26
S1	117,1	68,0	49,12
S2	75,3	62,0	13,26
S3	57,6	59,5	0,00
S4	45,2	58,3	0,00
S5	28,1	57,8	0,00
S6	45,2	58,3	0,00
S7	57,6	59,5	0,00
S8	75,3	62,0	13,26
S9	117,1	68,0	49,12
S10	185,7	131,5	54,26

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal

$$V_{swd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{swd} / (0,90 \times d \times f_{ywd})$$

$$\rho_{sw} = (A_{sw} / s) \times (1 / b_w) \geq 0,20 \times f_{ctm} / f_{ywk}$$

$$f_{ywk} = f_{yk}$$

Seção	b_w (m)	V _{swd} (tf)	A_{sw}/s (cm ² /m)	ρ_{sw} (cm ² /m ²)	ρ_{sw}^{min} (cm ² /m ²)
S0	0,70	54,3	7,77	11,10	14,04
S1	0,22	49,1	7,04	31,98	14,04
S2	0,22	13,3	1,90	8,63	14,04
S3	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S4	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S5	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S6	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S7	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S8	0,22	13,3	1,90	8,63	14,04
S9	0,22	49,1	7,04	31,98	14,04
S10	0,70	54,3	7,77	11,10	14,04

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\psi_{fad} = 0,50$$

$$\Delta\sigma_{sw} = \sigma_{sw}^{m\acute{a}x} - \sigma_{sw}^{m\acute{i}n} \quad \sigma_{sw}^{m\acute{a}x/m\acute{i}n} = \frac{V_{m\acute{a}x/m\acute{i}n} - V_c/2}{b_w \times d \times \rho_{sw}}$$

$$f \cdot f \cdot = \frac{\Delta\sigma_{sw}}{\Delta f_{sd}} \quad \Delta f_{sd}^{fad} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 850$$

Seção	V _{máx} (tf)	V _{mín} (tf)	V _{d/2} (tf)	$\sigma_{sw}^{m\acute{a}x}$ (tf/cm ²)	$\sigma_{sw}^{m\acute{i}n}$ (tf/cm ²)	$\Delta\sigma_{sw}$ (tf/cm ²)	f.f.	ρ_{sw} (cm ² /m ²)
S0	97,48	64,69	65,7	1,81	0,00	1,81	2,13	23,67
S1	39,89	11,00	34,0	0,47	0,00	0,47	1,00	31,98
S2	21,24	0,07	31,0	0,00	0,00	0,00	1,00	8,63
S3	15,75	-4,08	29,8	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S4	15,50	-3,52	29,2	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S5	9,38	-9,38	28,9	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S6	3,52	-15,50	29,2	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S7	4,08	-15,75	29,8	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S8	-0,07	-21,24	31,0	0,00	0,00	0,00	1,00	8,63
S9	-11,00	-39,89	34,0	0,00	0,47	0,47	1,00	31,98
S10	-64,69	-97,48	65,7	0,00	1,81	1,81	2,13	23,67

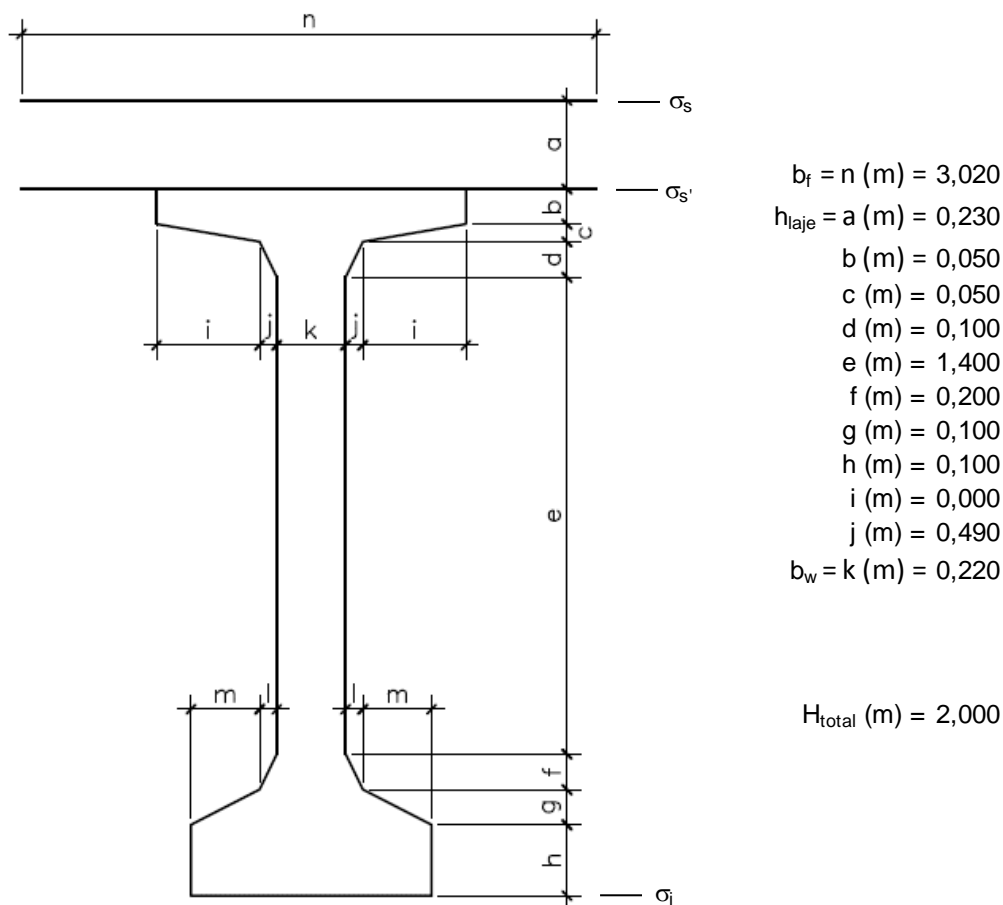
Determinação dos estribos e seus espaçamentos

$$s = (n \times A_s^{1perna}) / (\rho_{sw} \times ff \times b_w^{medio})$$

Seção	b _w (m)	ρ_{wu} (cm ² /m ²)	ρ_{wu} (Méd/Mín)	n	Φ (mm)	A _s ^{1perna}	S _{calculado} (cm)	S _{adotado} (cm)
S0	0,70	23,67						
			27,83	2	12,5	1,23	19,2	17,5
S1	0,22	31,98						
			20,31	2	10,0	0,79	35,2	30,0
S2	0,22	8,63						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S3	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S4	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S5	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S6	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S7	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S8	0,22	8,63						
			20,31	2	10,0	0,79	35,2	30,0
S9	0,22	31,98						
			27,83	2	12,5	1,23	19,2	17,5
S10	0,70	23,67						

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à ruptura)

Seção S₅



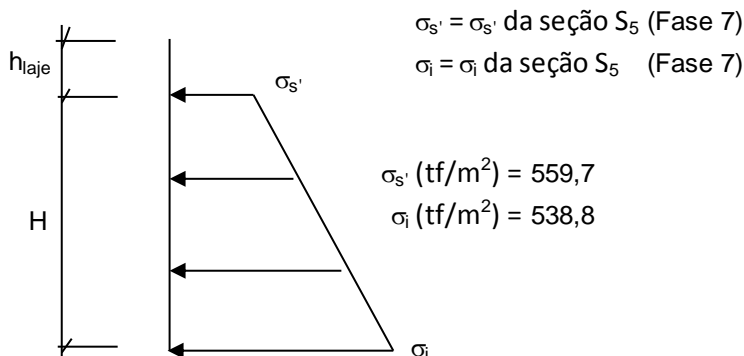
Materiais:

Concreto laje $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$ $E_{cs, laje} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Concreto viga $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$ $E_{cs, viga} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Aço: CP-190 RB $E_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

	$\sigma_{sp}^{t=\infty}$ (kgf/cm ²)
C1	10.863
C2	10.792
C3	10.712
C4	10.708
C5	10.535
C6	0
C7	0
C8	0
C9	0

Solicitações atuantes na seção S₅

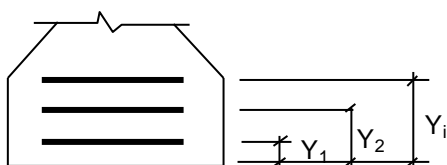
$$M_{g1} \text{ (tf.m)} = 165,1$$

$$M_q \text{ (tf.m)} = 348,2$$

$$M_{g2} \text{ (tf.m)} = 155,9$$

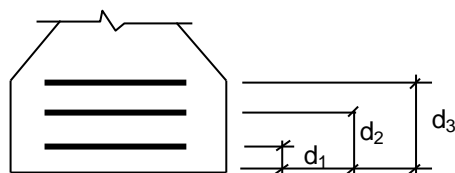
$$M_{g3} \text{ (tf.m)} = 100,6$$

Cálculo do C.G. da armadura de protensão



	y (m)
C1	0,420
C2	0,270
C3	0,120
C4	0,120
C5	0,120
C6	
C7	
C8	
C9	

Cálculo do C.G. da armadura passiva complementar



1ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 6$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 16$$

$$d_1 \text{ (m)} = 0,060$$

$$\text{C.G. (cm)} = 0,060$$

2ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_2 \text{ (m)} = 0,100$$

3ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

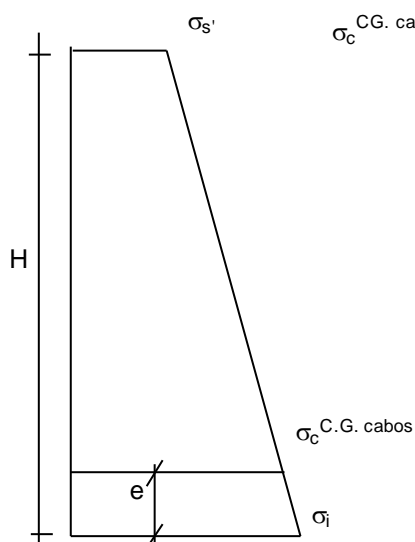
$$d_3 \text{ (m)} = 0,150$$

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\varepsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=\infty} / E_{sp}$$

	$\varepsilon_{sp}^{\text{pré-along.}}$
C1	0,0054
C2	0,0054
C3	0,0054
C4	0,0054
C5	0,0053
C6	0,0000
C7	0,0000
C8	0,0000
C9	0,0000

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



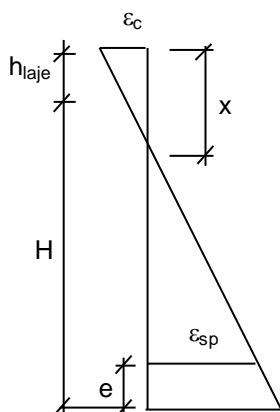
$$\sigma_c^{\text{C.G. cabos}} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma'_s) / H] + \sigma'_s$$

$$\varepsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{\text{C.G. cabos}} / E_{cs}$$

	y (m)	σ_c (tf/m ²)	$\varepsilon_{sp}^{\text{descomp}}$
C1	0,420	543,2	0,00017
C2	0,270	541,6	0,00017
C3	0,120	540,1	0,00017
C4	0,120	540,1	0,00017
C5	0,120	540,1	0,00017
C6	0,000	0,0	0,00000
C7	0,000	0,0	0,00000
C8	0,000	0,0	0,00000
C9	0,000	0,0	0,00000

Equilíbrio da seção:

Deformada admitida para a seção S₅



$$\varepsilon_c (\text{‰}) = 1,106$$

$$\varepsilon_{sp} (\text{‰}) = 10,000$$

$$x = [\varepsilon_c / (\varepsilon_c + \varepsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0,210$$

Cálculo da resultante de compressão

Lamela	y_{1i} (m)	y_{2i} (m)	B1 (m)	B2 (m)	ε_{ci} (‰)	σ_{cd} (tf/m ²)	F_i (tf)
1	0,000	0,042	3,020	3,020	1,00	1815	230,3
2	0,042	0,084	3,020	3,020	0,77	1516	192,3
3	0,084	0,126	3,020	3,020	0,55	1157	146,8
4	0,126	0,168	3,020	3,020	0,33	739	93,7
5	0,168	0,210	3,020	3,020	0,11	261	33,1
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 696,3$$

$$C.G._{cc} \text{ (m)} = 0,075$$

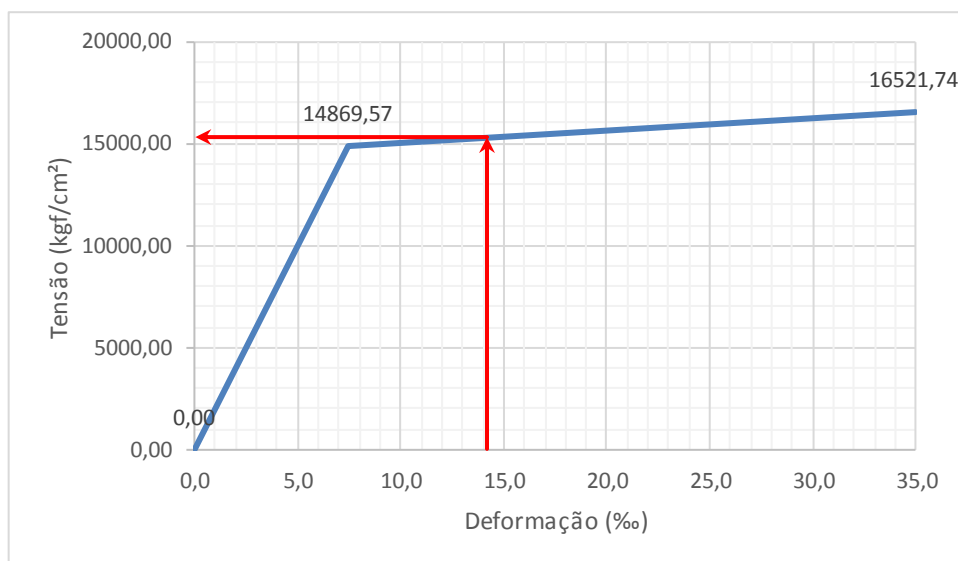
Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

	y (m)	ϵ_{sp} (‰)	ϵ_{sp}^{total} (‰)
C1	0,420	8,62	14,219
C2	0,270	9,33	14,897
C3	0,120	10,00	15,526
C4	0,120	10,00	15,523
C5	0,120	10,00	15,437
C6	0,000	0,00	0,000
C7	0,000	0,00	0,000
C8	0,000	0,00	0,000
C9	0,000	0,00	0,000

Do diagrama tensão-deformação preconizado na NBR 6118, tem-se

$$f_{pyd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.869,6 \quad f_{ptd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 16.521,7$$



$$R_{st,CP} = A_{sp} \times \sigma_{sp}$$

	σ_{sp} (kgf/cm²)	A_{sp} (cm²)	$R_{st,CP-190}$ (tf)
C1	15.276	8,40	128,32
C2	15.317	8,40	128,66
C3	15.355	8,40	128,98
C4	15.354	8,40	128,98
C5	15.349	8,40	128,93
C6	0	0,00	0,00
C7	0	0,00	0,00
C8	0	0,00	0,00
C9	0	0,00	0,00
$R_{st,CP}$ (tf) =			643,87

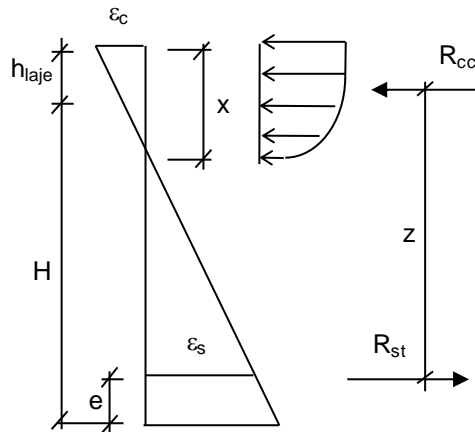
$$A_s^{CA-50} (cm^2) = 12,064$$

$$R_{st,CA-50} = A_s^{CA-50} \times \sigma_s$$

$$R_{st,CA-50} (tf) = 52,5$$

$$R_{st} = R_{st,CP} + R_{st,CA-50}$$

$$R_{st} (tf) = 696,3$$



	z (m)
C1	1,735
C2	1,885
C3	2,035
C4	2,035
C5	2,035
C6	0,000
C7	0,000
C8	0,000
C9	0,000
CA-50	2,095

$$z = H + h_{laje} - C.G._{cc} - e$$

$$M_i = R_{st,i} \cdot z_i$$

$$z = \sum M_i / R_{st}$$

$$z (m) = 1,956$$

Assim temos:


$$M_u = R_{st} \cdot z \quad M_u (tf.m) = 1.362$$

$$M_d = 1,35 \cdot (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,5 \cdot (M_q) + \Delta F_{sd} \cdot z$$

$$\Delta F_{sd} (tf) = 0,00$$

$$M_d (tf.m) = 1.091$$

$$\text{Então: } M_u / M_d = 1,25 > 1,00 \text{ (Atende)}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 362/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

5.7 VIGAS DE 20,40m (VIGA EXTERNA À CURVA DO VÃO ENTRE EIXOS 03A E 04A – RAMO 2000)

Características geométricas das seções

As características das seções serão calculadas considerando contribuição das armaduras passivas principais (superior e inferior), além das armaduras ativas.

As características das seções do conjunto viga+laje serão calculadas considerando a relação entre os módulos de elasticidade do concreto da viga e da laje, n .

$$f_{ck,viga} \text{ (MPa)} = 40 \quad f_{ck,laje} \text{ (MPa)} = 40 \quad \text{tipo de agregado considerado: granito ou gnaiss}$$

$$E_{CS,viga} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad E_{CS,laje} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad n = 1,00$$

$$E_s \text{ (MPa)} = 200.000 \quad \alpha = 6,27$$

Viga Isolada

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,700	0,050	1,900	1,850	0,048	1,877	0,089	0,167	0,000
4	0,700	0,700	1,450	1,850	0,400	1,015	1,125	1,142	1,285	0,178
5	0,700	0,700	0,200	0,400	0,200	0,140	0,300	0,042	0,013	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{array}{llll}
A \text{ (m}^2\text{)} = 1,463 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 2,101 & V_s \text{ (m)} = - & w_s \text{ (m}^3\text{)} = - \\
H \text{ (m)} = 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,519 & V_s' \text{ (m)} = 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,541 \\
A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00 & V_i \text{ (m)} = 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,499 \\
Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000 & &
\end{array}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A_s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{array}{lll}
A \text{ (m}^2\text{)} = 1,463 & V_s \text{ (m)} = - & w_s \text{ (m}^3\text{)} = - \\
H \text{ (m)} = 2,000 & V_s' \text{ (m)} = 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,541 \\
I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,519 & V_i \text{ (m)} = 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,499
\end{array}$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A _s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

[illegible]

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\ H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\ A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\ Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & & \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\ H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \end{aligned}$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\ H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\ A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\ Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & & \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\ H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \end{aligned}$$

Conjunto viga + laje

$$h_{laje} \text{ (m)} = 0,23 \quad \text{intereixo de vigas (m)} = 2,650$$

Vigas centrais

Seção S0

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,610 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,011 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 2,072 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 1,019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,874 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,644 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,356 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,166 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,583 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,751 \end{aligned}$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,610 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,011 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,341 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,778 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,713 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,483 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,517 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,091 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,611 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,512 \end{aligned}$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,610 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,011 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,341 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,778 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,713 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,483 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,517 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,091 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,611 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,512 \end{aligned}$$

Seção S3

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,610$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,341$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,778$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,713$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,483$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,517$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,091$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,611$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,512$$

Seção S4

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,610$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,341$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,778$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,713$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,483$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,517$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,091$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,611$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,512$$

Seção S5

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,610$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,341$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,778$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,713$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,483$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,517$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,091$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,611$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,512$$

Vigas de bordo

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,845	2,845	0,100	0,230	0,130	0,285	0,180	0,051	0,009	0,000
2	2,845	2,845	0,130	0,130	0,000	0,370	0,065	0,024	0,002	0,001

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,654 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,012 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 2,117 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 1,045 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,858 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,628 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,372 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,218 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,664 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,761 \end{aligned}$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,845	2,845	0,100	0,230	0,130	0,285	0,180	0,051	0,009	0,000
2	2,845	2,845	0,130	0,130	0,000	0,370	0,065	0,024	0,002	0,001

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,654 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,012 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,385 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,793 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,693 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,463 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,537 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,144 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,712 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,516 \end{aligned}$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,845	2,845	0,100	0,230	0,130	0,285	0,180	0,051	0,009	0,000
2	2,845	2,845	0,130	0,130	0,000	0,370	0,065	0,024	0,002	0,001

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,654 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,012 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,385 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,793 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,693 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,463 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,537 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,144 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,712 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,516 \end{aligned}$$

Seção S3

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,845	2,845	0,100	0,230	0,130	0,285	0,180	0,051	0,009	0,000
2	2,845	2,845	0,130	0,130	0,000	0,370	0,065	0,024	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,654$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,012$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,385$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,693$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,144$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,463$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,712$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,793$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,537$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,516$$

Seção S4

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,845	2,845	0,100	0,230	0,130	0,285	0,180	0,051	0,009	0,000
2	2,845	2,845	0,130	0,130	0,000	0,370	0,065	0,024	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,654$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,012$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,385$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,693$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,144$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,463$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,712$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,793$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,537$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,516$$

Seção S5

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,845	2,845	0,100	0,230	0,130	0,285	0,180	0,051	0,009	0,000
2	2,845	2,845	0,130	0,130	0,000	0,370	0,065	0,024	0,002	0,001

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,654$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,012$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,385$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,693$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,144$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,463$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,712$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,793$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,537$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,516$$

Resumo das características das seções

Viga isolada

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	1,463	0,519	-	0,960	1,040	-	0,541	0,499
S1	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S2	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S3	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S4	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S5	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369

Conjunto viga+laje

Vigas centrais

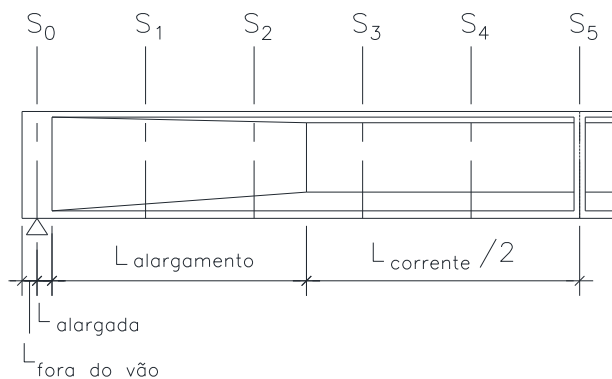
	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,072	1,019	0,874	0,644	1,356	1,166	1,583	0,751
S1	1,341	0,778	0,713	0,483	1,517	1,091	1,611	0,512
S2	1,341	0,778	0,713	0,483	1,517	1,091	1,611	0,512
S3	1,341	0,778	0,713	0,483	1,517	1,091	1,611	0,512
S4	1,341	0,778	0,713	0,483	1,517	1,091	1,611	0,512
S5	1,341	0,778	0,713	0,483	1,517	1,091	1,611	0,512

Vigas de bordo

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,117	1,045	0,858	0,628	1,372	1,218	1,664	0,761
S1	1,385	0,793	0,693	0,463	1,537	1,144	1,712	0,516
S2	1,385	0,793	0,693	0,463	1,537	1,144	1,712	0,516
S3	1,385	0,793	0,693	0,463	1,537	1,144	1,712	0,516
S4	1,385	0,793	0,693	0,463	1,537	1,144	1,712	0,516
S5	1,385	0,793	0,693	0,463	1,537	1,144	1,712	0,516

Cargas permanentes

Peso próprio da viga



$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 19,80$$

$$\Delta S \text{ (m)} = 1,980$$

$$\gamma_{\text{concreto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,50$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$g_{\text{fora do vão}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$L_{\text{alargada}} \text{ (m)} = 0,900$$

$$g_{\text{alargada}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$L_{\text{alargamento}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$g_{\text{corrente}} \text{ (tf/m)} = 1,828$$

$$L_{\text{corrente}} \text{ (m)} = 17,400$$

$$n_{\text{septos de vão}} = 1$$

$$X_{\text{septo de vão 1}} \text{ (m)} = -$$

$$X_{\text{septo de vão 2}} \text{ (m)} = -$$

$$e_{\text{septos de vão}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$R_{g1} \text{ (tf)} = 21,11$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	20,0	0,0	-	0,0	0,0
S1	14,5	33,3	-	86,8	-90,2
S2	10,9	58,3	-	152,3	-158,2
S3	7,2	76,3	-	199,1	-206,8
S4	3,6	87,0	-	227,1	-236,0
S5	0,0	90,6	-	236,5	-245,7

Diagrama de Cortante (tf)

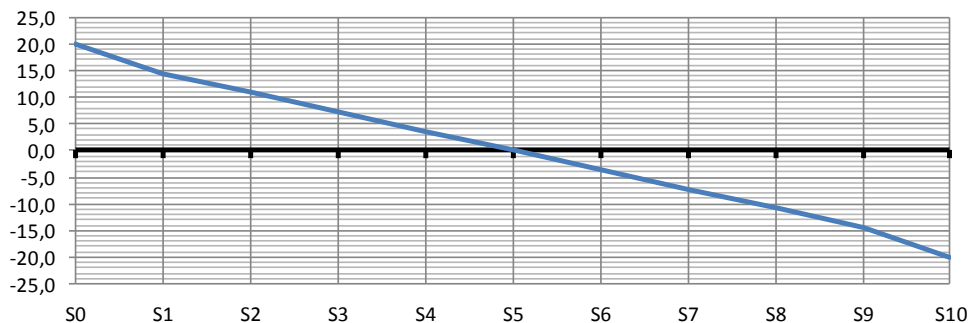
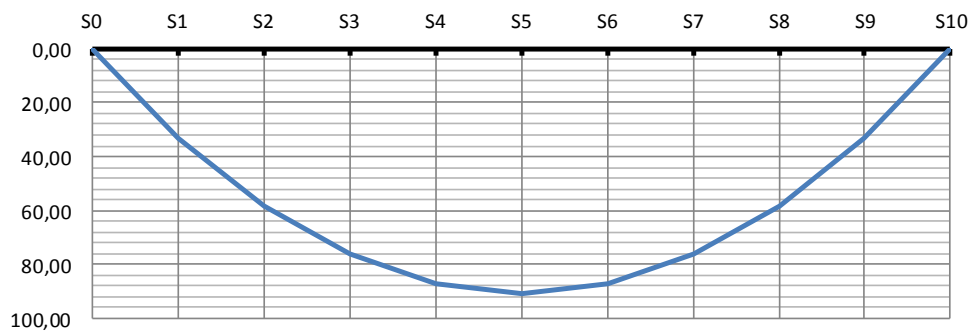


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Peso próprio da laje e transversinas

Vigas centrais

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,524$$

$$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$$

$$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 1,000$$

$$R_{g2} \text{ (tf)} = 17,69$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	15,09	0,00	-	0,0	0,0
S1	12,07	26,88	-	70,2	-72,9
S2	9,05	47,79	-	124,8	-129,6
S3	6,03	62,72	-	163,7	-170,1
S4	3,02	71,68	-	187,1	-194,4
S5	0,00	74,67	-	194,9	-202,5

Diagrama de Cortante (tf)

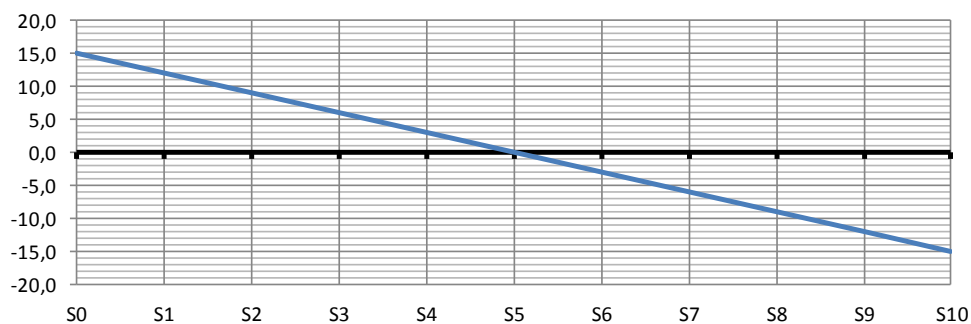
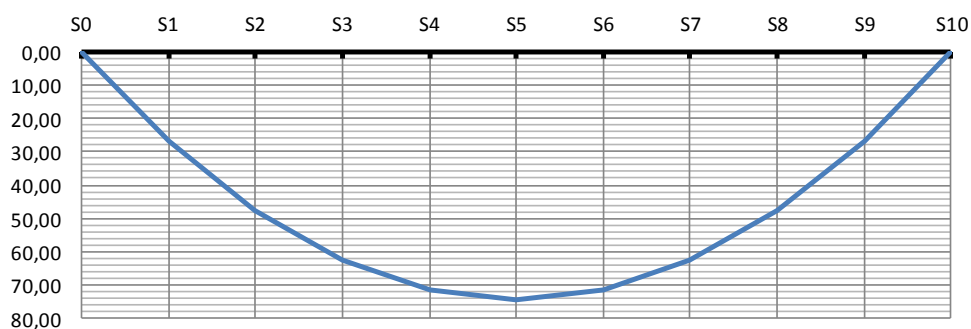


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$$L_{\text{fora do vão}} (m) = 1,050$$

$$g_2 (tf/m) = 1,636$$

$$P_{\text{transv. de vão}} (tf) = 0,000$$

$$P_{\text{transv. de apoio}} (tf) = 0,500$$

$$R_{g2} (tf) = 18,41$$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s (tf/m^2)$	$\sigma_s' (tf/m^2)$	$\sigma_i (tf/m^2)$
S0	16,20	0,00	-	0,0	0,0
S1	12,96	28,86	-	75,3	-78,3
S2	9,72	51,31	-	133,9	-139,1
S3	6,48	67,34	-	175,8	-182,6
S4	3,24	76,96	-	200,9	-208,7
S5	0,00	80,17	-	209,3	-217,4

Diagrama de Cortante (tf)

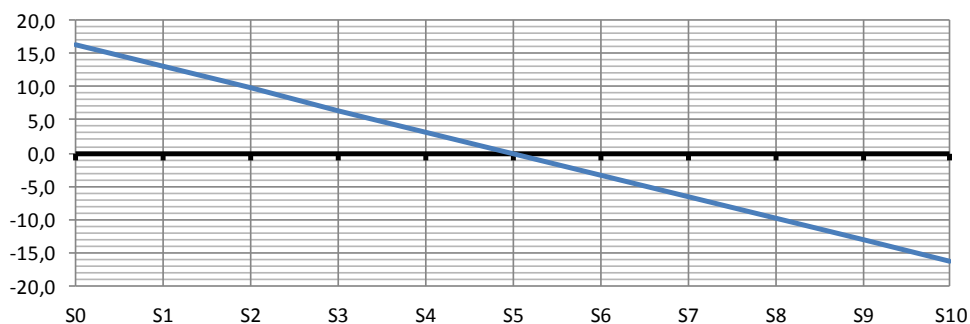
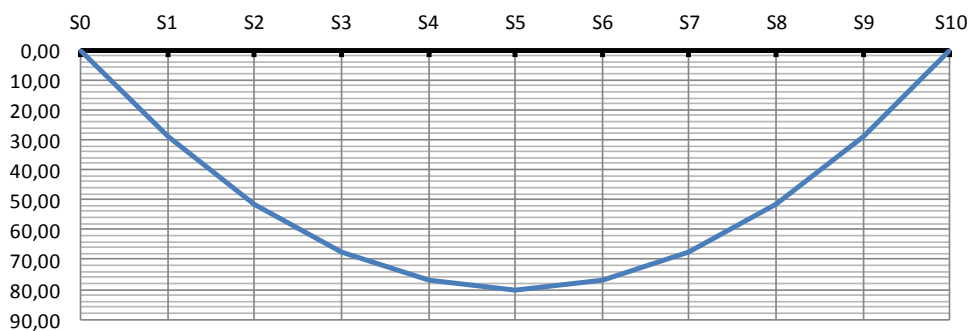


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Sobrecarga Permanente Rodoviária

Vigas centrais

$$h_{\text{asfalto}} (m) = 0,070$$

$$L_{\text{fora do vão}} (m) = 1,050$$

$$b_{\text{asfalto}} (m) = 2,650$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} (tf/m^3) = 2,40$$

$$g_3 (tf/m) = 0,445$$

$$R_{g3} (tf) = 4,87$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	4,41	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	3,53	7,85	7,2	4,9	-15,3
S2	2,64	13,96	12,8	8,7	-27,2
S3	1,76	18,33	16,8	11,4	-35,8
S4	0,88	20,94	19,2	13,0	-40,9
S5	0,00	21,82	20,0	13,5	-42,6

Diagrama de Cortante (tf)

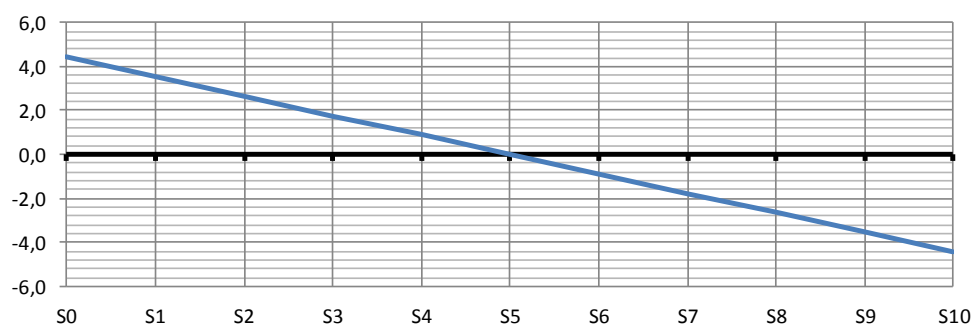
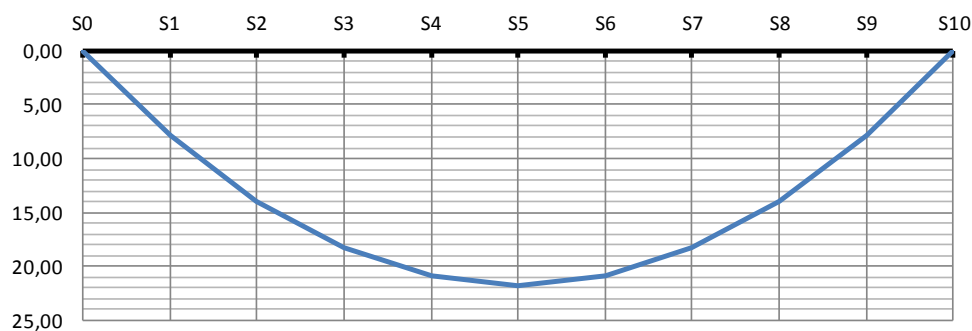


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$$

$$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$$

$$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 2,445$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

$$h_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,10$$

$$b_{\text{pingadeira}} \text{ (m)} = 0,40$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$g_{\text{guarda-rodas}} \text{ (tf/m)} = 0,580$$

$$g_{\text{guarda corpo}} \text{ (tf/m)} = 0,000$$

$$g_{\text{passeio}} \text{ (tf/m)} = 0,000$$

$$g_{\text{pingadeiras}} \text{ (tf/m)} = 0,100$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 1,091$$

$$R_{g3} \text{ (tf)} = 11,94$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	10,80	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	8,64	19,24	16,8	11,2	-37,3
S2	6,48	34,21	29,9	20,0	-66,3
S3	4,32	44,90	39,2	26,2	-87,0
S4	2,16	51,31	44,8	30,0	-99,4
S5	0,00	53,45	46,7	31,2	-103,5

Diagrama de Cortante (tf)

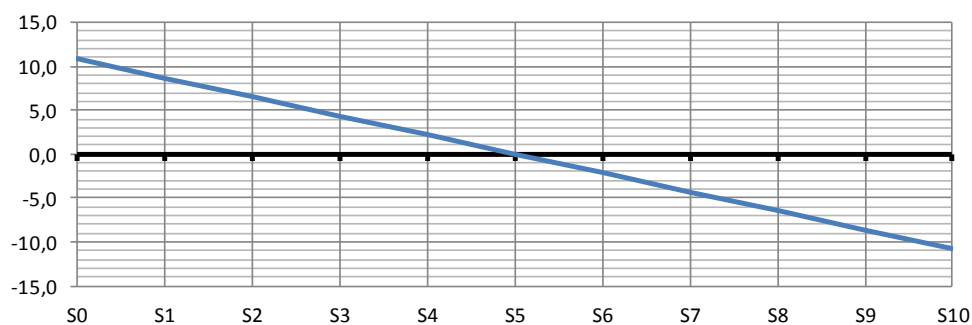
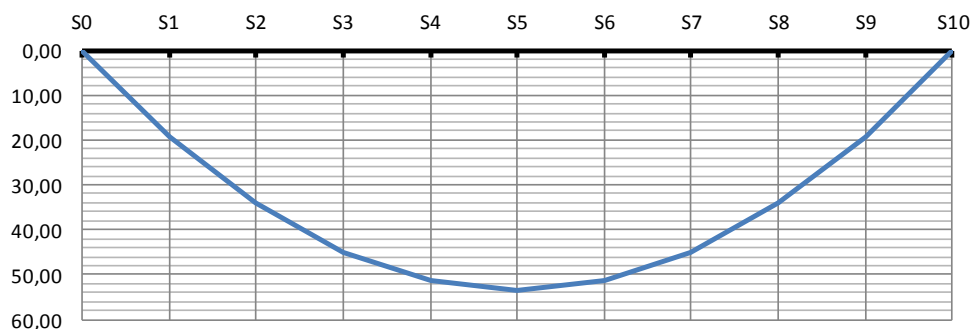


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)




Carga móvel rodoviária

$$L_{\text{transv}} \text{ (m)} = 13,64$$

$$n_{\text{vigas}} = 5$$

	X_i (m)	X_i^2	R_{V1}	R_{V2}	R_{V3}	R_{V4}	R_{V5}	R_{V6}
V1	5,30	28,09	0,600	0,400	0,200	0,000	-0,200	-
V2	2,65	7,02	0,400	0,300	0,200	0,100	0,000	-
V3	0,00	0,00	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	-
V4	-2,65	7,02	0,000	0,100	0,200	0,300	0,400	-
V5	-5,30	28,09	-0,200	0,000	0,200	0,400	0,600	-
V6	-	-	-	-	-	-	-	-
	ΣX_i^2	70,225						

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 376/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 19,80$$

$$P \text{ (tf/roda)} = 6,000$$

$$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,500$$

$$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$$

Coefficiente de impacto vertical (CIV)

$$CIV = 1,35 \text{ para vãos menores que } 10\text{m}$$

$$CIV = 1 + 1,06 \left(\frac{20}{L + 50} \right) \text{ para vãos maiores que } 10\text{m}$$

$$CIV = 1,30$$

Coefficiente do número de faixas (CNF)

$$CNF = 1 - 0,05(n - 2) > 0,9$$

$$n_{\text{faixas}} = 2$$

$$CNF = 1,00$$

Coefficiente de impacto adicional (CIA)

$$CIA = 1,25 \text{ para obras em concreto ou mistas}$$

$$CIA = 1,15 \text{ para obras em aço}$$

$$CIA = 1,25$$

Aplicado apenas nas seções a uma distância normal à junta inferior a 5m.

Trem-tipo para V1 (viga de bordo)

$$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$$

$$i = 0,075$$

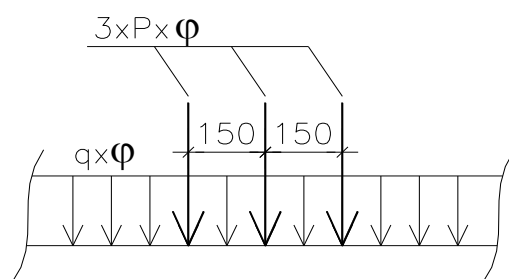
$$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$$

$$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 9,070$$

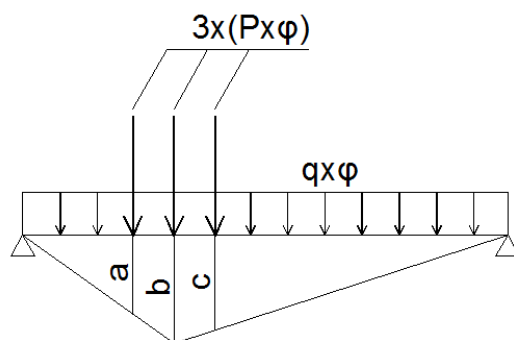
	X (m)	Y
a	6,820	0,715
b	6,820	0,715
c	6,420	0,685
d	5,920	0,647
e	3,920	0,496
f	-2,650	0,000
g	-5,780	-0,236
h	-6,180	-0,266
i	-6,180	-0,266

$$\begin{aligned} P \text{ (tf/eixo)} &= 6,856 && \text{(sem impacto)} \\ q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 1,552 && \text{(sem impacto)} \\ q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ (tf/eixo)} &= 8,938 && \text{(com CIV e CNF)} \\ q_{\text{total}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 2,024 && \text{(com CIV e CNF)} \end{aligned}$$

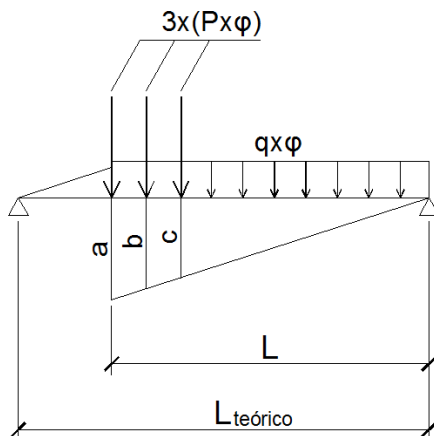


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	1,98	1,482	1,782	1,632	99,33
S2	3,96	2,568	3,168	2,868	140,37
S3	5,94	3,258	4,158	3,708	182,73
S4	7,92	3,852	4,752	4,152	209,21
S5	9,90	4,200	4,950	4,200	218,49
S6	11,88	3,852	4,752	4,152	209,21
S7	13,86	3,258	4,158	3,708	182,73
S8	15,84	2,568	3,168	2,868	140,37
S9	17,82	1,482	1,782	1,632	99,33
S10	19,80	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	$V_{C.M.}$ (tf)
S0	0,00	19,80	1,000	0,924	0,848	56,02
S1	1,98	17,82	0,900	0,824	0,748	47,91
S2	3,96	15,84	0,800	0,724	0,648	32,24
S3	5,94	13,86	0,700	0,624	0,548	26,56
S4	7,92	11,88	0,600	0,524	0,448	21,27
S5	9,90	9,90	0,500	0,424	0,348	16,38
S6	11,88	7,92	0,400	0,324	0,248	11,90
S7	13,86	5,94	0,300	0,224	0,148	7,82
S8	15,84	3,96	0,200	0,124	0,048	4,13
S9	17,82	1,98	0,100	0,024	0,000	1,64
S10	19,80	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V1

	$V_{C.M.}$ (tf)	$M_{C.M.}$ (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	56,02	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	47,91	99,33	86,8	58,0	-192,4
S2	32,24	140,37	122,7	82,0	-271,9
S3	26,56	182,73	159,7	106,7	-354,0
S4	21,27	209,21	182,8	122,2	-405,3
S5	16,38	218,49	190,9	127,6	-423,2
S6	11,90	209,21	182,8	122,2	-405,3
S7	7,82	182,73	159,7	106,7	-354,0
S8	4,13	140,37	122,7	82,0	-271,9
S9	1,64	99,33	86,8	58,0	-192,4
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Trem-tipo para V2 (viga central)

$$b_{\text{guarda corpo}} (\text{m}) = 0,000$$

$$b_{\text{passeio}} (\text{m}) = 0,000$$

$$b_{\text{guarda-rodas}} (\text{m}) = 0,400$$

$$i = 0,038$$

$$L_{\text{pista}} (\text{m}) = 12,200$$

$$L_{\text{C.M.}} (\text{m}) = 11,720$$

	X (m)	Y
a	6,820	0,457
b	6,820	0,457
c	6,420	0,442
d	5,920	0,423
e	3,920	0,348
f	-5,300	0,000
g	-5,780	-0,018
h	-6,180	-0,033
i	-6,180	-0,033

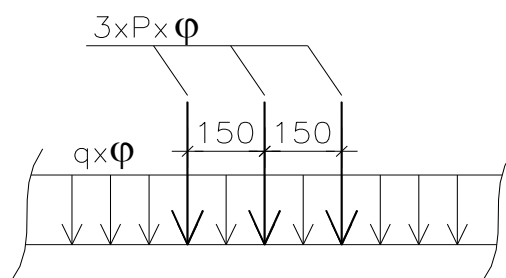
$$P (\text{tf/eixo}) = 4,628 \quad (\text{sem impacto})$$

$$q_{\text{multidão}} (\text{tf/m}^2) = 1,296 \quad (\text{sem impacto})$$

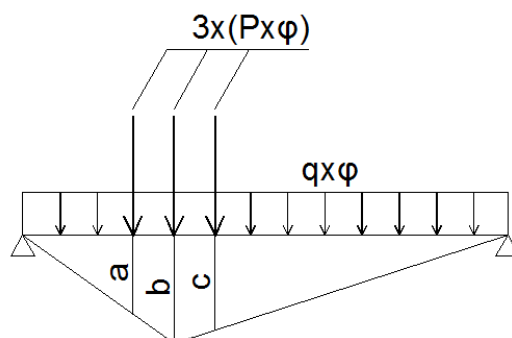
$$q_{\text{passeio}} (\text{tf/m}^2) = 0,000$$

$$P (\text{tf/eixo}) = 6,034 \quad (\text{com CIV e CNF})$$

$$p (\text{tf/m}) = 1,689 \quad (\text{com CIV e CNF})$$

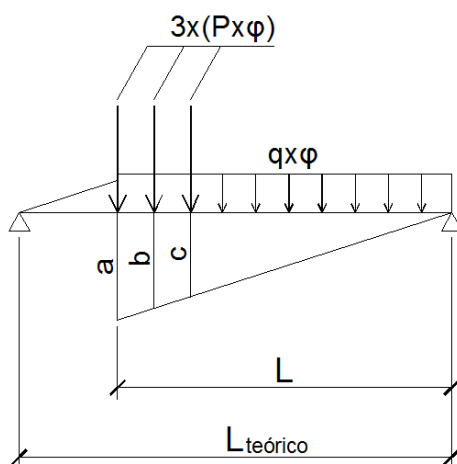


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)




	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	1,98	1,482	1,782	1,632	74,18
S2	3,96	2,568	3,168	2,868	104,90
S3	5,94	3,258	4,158	3,708	136,66
S4	7,92	3,852	4,752	4,152	156,44
S5	9,90	4,200	4,950	4,200	163,34
S6	11,88	3,852	4,752	4,152	156,44
S7	13,86	3,258	4,158	3,708	136,66
S8	15,84	2,568	3,168	2,868	104,90
S9	17,82	1,482	1,782	1,632	74,18
S10	19,80	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	19,80	1,000	0,924	0,848	41,82
S1	1,98	17,82	0,900	0,824	0,748	35,58
S2	3,96	15,84	0,800	0,724	0,648	23,81
S3	5,94	13,86	0,700	0,624	0,548	19,49
S4	7,92	11,88	0,600	0,524	0,448	15,51
S5	9,90	9,90	0,500	0,424	0,348	11,86
S6	11,88	7,92	0,400	0,324	0,248	8,55
S7	13,86	5,94	0,300	0,224	0,148	5,56
S8	15,84	3,96	0,200	0,124	0,048	2,92
S9	17,82	1,98	0,100	0,024	0,000	1,15
S10	19,80	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 381/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V2

	V _{C.M.} (tf)	M _{C.M.} (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	41,82	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	35,58	74,18	68,0	46,0	-144,8
S2	23,81	104,90	96,1	65,1	-204,7
S3	19,49	136,66	125,2	84,8	-266,7
S4	15,51	156,44	143,4	97,1	-305,3
S5	11,86	163,34	149,7	101,4	-318,7
S6	8,55	156,44	143,4	97,1	-305,3
S7	5,56	136,66	125,2	84,8	-266,7
S8	2,92	104,90	96,1	65,1	-204,7
S9	1,15	74,18	68,0	46,0	-144,8
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Cálculo da protensão

Módulo de elasticidade do cabo



E_p (MPa) = 200.000

E_p (kgf/cm²) = 2.000.000

Tensão inicial no cabo:

Pós-Tensão -

$\sigma_{p0} \leq$

$$\left\{ \begin{array}{l} -0,74 * f_{ptk} = 14060 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,82 * f_{pk} = 14022 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

Pré-Tensão -

$\sigma_{p0} \leq$

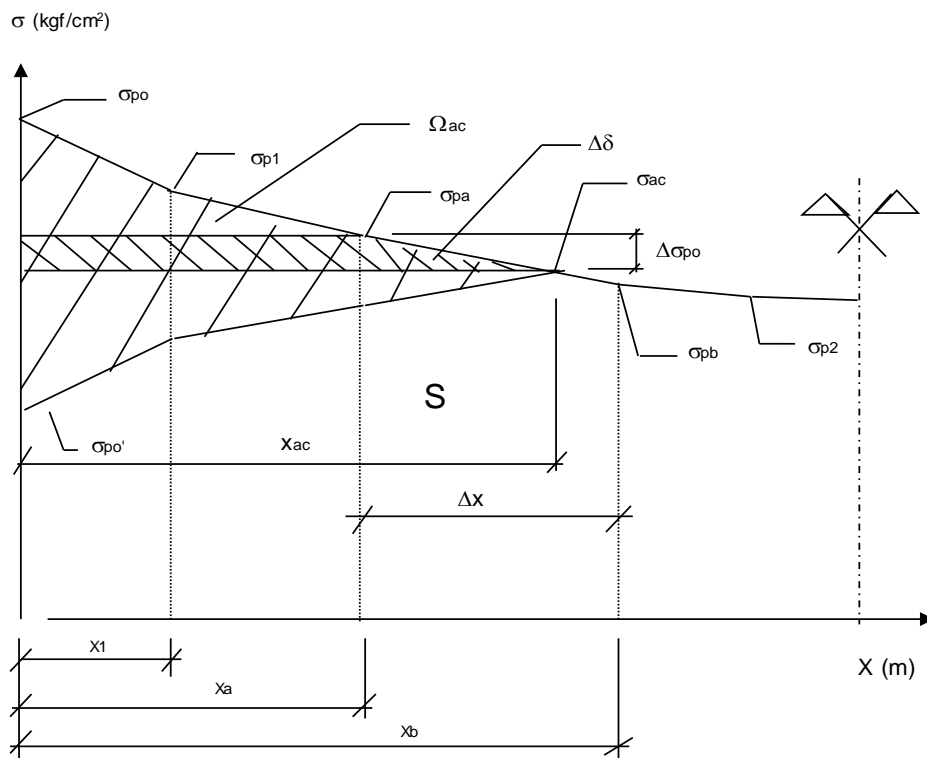
$$\left\{ \begin{array}{l} -0,77 * f_{ptk} = 14630 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,85 * f_{pk} = 14535 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right.$$

onde: f_{ptk} (kg/cm²) = 19.000

f_{pyk} (kgf/cm²) = 17.100

Cabo	Etapas	Sistema
C1	1	Viga isolada
C2	1	Viga isolada
C3	1	Viga isolada
C4		-
C5		-
C6		-
C7		-
C8		-
C9		-

Cálculo das perdas imediatas de protensão



A tensão após as perdas por atrito é dada por:

$$\sigma_{p0}(x) = \sigma_{p0} * e^{-\mu(\alpha + k * x)}$$

- onde:
- $\sigma_{p0}(x)$ é a tensão no cabo após perdas por atrito numa seção situada à uma distância (x) da ancoragem do cabo.
 - (x) é a distância entre a ancoragem e a seção da viga onde está sendo calculada a tensão $\sigma_{p0}(x)$.
 - μ é o coeficiente de atrito entre o cabo e a bainha. Adota-se $\mu = 0,20$.
 - K é o desvio angular por unidade de comprimento. Adota-se $K = 0,01$ rad/m.
 - α é variação angular entre a ancoragem e a seção em (x).

Cabo C1

Unidade de protensão → 6 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 8,4$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0$$

(recuo da ancoragem)

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	20,20	1,700	14,000		28,00	1,000	14022
S1	2,220	17,98	1,147	14,000	0,00	28,00	0,996	13960
S2	4,190	16,01	0,674	11,500	2,50	25,50	0,983	13784
S3	6,160	14,04	0,373	5,800	8,20	19,80	0,960	13459
S4	8,130	12,07	0,270	0,020	13,98	14,02	0,937	13139
S5	10,100	10,10	0,270	0,000	14,00	14,00	0,933	13086
S6	12,070	8,13	0,270	-0,020	14,02	13,98	0,937	13139
S7	14,040	6,16	0,373	-5,800	19,80	8,20	0,960	13459
S8	16,010	4,19	0,674	-11,500	25,50	2,50	0,983	13784
S9	17,980	2,22	1,147	-14,000	28,00	0,00	0,996	13960
S10	20,200	0,00	1,700	-14,000	28,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 69 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

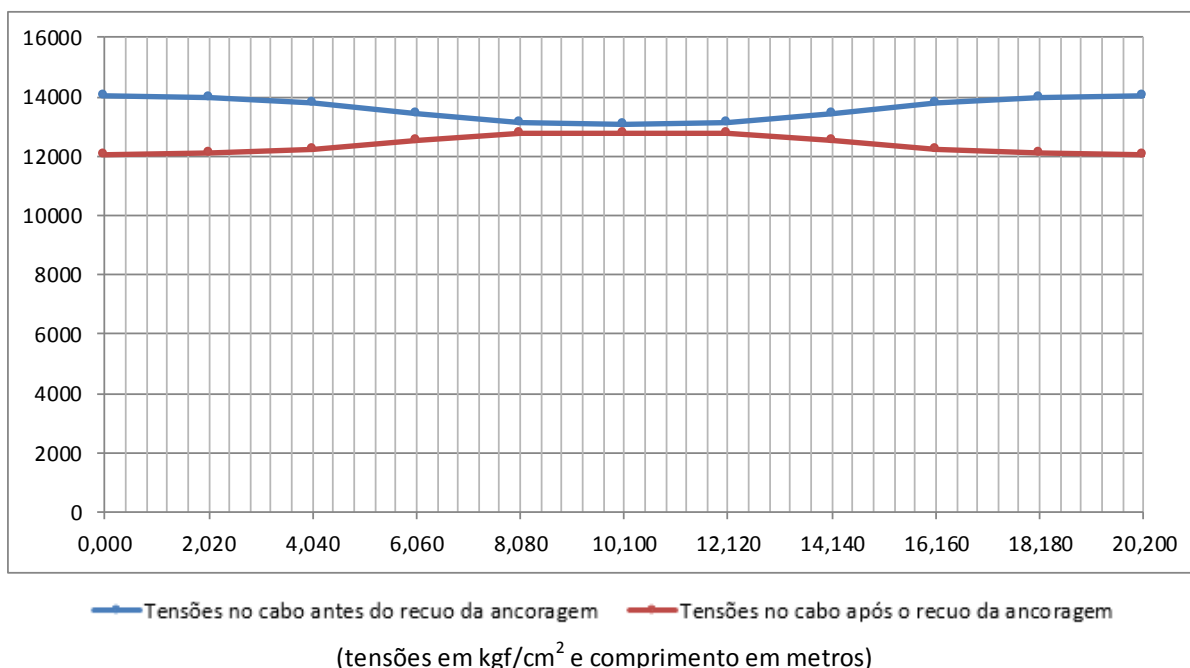
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 69 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0
S1	12086	101,5	1,019	0,127	98,5	-24,6	12,5
S2	12242	102,8	1,019	-0,345	100,8	-20,5	-34,7
S3	12542	105,4	1,019	-0,646	104,8	-10,6	-67,7
S4	12797	107,5	1,019	-0,749	107,5	0,0	-80,5
S5	12745	107,1	1,019	-0,749	107,1	0,0	-80,2
S6	12797	107,5	1,019	-0,749	107,5	0,0	-80,5
S7	12542	105,4	1,019	-0,646	104,8	10,6	-67,7
S8	12242	102,8	1,019	-0,345	100,8	20,5	-34,7
S9	12086	101,5	1,019	0,127	98,5	24,6	12,5
S10	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Cabo C2

Unidade de protensão → 4 ø15,2 Força de puxada (tf) → 79

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 5,6$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0} (x)$
S0	0,000	20,20	1,000	8,000		16,00	1,000	14022
S1	2,220	17,98	0,688	8,000	0,00	16,00	0,996	13960
S2	4,190	16,01	0,411	8,000	0,00	16,00	0,992	13905
S3	6,160	14,04	0,201	4,200	3,80	12,20	0,975	13668
S4	8,130	12,07	0,121	0,400	7,60	8,40	0,958	13435
S5	10,100	10,10	0,120	0,000	8,00	8,00	0,953	13363
S6	12,070	8,13	0,121	-0,400	8,40	7,60	0,958	13435
S7	14,040	6,16	0,201	-4,200	12,20	3,80	0,975	13668
S8	16,010	4,19	0,411	-8,000	16,00	0,00	0,992	13905
S9	17,980	2,22	0,688	-8,000	16,00	0,00	0,996	13960
S10	20,200	0,00	1,000	-8,000	16,00		1,000	14022

Δl^{esq} (mm) = 69 (alongamento previsto na ancoragem esquerda)*

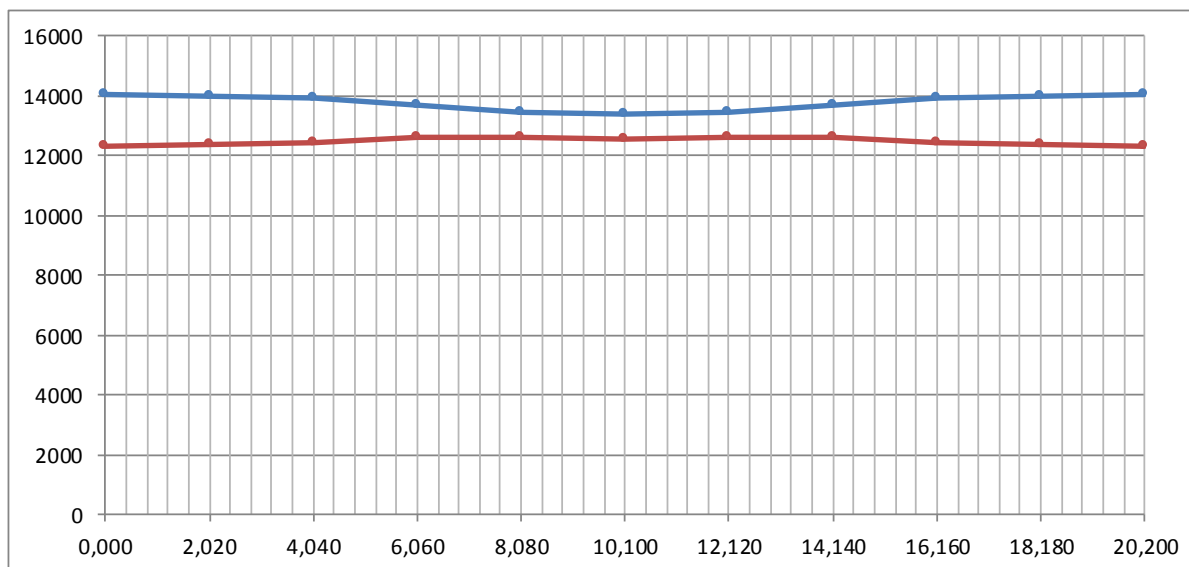
Δl^{dir} (mm) = 69 (alongamento previsto na ancoragem direita)*

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0
S1	12354	69,2	1,019	-0,331	68,5	-9,6	-22,7
S2	12405	69,5	1,019	-0,608	68,8	-9,7	-41,8
S3	12628	70,7	1,019	-0,818	70,5	-5,2	-57,7
S4	12628	70,7	1,019	-0,898	70,7	-0,5	-63,5
S5	12557	70,3	1,019	-0,899	70,3	0,0	-63,2
S6	12628	70,7	1,019	-0,898	70,7	0,5	-63,5
S7	12628	70,7	1,019	-0,818	70,5	5,2	-57,7
S8	12405	69,5	1,019	-0,608	68,8	9,7	-41,8
S9	12354	69,2	1,019	-0,331	68,5	9,6	-22,7
S10	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm² e comprimento em metros)

Cabo C3

Unidade de protensão → 4 Ø15,2

Força de puxada (tf) → 79

Tipo de ancoragem → Viva-Viva

Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 5,6$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recoo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	20,20	0,300	2,000		4,00	1,000	14022
S1	2,220	17,98	0,223	2,00	0,00	4,00	0,996	13960
S2	4,190	16,01	0,154	2,00	0,00	4,00	0,992	13905
S3	6,160	14,04	0,120	0,00	2,00	2,00	0,981	13754
S4	8,130	12,07	0,120	0,00	2,00	2,00	0,977	13700
S5	10,100	10,10	0,120	0,00	2,00	2,00	0,973	13646
S6	12,070	8,13	0,120	0,00	2,00	2,00	0,977	13700
S7	14,040	6,16	0,120	0,00	2,00	2,00	0,981	13754
S8	16,010	4,19	0,154	-2,00	4,00	0,00	0,992	13905
S9	17,980	2,22	0,223	-2,00	4,00	0,00	0,996	13960
S10	20,200	0,00	0,300	-2,00	4,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 70 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

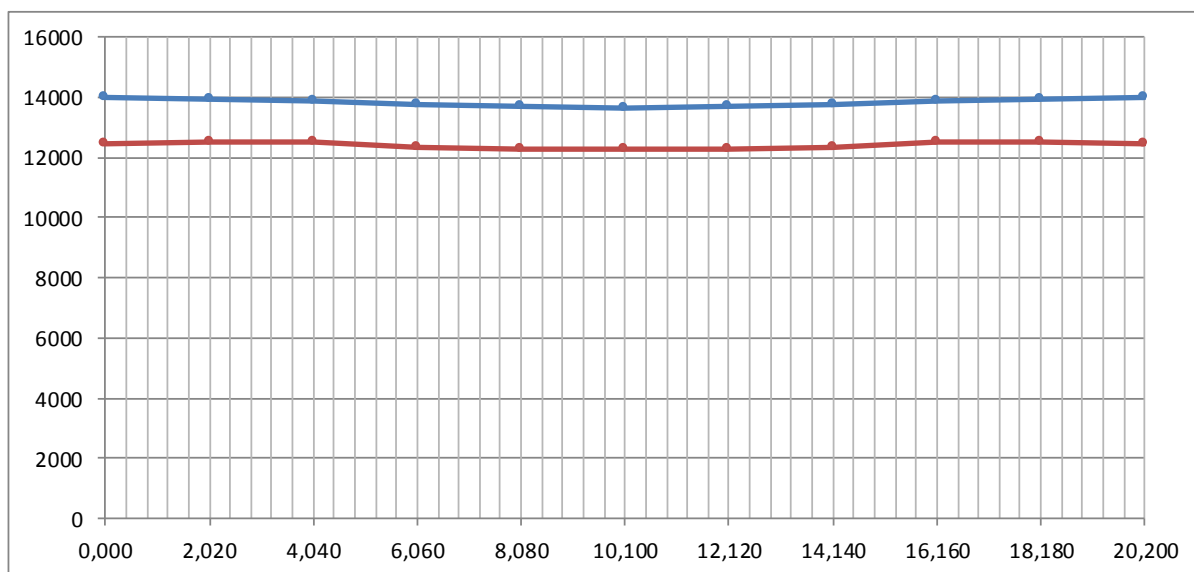
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 70 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recoo da ancoragem


Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0
S1	12528	70,2	1,019	-0,797	70,1	-2,4	-55,9
S2	12510	70,1	1,019	-0,865	70,0	-2,4	-60,6
S3	12362	69,2	1,019	-0,899	69,2	0,0	-62,2
S4	12309	68,9	1,019	-0,899	68,9	0,0	-62,0
S5	12255	68,6	1,019	-0,899	68,6	0,0	-61,7
S6	12309	68,9	1,019	-0,899	68,9	0,0	-62,0
S7	12362	69,2	1,019	-0,899	69,2	0,0	-62,2
S8	12510	70,1	1,019	-0,865	70,0	2,4	-60,6
S9	12528	70,2	1,019	-0,797	70,1	2,4	-55,9
S10	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0

A perda por recoo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm² e comprimento em metros)

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 388/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação das tensões elásticas no concreto nas diversas fases de carregamento

Serão verificadas as tensões nas fibras extremas do concreto para as seguintes fases de carregamento:

- Fase 1 = peso próprio da viga isolada + 1ª etapa de protensão
- Fase 2 = fase 1 + 2ª etapa de protensão
- Fase 3 = fase 2 + peso próprio da laje e transversinas
- Fase 4 = fase 3 + 3ª etapa de protensão
- Fase 5 = fase 4 + sobrecarga permanente
- Fase 6 = fase 5 + carga móvel
- Fase 7 = fase 5 + perdas de protensão
- Fase 8 = fase 7 + carga móvel

Tensões limites

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0 \qquad f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51 \qquad s = 0,38$$

- no instante da protensão

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctm,j} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,7 f_{ckj}$$

- na vida útil da obra

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctk,inf} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,6 f_{ck}$$

idade da 1ª protensão (dias) = 3

$$\beta_1 = 0,458 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 18,32 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,08$$

idade da 2ª protensão (dias) = 7

$$\beta_2 = 0,684 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 27,35 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,72$$

idade da 3ª protensão (dias) = 28


$$\beta_3 = 1,000 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 40,00 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,51$$

	tração (tf/m ²)	compressão (tf/m ²)
t = 3	-250,17	1282,36
t = 7	-326,83	1914,81
t = 28	-294,74	2400,00
t = ∞	-294,74	2400,00

Verificação do estado limite de compressão excessiva para a combinação rara de carregamentos (ELS-CE)

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m^2) para 110% da força de protensão

		g_1	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2
S0	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	87	166	253	0	253
	σ_i (tf/m^2)	-90	549	459	0	459
S2	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	152	-33	119	0	119
	σ_i (tf/m^2)	-158	763	605	0	605
S3	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	199	-169	30	0	30
	σ_i (tf/m^2)	-207	918	711	0	711
S4	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	227	-217	10	0	10
	σ_i (tf/m^2)	-236	976	740	0	740
S5	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	236	-216	20	0	20
	σ_i (tf/m^2)	-246	971	726	0	726
S6	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	227	-217	10	0	10
	σ_i (tf/m^2)	-236	976	740	0	740
S7	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	199	-169	30	0	30
	σ_i (tf/m^2)	-207	918	711	0	711
S8	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	152	-33	119	0	119
	σ_i (tf/m^2)	-158	763	605	0	605
S9	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	87	166	253	0	253
	σ_i (tf/m^2)	-90	549	459	0	459
S10	σ_s (tf/m^2)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m^2)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m^2)	0	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	390/500

Verificação do estado limite de formação de fissuras para a combinação frequente de carregamentos (ELS-F)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{G_i,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_1 = 0,5$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	87	151	238	0	238	75	313
	σ _i (tf/m ²)	-90	499	409	0	409	-78	331
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	152	-30	122	0	122	134	256
	σ _i (tf/m ²)	-158	693	535	0	535	-139	396
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	199	-154	45	0	45	176	221
	σ _i (tf/m ²)	-207	835	628	0	628	-183	445
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	227	-198	30	0	30	201	231
	σ _i (tf/m ²)	-236	887	651	0	651	-209	442
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	236	-197	40	0	40	209	249
	σ _i (tf/m ²)	-246	883	637	0	637	-217	420
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	227	-198	30	0	30	201	231
	σ _i (tf/m ²)	-236	887	651	0	651	-209	442
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	199	-154	45	0	45	176	221
	σ _i (tf/m ²)	-207	835	628	0	628	-183	445
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	152	-30	122	0	122	134	256
	σ _i (tf/m ²)	-158	693	535	0	535	-139	396
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	87	151	238	0	238	75	313
	σ _i (tf/m ²)	-90	499	409	0	409	-78	331
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g ₃	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	17	17	43	60
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	313	11	324	29	353
	σ_i (tf/m ²)	0	331	-37	294	-96	197
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	30	30	61	91
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	256	20	276	41	317
	σ_i (tf/m ²)	0	396	-66	330	-136	194
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	39	39	80	119
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	221	26	247	53	301
	σ_i (tf/m ²)	0	445	-87	358	-177	181
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	45	45	91	136
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	231	30	260	61	322
	σ_i (tf/m ²)	0	442	-99	343	-203	140
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	47	47	95	142
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	249	31	280	64	344
	σ_i (tf/m ²)	0	420	-104	316	-212	105
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	45	45	91	136
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	231	30	260	61	322
	σ_i (tf/m ²)	0	442	-99	343	-203	140
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	39	39	80	119
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	221	26	247	53	301
	σ_i (tf/m ²)	0	445	-87	358	-177	181
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	30	30	61	91
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	256	20	276	41	317
	σ_i (tf/m ²)	0	396	-66	330	-136	194
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	17	17	43	60
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	313	11	324	29	353
	σ_i (tf/m ²)	0	331	-37	294	-96	197
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-35	-18	43	25
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-20	304	29	333
	σ_i (tf/m ²)	-66	228	-96	132
S2	σ_s (tf/m ²)	-27	3	61	64
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	4	280	41	321
	σ_i (tf/m ²)	-91	239	-136	103
S3	σ_s (tf/m ²)	-23	17	80	97
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	21	268	53	321
	σ_i (tf/m ²)	-112	247	-177	70
S4	σ_s (tf/m ²)	-21	24	91	116
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	26	287	61	348
	σ_i (tf/m ²)	-117	226	-203	24
S5	σ_s (tf/m ²)	-20	27	95	122
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	25	306	64	369
	σ_i (tf/m ²)	-114	203	-212	-9
S6	σ_s (tf/m ²)	-21	24	91	116
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	26	287	61	348
	σ_i (tf/m ²)	-117	226	-203	24
S7	σ_s (tf/m ²)	-23	17	80	97
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	21	268	53	321
	σ_i (tf/m ²)	-112	247	-177	70
S8	σ_s (tf/m ²)	-27	3	61	64
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	4	280	41	321
	σ_i (tf/m ²)	-91	239	-136	103
S9	σ_s (tf/m ²)	-35	-18	43	25
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-20	304	29	333
	σ_i (tf/m ²)	-66	228	-96	132
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA:
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	393/500

Verificação do estado limite de descompressão para a combinação quase permanente de carregamentos (ELS-D)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_2 = 0,3$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	87	151	238	0	238	75	313
	σ _i (tf/m ²)	-90	499	409	0	409	-78	331
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	152	-30	122	0	122	134	256
	σ _i (tf/m ²)	-158	693	535	0	535	-139	396
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	199	-154	45	0	45	176	221
	σ _i (tf/m ²)	-207	835	628	0	628	-183	445
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	227	-198	30	0	30	201	231
	σ _i (tf/m ²)	-236	887	651	0	651	-209	442
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	236	-197	40	0	40	209	249
	σ _i (tf/m ²)	-246	883	637	0	637	-217	420
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	227	-198	30	0	30	201	231
	σ _i (tf/m ²)	-236	887	651	0	651	-209	442
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	199	-154	45	0	45	176	221
	σ _i (tf/m ²)	-207	835	628	0	628	-183	445
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	152	-30	122	0	122	134	256
	σ _i (tf/m ²)	-158	693	535	0	535	-139	396
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	87	151	238	0	238	75	313
	σ _i (tf/m ²)	-90	499	409	0	409	-78	331
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g ₃	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	17	17	26	43
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	313	11	324	17	342
	σ_i (tf/m ²)	0	331	-37	294	-58	236
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	30	30	37	67
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	256	20	276	25	301
	σ_i (tf/m ²)	0	396	-66	330	-82	248
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	39	39	48	87
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	221	26	247	32	279
	σ_i (tf/m ²)	0	445	-87	358	-106	252
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	45	45	55	100
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	231	30	260	37	297
	σ_i (tf/m ²)	0	442	-99	343	-122	221
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	47	47	57	104
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	249	31	280	38	318
	σ_i (tf/m ²)	0	420	-104	316	-127	190
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	45	45	55	100
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	231	30	260	37	297
	σ_i (tf/m ²)	0	442	-99	343	-122	221
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	39	39	48	87
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	221	26	247	32	279
	σ_i (tf/m ²)	0	445	-87	358	-106	252
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	30	30	37	67
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	256	20	276	25	301
	σ_i (tf/m ²)	0	396	-66	330	-82	248
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	17	17	26	43
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	313	11	324	17	342
	σ_i (tf/m ²)	0	331	-37	294	-58	236
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-35	-18	26	8
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-20	304	17	321
	σ_i (tf/m ²)	-66	228	-58	170
S2	σ_s (tf/m ²)	-27	3	37	40
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	4	280	25	305
	σ_i (tf/m ²)	-91	239	-82	157
S3	σ_s (tf/m ²)	-23	17	48	65
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	21	268	32	300
	σ_i (tf/m ²)	-112	247	-106	140
S4	σ_s (tf/m ²)	-21	24	55	79
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	26	287	37	323
	σ_i (tf/m ²)	-117	226	-122	105
S5	σ_s (tf/m ²)	-20	27	57	84
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	25	306	38	344
	σ_i (tf/m ²)	-114	203	-127	76
S6	σ_s (tf/m ²)	-21	24	55	79
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	26	287	37	323
	σ_i (tf/m ²)	-117	226	-122	105
S7	σ_s (tf/m ²)	-23	17	48	65
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	21	268	32	300
	σ_i (tf/m ²)	-112	247	-106	140
S8	σ_s (tf/m ²)	-27	3	37	40
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	4	280	25	305
	σ_i (tf/m ²)	-91	239	-82	157
S9	σ_s (tf/m ²)	-35	-18	26	8
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-20	304	17	321
	σ_i (tf/m ²)	-66	228	-58	170
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 396/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do cisalhamento - $t = \infty$

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,k} = V_p^{prot}$ em tempo $t = \infty$

Seção	$V_{g1,k}$ (tf)	$V_{g2,k}$ (tf)	$V_{g3,k}$ (tf)	$V_{p,k}$ (tf)	$V_{q,max,k}$ (tf)	$V_{q,min,k}$ (tf)	V_k^{max} (tf)	V_k^{min} (tf)
S0	20,01	16,20	10,80	0,00	56,02	0,00	103,03	47,01
S1	14,47	12,96	8,64	-31,50	47,91	-1,64	52,48	2,93
S2	10,86	9,72	6,48	-28,05	32,24	-4,13	31,25	-5,13
S3	7,24	6,48	4,32	-13,58	26,56	-7,82	31,01	-3,36
S4	3,62	3,24	2,16	-0,46	21,27	-11,90	29,83	-3,34
S5	0,00	0,00	0,00	0,00	16,38	-16,38	16,38	-16,38
S6	-3,62	-3,24	-2,16	0,46	11,90	-21,27	3,34	-29,83
S7	-7,24	-6,48	-4,32	13,58	7,82	-26,56	3,36	-31,01
S8	-10,86	-9,72	-6,48	28,05	4,13	-32,24	5,13	-31,25
S9	-14,47	-12,96	-8,64	31,50	1,64	-47,91	-2,93	-52,48
S10	-20,01	-16,20	-10,80	0,00	0,00	-56,02	-47,01	-103,03

Verificação do concreto

$$\phi^{bainha} \text{ (m)} = 0,075$$

$$n_{bainhas \text{ alinhadas na alma}} = 1$$


$$V_{sd} = 1,35 \times V_g + \left\{ \begin{matrix} 1,2 \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \times V_p + 1,5 \times V_q$$

$$V_{rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b_{w,nom} \times d$$

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \text{ (fck em MPa)}$$

Seção	V_{sd} (tf)	b_w (m)	H (m)	$\Sigma \Phi/2$ (m)	b_w^{nom} (m)	d (m)	V_{rd2} (tf)
S0	147,5	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2
S1	92,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S2	59,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S3	52,0	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S4	43,7	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S5	24,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S6	43,7	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S7	52,0	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S8	59,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S9	92,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S10	147,5	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 397/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Parcela do esforço cortante absorvida pelos mecanismos complementares à treliça

$$M_{sdu} = 1,35 \times M_g + 1,5 \times M_q$$

Seção	M _{g1,k}	M _{g2,k}	M _{g3,k}	M _{q máx,k}	M _{q mín,k}	M _{sdu} (tf.m)
S0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
S1	33,27	28,86	19,24	99,33	0,00	258,8
S2	58,34	51,31	34,21	140,37	0,00	404,8
S3	76,26	67,34	44,90	182,73	0,00	528,6
S4	87,00	76,96	51,31	209,21	0,00	604,4
S5	90,59	80,17	53,45	218,49	0,00	630,4
S6	87,00	76,96	51,31	209,21	0,00	604,4
S7	76,26	67,34	44,90	182,73	0,00	528,6
S8	58,34	51,31	34,21	140,37	0,00	404,8
S9	33,27	28,86	19,24	99,33	0,00	258,8
S10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

$$V_c = V_{c0} \times (1 + M_0 / M_{sd,m\acute{a}x}) \leq 2 \times V_{c0}$$

$$M_0 = 0,90 \times (\sigma_p^{prot.} \times W)$$

$$V_{c0} = 0,60 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,70 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}}$$

com f_{ck} em MPa

Seção	σ _p ^{prot.} (tf/m ²)	W _i (m ³)	M ₀ (tf.m)	1+ M ₀ /M _{sd,máx}
S0	0	0,761	0,00	1,00
S1	434	0,516	201,60	1,78
S2	602	0,516	279,84	1,69
S3	723	0,516	335,93	1,64
S4	770	0,516	357,89	1,59
S5	769	0,516	357,50	1,57
S6	770	0,516	357,89	1,59
S7	723	0,516	335,93	1,64
S8	602	0,516	279,84	1,69
S9	434	0,516	201,60	1,78
S10	0	0,761	0,00	1,00

Seção	b_w^{nom} (m)	d (m)	Vc0 (tf)	2 * Vc0 (tf)	Vc (tf)
S0	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5
S1	0,183	1,784	34,3	68,5	61,0
S2	0,183	1,784	34,3	68,5	58,0
S3	0,183	1,784	34,3	68,5	56,1
S4	0,183	1,784	34,3	68,5	54,6
S5	0,183	1,784	34,3	68,5	53,7
S6	0,183	1,784	34,3	68,5	54,6
S7	0,183	1,784	34,3	68,5	56,1
S8	0,183	1,784	34,3	68,5	58,0
S9	0,183	1,784	34,3	68,5	61,0
S10	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

Seção	Vsd (tf)	Vc (tf)	V _{swd} (tf)
S0	147,5	131,5	16,04
S1	92,2	61,0	31,25
S2	59,6	58,0	1,67
S3	52,0	56,1	0,00
S4	43,7	54,6	0,00
S5	24,6	53,7	0,00
S6	43,7	54,6	0,00
S7	52,0	56,1	0,00
S8	59,6	58,0	1,67
S9	92,2	61,0	31,25
S10	147,5	131,5	16,04

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal

$$V_{swd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{swd} / (0,90 \times d \times f_{ywd})$$

$$\rho_{sw} = (A_{sw} / s) \times (1 / b_w) \geq 0,20 \times f_{ctm} / f_{ywk}$$

$$f_{ywk} = f_{yk}$$

Seção	b_w (m)	V _{swd} (tf)	A_{sw}/s (cm ² /m)	ρ_{sw} (cm ² /m ²)	ρ_{sw}^{min} (cm ² /m ²)
S0	0,70	16,0	2,30	3,28	14,04
S1	0,22	31,2	4,48	20,35	14,04
S2	0,22	1,7	0,24	1,09	14,04
S3	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S4	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S5	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S6	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S7	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S8	0,22	1,7	0,24	1,09	14,04
S9	0,22	31,2	4,48	20,35	14,04
S10	0,70	16,0	2,30	3,28	14,04

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\psi_{fad} = 0,50$$

$$\Delta\sigma_{sw} = \sigma_{sw}^{m\acute{a}x} - \sigma_{sw}^{m\acute{i}n} \quad \sigma_{sw}^{m\acute{a}x/m\acute{i}n} = \frac{V_{m\acute{a}x/m\acute{i}n} - V_c/2}{b_w \times d \times \rho_{sw}}$$

$$f \cdot f \cdot = \frac{\Delta\sigma_{sw}}{\Delta f_{sd}^{fad}} \quad \Delta f_{sd}^{fad} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 850$$

Seção	V _{máx} (tf)	V _{mín} (tf)	V _c /2 (tf)	$\sigma_{sw}^{m\acute{a}x}$ (tf/cm ²)	$\sigma_{sw}^{m\acute{i}n}$ (tf/cm ²)	$\Delta\sigma_{sw}$ (tf/cm ²)	f.f.	ρ_{sw} (cm ² /m ²)
S0	75,02	47,01	65,7	0,53	0,00	0,53	1,00	3,28
S1	28,53	3,75	30,5	0,00	0,00	0,00	1,00	20,35
S2	15,13	-3,06	29,0	0,00	0,00	0,00	1,00	1,09
S3	17,74	0,55	28,0	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S4	19,20	2,61	27,3	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S5	8,19	-8,19	26,9	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S6	-2,61	-19,20	27,3	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S7	-0,55	-17,74	28,0	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S8	3,06	-15,13	29,0	0,00	0,00	0,00	1,00	1,09
S9	-3,75	-28,53	30,5	0,00	0,00	0,00	1,00	20,35
S10	-47,01	-75,02	65,7	0,00	0,53	0,53	1,00	3,28

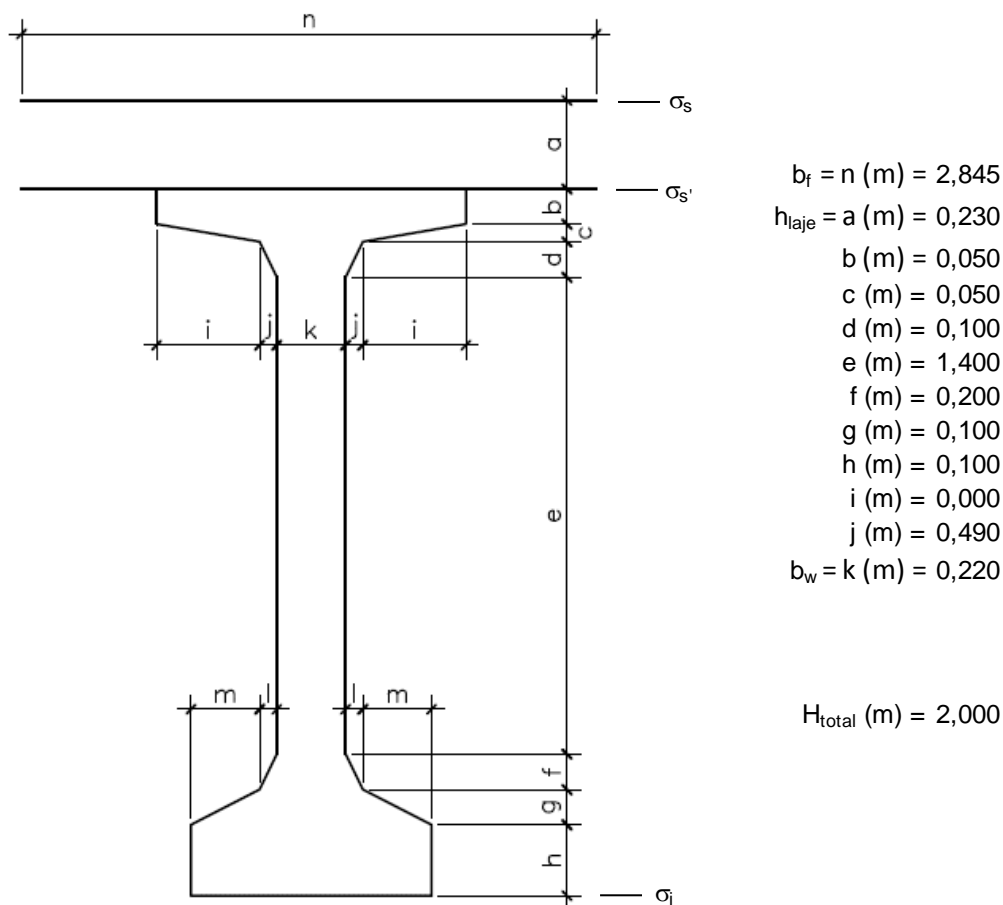
Determinação dos estribos e seus espaçamentos

$$s = (n \times A_s^{1perna}) / (\rho_{sw} \times ff \times b_w^{medio})$$

Seção	b _w (m)	ρ_{wu} (cm ² /m ²)	ρ_{wu} (Méd/Mín)	n	Φ (mm)	A _s ^{1perna}	S _{calculado} (cm)	S _{adotado} (cm)
S0	0,70	3,28						
			14,04	2	10,0	0,79	24,3	22,5
S1	0,22	20,35						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S2	0,22	1,09						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S3	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S4	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S5	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S6	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S7	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S8	0,22	1,09						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S9	0,22	20,35						
			14,04	2	10,0	0,79	24,3	22,5
S10	0,70	3,28						

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à ruptura)

Seção S₅



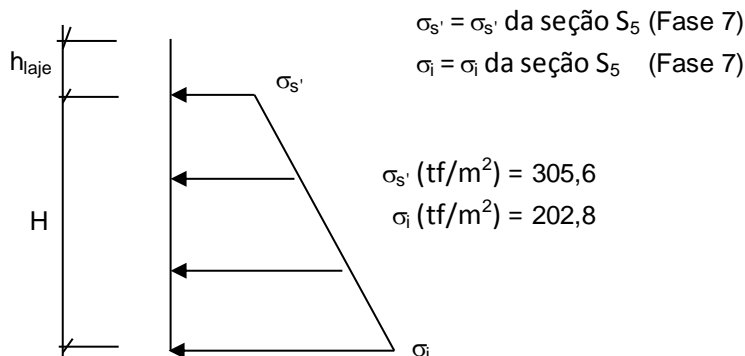
Materiais:

Concreto laje f_{ck} (MPa) = 40,0 $E_{cs, laje}$ (kgf/cm²) = 318.758

Concreto viga f_{ck} (MPa) = 40,0 $E_{cs, viga}$ (kgf/cm²) = 318.758

Aço: CP-190 RB E_{sp} (kgf/cm²) = 2.000.000

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

	$\sigma_{sp}^{t=\infty}$ (kgf/cm ²)
C1	11.011
C2	10.823
C3	10.522
C4	0
C5	0
C6	0
C7	0
C8	0
C9	0

Solicitações atuantes na seção S₅

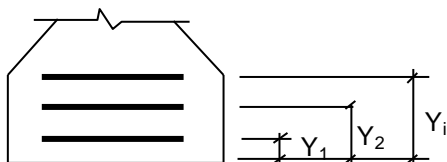
$$M_{g1} \text{ (tf.m)} = 90,6$$

$$M_q \text{ (tf.m)} = 218,5$$

$$M_{g2} \text{ (tf.m)} = 80,2$$

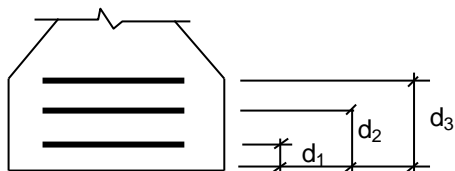
$$M_{g3} \text{ (tf.m)} = 53,5$$

Cálculo do C.G. da armadura de protensão



	y (m)
C1	0,270
C2	0,120
C3	0,120
C4	
C5	
C6	
C7	
C8	
C9	

Cálculo do C.G. da armadura passiva complementar



1ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 6$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_1 \text{ (m)} = 0,060$$

$$\text{C.G. (cm)} = 0,060$$

2ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$


$$d_2 \text{ (m)} = 0,100$$

3ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_3 \text{ (m)} = 0,150$$

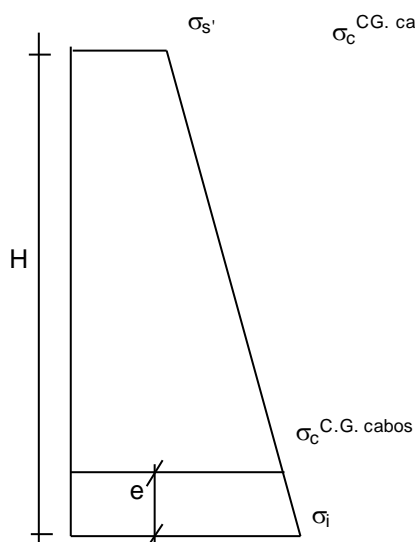
 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 402/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\varepsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=\infty} / E_{sp}$$

	$\varepsilon_{sp}^{\text{pré-along.}}$
C1	0,0055
C2	0,0054
C3	0,0053
C4	0,0000
C5	0,0000
C6	0,0000
C7	0,0000
C8	0,0000
C9	0,0000

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



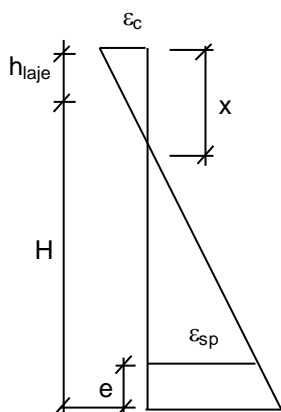
$$\sigma_c^{\text{CG. cabos}} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma_s') / H] + \sigma_s'$$

$$\varepsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{\text{C.G. cabos}} / E_{cs}$$

	y (m)	σ_c (tf/m ²)	$\varepsilon_{sp}^{\text{descomp}}$
C1	0,270	216,7	0,00007
C2	0,120	209,0	0,00007
C3	0,120	209,0	0,00007
C4	0,000	0,0	0,00000
C5	0,000	0,0	0,00000
C6	0,000	0,0	0,00000
C7	0,000	0,0	0,00000
C8	0,000	0,0	0,00000
C9	0,000	0,0	0,00000

Equilíbrio da seção:

Deformada admitida para a seção S₅



$$\varepsilon_c (\text{‰}) = 0,750$$

$$\varepsilon_{sp} (\text{‰}) = 10,000$$

$$x = [\varepsilon_c / (\varepsilon_c + \varepsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0,147$$

Cálculo da resultante de compressão

Lamela	y_{1i} (m)	y_{2i} (m)	B1 (m)	B2 (m)	ε_{ci} (‰)	σ_{cd} (tf/m ²)	F_i (tf)
1	0,000	0,029	2,845	2,845	0,68	1363	114,3
2	0,029	0,059	2,845	2,845	0,53	1108	92,9
3	0,059	0,088	2,845	2,845	0,38	826	69,2
4	0,088	0,118	2,845	2,845	0,23	516	43,2
5	0,118	0,147	2,845	2,845	0,08	179	15,0
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 334,6$$

$$C.G._{cc} \text{ (m)} = 0,052$$

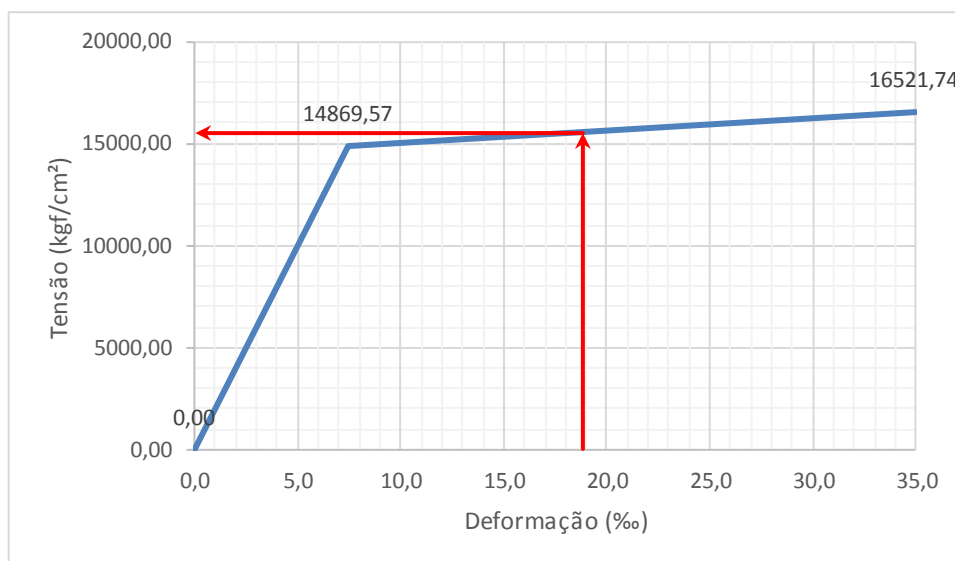
Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

	y (m)	ϵ_{sp} (‰)	ϵ_{sp}^{total} (‰)
C1	0,270	13,31	18,880
C2	0,120	10,00	15,477
C3	0,120	10,00	15,327
C4	0,000	0,00	0,000
C5	0,000	0,00	0,000
C6	0,000	0,00	0,000
C7	0,000	0,00	0,000
C8	0,000	0,00	0,000
C9	0,000	0,00	0,000

Do diagrama tensão-deformação preconizado na NBR 6118, tem-se

$$f_{pyd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.869,6 \quad f_{ptd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 16.521,7$$



$$R_{st,CP} = A_{sp} \times \sigma_{sp}$$

	σ_{sp} (kgf/cm ²)	A_{sp} (cm ²)	$R_{st,CP-190}$ (tf)
C1	15.556	8,40	130,67
C2	15.352	5,60	85,97
C3	15.343	5,60	85,92
C4	0	0,00	0,00
C5	0	0,00	0,00
C6	0	0,00	0,00
C7	0	0,00	0,00
C8	0	0,00	0,00
C9	0	0,00	0,00
$R_{st,CP}$ (tf) =			302,55

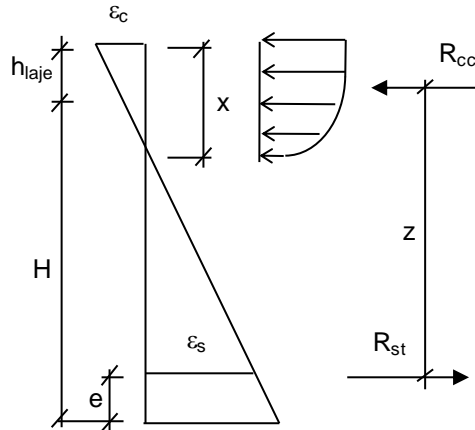
$$A_s^{CA-50} (cm^2) = 7,363$$

$$R_{st,CA-50} = A_s^{CA-50} \times \sigma_s$$

$$R_{st,CA-50} (tf) = 32,0$$

$$R_{st} = R_{st,CP} + R_{st,CA-50}$$

$$R_{st} (tf) = 334,6$$



	z (m)
C1	1,908
C2	2,058
C3	2,058
C4	0,000
C5	0,000
C6	0,000
C7	0,000
C8	0,000
C9	0,000
CA-50	2,118

$$z = H + h_{laje} - C.G._{cc} - e$$

$$M_i = R_{st,i} \cdot z_i$$

$$z = \sum M_i / R_{st}$$

$$z (m) = 2,005$$

Assim temos:


$$M_u = R_{st} \cdot z \quad M_u (tf.m) = 671$$

$$M_d = 1,35 \cdot (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,5 \cdot (M_q) + \Delta F_{sd} \cdot z$$

$$\Delta F_{sd} (tf) = 0,00$$

$$M_d (tf.m) = 630$$

$$\text{Então: } M_u / M_d = 1,06 > 1,00 \text{ (Atende)}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 406/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

5.8 VIGAS DE 17,32m (VIGA INTERNA À CURVA DO VÃO ENTRE EIXOS 03A E 04A – RAMO 2000)

Características geométricas das seções

As características das seções serão calculadas considerando contribuição das armaduras passivas principais (superior e inferior), além das armaduras ativas.

As características das seções do conjunto viga+laje serão calculadas considerando a relação entre os módulos de elasticidade do concreto da viga e da laje, n .

$$f_{ck,viga} \text{ (MPa)} = 40 \quad f_{ck,laje} \text{ (MPa)} = 40 \quad \text{tipo de agregado considerado: granito ou gnaiss}$$

$$E_{CS,viga} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad E_{CS,laje} \text{ (MPa)} = 31.875,8 \quad n = 1,00$$

$$E_s \text{ (MPa)} = 200.000 \quad \alpha = 6,27$$

Viga Isolada

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,700	0,050	1,900	1,850	0,048	1,877	0,089	0,167	0,000
4	0,700	0,700	1,450	1,850	0,400	1,015	1,125	1,142	1,285	0,178
5	0,700	0,700	0,200	0,400	0,200	0,140	0,300	0,042	0,013	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{array}{llll}
A \text{ (m}^2\text{)} = 1,463 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 2,101 & V_s \text{ (m)} = - & w_s \text{ (m}^3\text{)} = - \\
H \text{ (m)} = 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,519 & V_s' \text{ (m)} = 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,541 \\
A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00 & V_i \text{ (m)} = 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,499 \\
Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000 & &
\end{array}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A_s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{array}{llll}
A \text{ (m}^2\text{)} = 1,463 & V_s \text{ (m)} = - & w_s \text{ (m}^3\text{)} = - \\
H \text{ (m)} = 2,000 & V_s' \text{ (m)} = 0,960 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,541 \\
I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,519 & V_i \text{ (m)} = 1,040 & w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,499
\end{array}$$

Seção S1

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A _s (cm ²)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

Seção S2

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,731$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 1,135$$

$$V_s \text{ (m)} = -$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = -$$

$$H \text{ (m)} = 2,000$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,981$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 0,383$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,019$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,369$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

[illegible]

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\ H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\ A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\ Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & & \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\ H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \end{aligned}$$

Seção S5

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	1,200	1,200	0,050	2,000	1,950	0,060	1,975	0,119	0,234	0,000
2	1,200	1,200	0,050	1,950	1,900	0,060	1,925	0,116	0,222	0,000
3	1,200	0,220	0,100	1,900	1,800	0,071	1,862	0,132	0,246	0,000
4	0,220	0,220	1,400	1,800	0,400	0,308	1,100	0,339	0,373	0,050
5	0,220	0,700	0,200	0,400	0,200	0,092	0,283	0,026	0,007	0,000
6	0,700	0,700	0,100	0,200	0,100	0,070	0,150	0,011	0,002	0,000
7	0,700	0,700	0,100	0,100	0,000	0,070	0,050	0,004	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 1,135 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\ H \text{ (m)} &= 2,000 & I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\ A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \\ Y_{As,sup} \text{ (m)} &= 0,000 & Y_{As,inf} \text{ (m)} &= 0,000 & & & & \end{aligned}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Y \text{ (m)}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,731 & V_s \text{ (m)} &= - & w_s \text{ (m}^3\text{)} &= - \\ H \text{ (m)} &= 2,000 & V_s' \text{ (m)} &= 0,981 & w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 0,383 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,376 & V_i \text{ (m)} &= 1,019 & w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,369 \end{aligned}$$

Conjunto viga + laje

$$h_{laje} \text{ (m)} = 0,23 \quad \text{intereixo de vigas (m)} = 2,650$$

Vigas centrais

Seção S0

Trapézio	$b_1 \text{ (m)}$	$b_2 \text{ (m)}$	$h \text{ (m)}$	$y_1 \text{ (m)}$	$y_2 \text{ (m)}$	$A_i \text{ (m}^2\text{)}$	$Y_i \text{ (m)}$	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	$J_{zi} \text{ (m}^4\text{)}$
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,610 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,011 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 2,072 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 1,019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,874 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,644 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,356 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,166 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,583 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,751 \end{aligned}$$

Seção S1

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,610 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,011 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,341 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,778 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,713 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,483 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,517 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,091 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,611 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,512 \end{aligned}$$

Seção S2

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,610 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,011 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,341 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,778 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,713 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,483 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,517 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,091 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,611 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,512 \end{aligned}$$

Seção S3

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,610$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,341$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,713$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,091$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,483$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,611$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,778$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,517$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,512$$

Seção S4

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,610$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,341$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,713$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,091$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,483$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,611$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,778$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,517$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,512$$

Seção S5

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,650	2,650	0,100	0,230	0,130	0,265	0,180	0,048	0,009	0,000
2	2,650	2,650	0,130	0,130	0,000	0,345	0,065	0,022	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,610$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,011$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,341$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,778$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,713$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,483$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,517$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,091$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,611$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,512$$

Vigas de bordo

Seção S0

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,525	2,525	0,100	0,230	0,130	0,253	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,525	2,525	0,130	0,130	0,000	0,328	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,581$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 2,043$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 1,002$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,884$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,654$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,346$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,133$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,531$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,745$$

Seção S1

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,525	2,525	0,100	0,230	0,130	0,253	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,525	2,525	0,130	0,130	0,000	0,328	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,581$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,312$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,767$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,726$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,496$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,504$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,057$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,547$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,510$$

Seção S2

Trapézio	b_1 (m)	b_2 (m)	h (m)	y_1 (m)	y_2 (m)	A_i (m ²)	Y_i (m)	$A_i \times Y_i$	$A_i \times Y_i^2$	J_{zi} (m ⁴)
1	2,525	2,525	0,100	0,230	0,130	0,253	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,525	2,525	0,130	0,130	0,000	0,328	0,065	0,021	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,581 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,010 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,312 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,767 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,726 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,496 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,504 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,057 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,547 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,510 \end{aligned}$$

Seção S3

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,525	2,525	0,100	0,230	0,130	0,253	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,525	2,525	0,130	0,130	0,000	0,328	0,065	0,021	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,581 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,010 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,312 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,767 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,726 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,496 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,504 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,057 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,547 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,510 \end{aligned}$$

Seção S4

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,525	2,525	0,100	0,230	0,130	0,253	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,525	2,525	0,130	0,130	0,000	0,328	0,065	0,021	0,001	0,000

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 0,581 \\ H \text{ (m)} &= 0,230 \\ A_{s,\text{sup}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{sup}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} &= 0,010 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,003 \\ A_{s,\text{inf}} \text{ (cm}^2\text{)} &= 0,00 \\ Y_{As,\text{inf}} \text{ (m)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,115 \\ V_i \text{ (m)} &= 0,115 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ (m}^2\text{)} &= 1,312 \\ H \text{ (m)} &= 2,230 \\ I_z \text{ (m}^4\text{)} &= 0,767 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ (m)} &= 0,726 \\ V_s' \text{ (m)} &= 0,496 \\ V_i \text{ (m)} &= 1,504 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_s \text{ (m}^3\text{)} &= 1,057 \\ w_s' \text{ (m}^3\text{)} &= 1,547 \\ w_i \text{ (m}^3\text{)} &= 0,510 \end{aligned}$$

Seção S5

Trapézio	b ₁ (m)	b ₂ (m)	h (m)	y ₁ (m)	y ₂ (m)	A _i (m ²)	Y _i (m)	A _i x Y _i	A _i x Y _i ²	J _{zi} (m ⁴)
1	2,525	2,525	0,100	0,230	0,130	0,253	0,180	0,045	0,008	0,000
2	2,525	2,525	0,130	0,130	0,000	0,328	0,065	0,021	0,001	0,000

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 0,581$$

$$I_{zi} \text{ (m}^4\text{)} = 0,010$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,115$$

$$H \text{ (m)} = 0,230$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,003$$

$$V_i \text{ (m)} = 0,115$$

$$A_{s,sup} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$A_{s,inf} \text{ (cm}^2\text{)} = 0,00$$

$$Y_{As,sup} \text{ (m)} = 0,000$$

$$Y_{As,inf} \text{ (m)} = 0,000$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = 1,312$$

$$V_s \text{ (m)} = 0,726$$

$$w_s \text{ (m}^3\text{)} = 1,057$$

$$H \text{ (m)} = 2,230$$

$$V_s' \text{ (m)} = 0,496$$

$$w_s' \text{ (m}^3\text{)} = 1,547$$

$$I_z \text{ (m}^4\text{)} = 0,767$$

$$V_i \text{ (m)} = 1,504$$

$$w_i \text{ (m}^3\text{)} = 0,510$$

Resumo das características das seções

Viga isolada

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	1,463	0,519	-	0,960	1,040	-	0,541	0,499
S1	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S2	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S3	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S4	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369
S5	0,731	0,376	-	0,981	1,019	-	0,383	0,369

Conjunto viga+laje

Vigas centrais

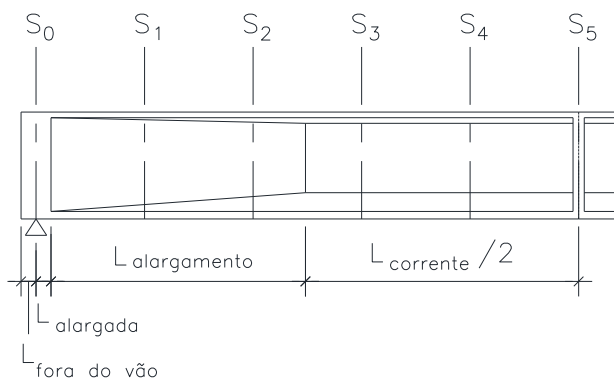
	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,072	1,019	0,874	0,644	1,356	1,166	1,583	0,751
S1	1,341	0,778	0,713	0,483	1,517	1,091	1,611	0,512
S2	1,341	0,778	0,713	0,483	1,517	1,091	1,611	0,512
S3	1,341	0,778	0,713	0,483	1,517	1,091	1,611	0,512
S4	1,341	0,778	0,713	0,483	1,517	1,091	1,611	0,512
S5	1,341	0,778	0,713	0,483	1,517	1,091	1,611	0,512

Vigas de bordo

	A (m ²)	I _z (m ⁴)	V _s (m)	V _s ' (m)	V _i (m)	w _s (m ³)	w _s ' (m ³)	w _i (m ³)
S0	2,043	1,002	0,884	0,654	1,346	1,133	1,531	0,745
S1	1,312	0,767	0,726	0,496	1,504	1,057	1,547	0,510
S2	1,312	0,767	0,726	0,496	1,504	1,057	1,547	0,510
S3	1,312	0,767	0,726	0,496	1,504	1,057	1,547	0,510
S4	1,312	0,767	0,726	0,496	1,504	1,057	1,547	0,510
S5	1,312	0,767	0,726	0,496	1,504	1,057	1,547	0,510

Cargas permanentes

Peso próprio da viga



$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 16,71$$

$$\Delta S \text{ (m)} = 1,671$$

$$\gamma_{\text{concreto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,50$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$g_{\text{fora do vão}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$L_{\text{alargada}} \text{ (m)} = 0,900$$

$$g_{\text{alargada}} \text{ (tf/m)} = 3,656$$

$$L_{\text{alargamento}} \text{ (m)} = 0,300$$

$$g_{\text{corrente}} \text{ (tf/m)} = 1,828$$

$$L_{\text{corrente}} \text{ (m)} = 14,310$$

$$n_{\text{septos de vão}} = 1$$

$$X_{\text{septo de vão 1}} \text{ (m)} = -$$

$$X_{\text{septo de vão 2}} \text{ (m)} = -$$

$$e_{\text{septos de vão}} \text{ (m)} = 0,000$$

$$R_{g1} \text{ (tf)} = 18,29$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	17,2	0,0	-	0,0	0,0
S1	12,2	24,0	-	62,6	-65,1
S2	9,2	41,9	-	109,3	-113,5
S3	6,1	54,6	-	142,6	-148,1
S4	3,1	62,3	-	162,5	-168,9
S5	0,0	64,8	-	169,2	-175,8

Diagrama de Cortante (tf)

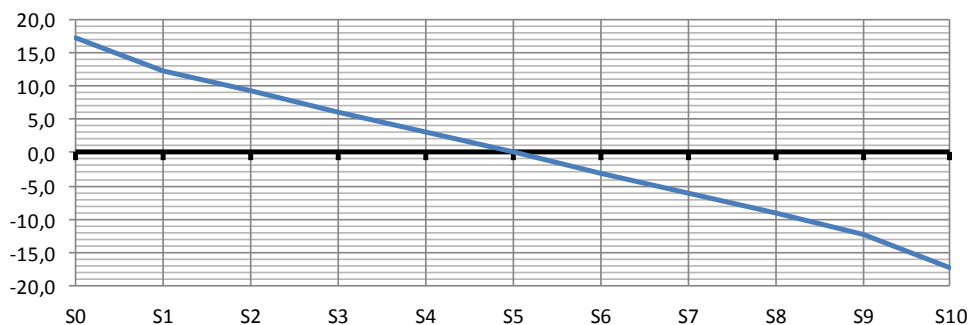
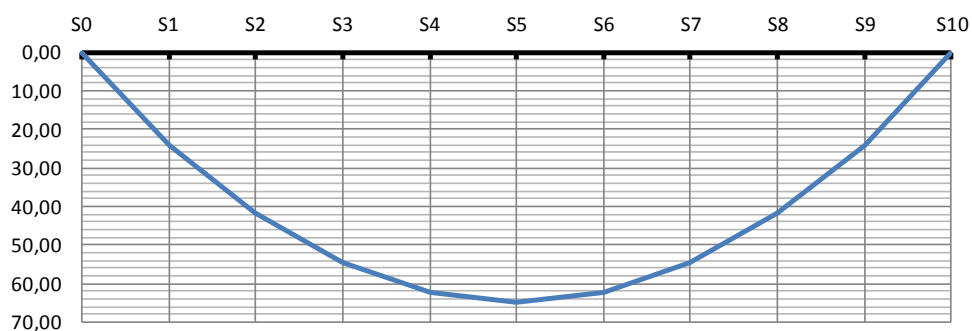


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Peso próprio da laje e transversinas

Vigas centrais

$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$

$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,524$

$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 1,000$

$R_{g2} \text{ (tf)} = 15,33$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	12,73	0,00	-	0,0	0,0
S1	10,18	19,15	-	50,0	-51,9
S2	7,64	34,04	-	88,9	-92,3
S3	5,09	44,67	-	116,6	-121,2
S4	2,55	51,06	-	133,3	-138,5
S5	0,00	53,18	-	138,8	-144,2

Diagrama de Cortante (tf)

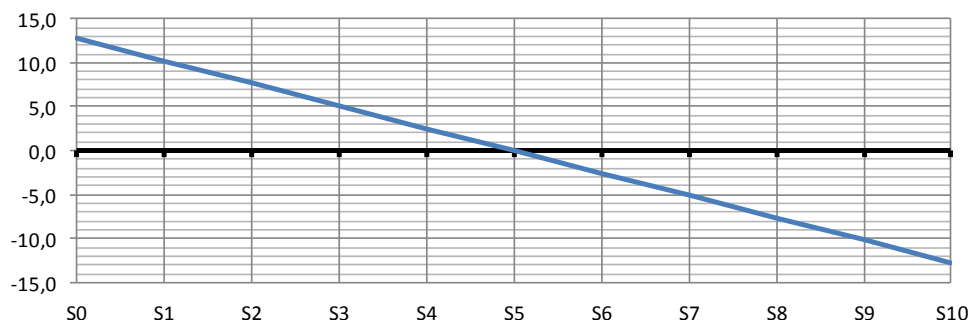
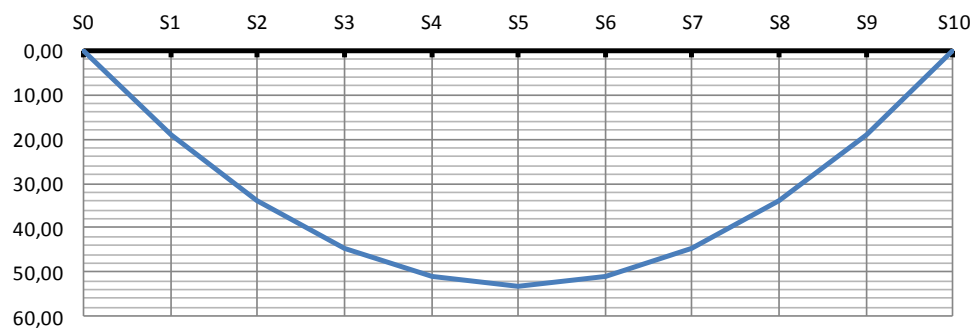


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$

$g_2 \text{ (tf/m)} = 1,452$

$P_{\text{transv. de vão}} \text{ (tf)} = 0,000$

$P_{\text{transv. de apoio}} \text{ (tf)} = 0,500$

$R_{g2} \text{ (tf)} = 14,15$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_s' \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	12,13	0,00	-	0,0	0,0
S1	9,70	18,24	-	47,6	-49,5
S2	7,28	32,43	-	84,7	-88,0
S3	4,85	42,57	-	111,1	-115,4
S4	2,43	48,65	-	127,0	-131,9
S5	0,00	50,67	-	132,3	-137,4

Diagrama de Cortante (tf)

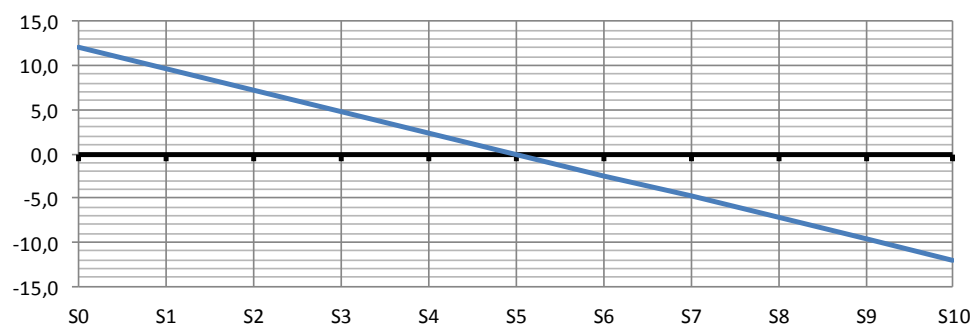
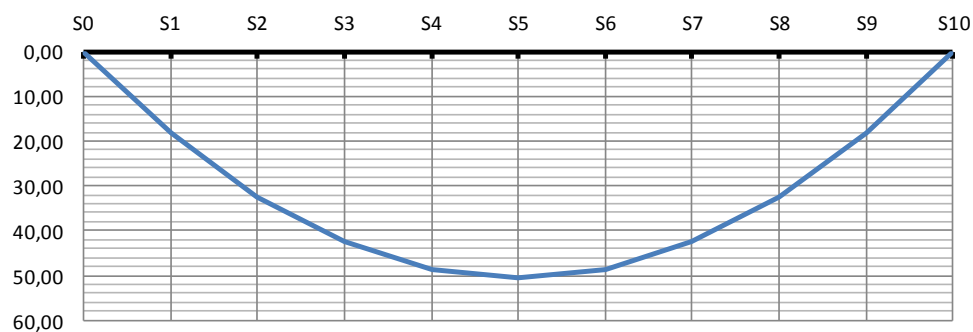


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Sobrecarga Permanente Rodoviária

Vigas centrais

$$h_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 0,070$$

$$L_{\text{fora do vão}} \text{ (m)} = 1,050$$

$$b_{\text{asfalto}} \text{ (m)} = 2,650$$

$$\gamma_{\text{asfalto}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

$$g_3 \text{ (tf/m)} = 0,445$$

$$R_{g3} \text{ (tf)} = 4,19$$

	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	3,72	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	2,98	5,59	5,1	3,5	-10,9
S2	2,23	9,94	9,1	6,2	-19,4
S3	1,49	13,05	12,0	8,1	-25,5
S4	0,74	14,92	13,7	9,3	-29,1
S5	0,00	15,54	14,2	9,6	-30,3

Diagrama de Cortante (tf)

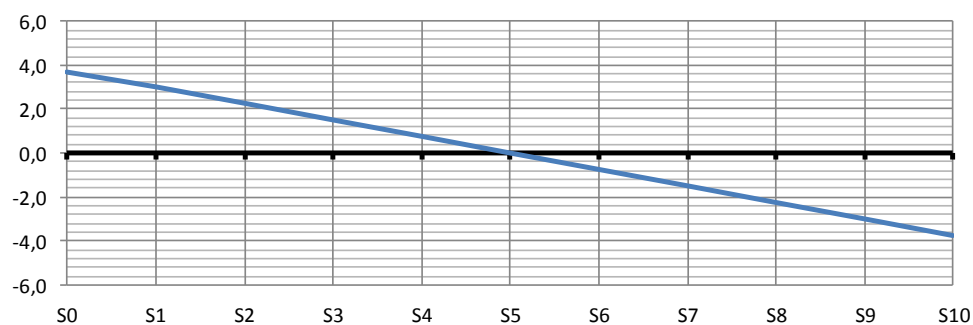
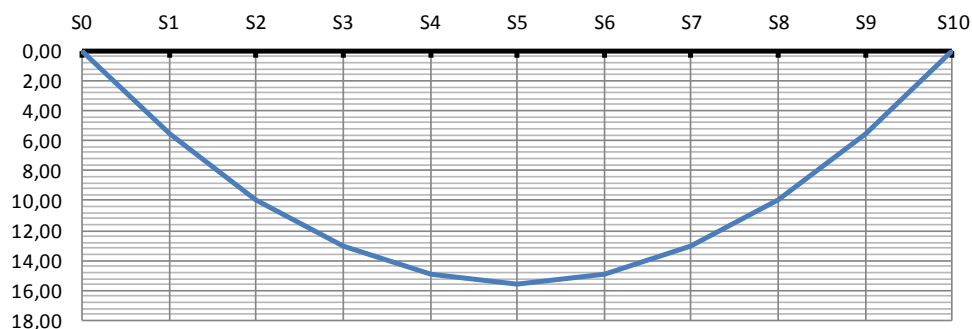


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Vigas de bordo

$b_{\text{guarda corpo}} (m) = 0,000$
 $b_{\text{passeio}} (m) = 0,000$
 $b_{\text{guarda-rodas}} (m) = 0,400$
 $h_{\text{asfalto}} (m) = 0,070$
 $b_{\text{asfalto}} (m) = 2,125$
 $\gamma_{\text{asfalto}} (tf/m^3) = 2,40$
 $h_{\text{pingadeira}} (m) = 0,10$
 $b_{\text{pingadeira}} (m) = 0,40$

$L_{\text{fora do vão}} (m) = 1,050$
 $g_{\text{guarda-rodas}} (tf/m) = 0,580$
 $g_{\text{guarda corpo}} (tf/m) = 0,000$
 $g_{\text{passeio}} (tf/m) = 0,000$
 $g_{\text{pingadeiras}} (tf/m) = 0,100$

$g_3 (tf/m) = 1,037$

$R_{g3} (tf) = 9,75$

	V (tf)	M (tf.m)	$\sigma_s (tf/m^2)$	$\sigma_s' (tf/m^2)$	$\sigma_i (tf/m^2)$
S0	8,66	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	6,93	13,03	12,3	8,4	-25,6
S2	5,20	23,16	21,9	15,0	-45,4
S3	3,47	30,40	28,8	19,6	-59,6
S4	1,73	34,75	32,9	22,5	-68,1
S5	0,00	36,19	34,2	23,4	-71,0

Diagrama de Cortante (tf)

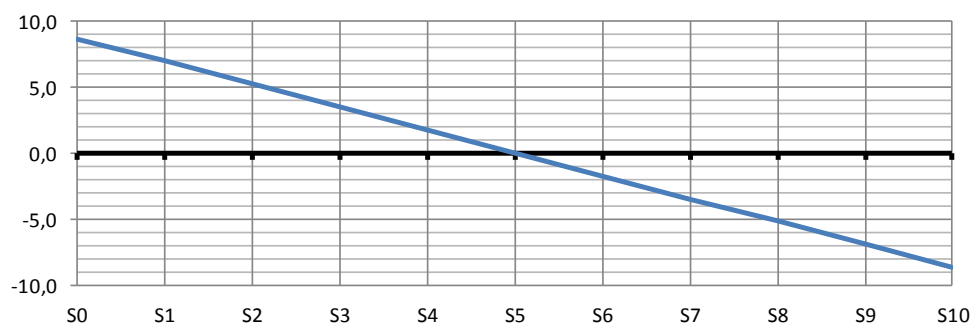
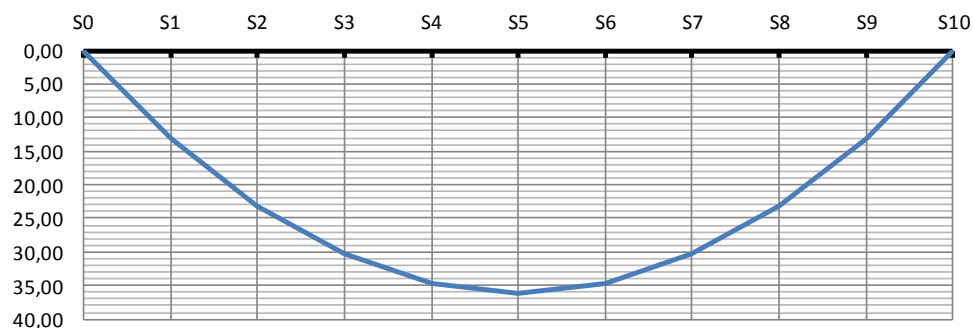


Diagrama de Momento de Flexão (tf.m)



Carga móvel rodoviária

$$L_{\text{transv}} \text{ (m)} = 13,00$$

$$n_{\text{vigas}} = 5$$

	$X_i \text{ (m)}$	X_i^2	R_{V1}	R_{V2}	R_{V3}	R_{V4}	R_{V5}	R_{V6}
V1	5,30	28,09	0,600	0,400	0,200	0,000	-0,200	-
V2	2,65	7,02	0,400	0,300	0,200	0,100	0,000	-
V3	0,00	0,00	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	-
V4	-2,65	7,02	0,000	0,100	0,200	0,300	0,400	-
V5	-5,30	28,09	-0,200	0,000	0,200	0,400	0,600	-
V6		-	-	-	-	-	-	-
	ΣX_i^2	70,225						

$$L_{\text{teórico}} \text{ (m)} = 16,71$$

$$P \text{ (tf/roda)} = 6,000$$

$$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,500$$

$$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$$

Coefficiente de impacto vertical (CIV)

$$CIV = 1,35 \text{ para vãos menores que } 10m$$

$$CIV = 1 + 1,06 \left(\frac{20}{L + 50} \right) \text{ para vãos maiores que } 10m$$


$$CIV = 1,32$$

Coefficiente do número de faixas (CNF)

$$CNF = 1 - 0,05(n - 2) > 0,9$$

$$n_{\text{faixas}} = 2$$

$$CNF = 1,00$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 421/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Coefficiente de impacto adicional (CIA)

CIA = 1,25 para obras em concreto ou mistas

CIA = 1,15 para obras em aço

CIA = 1,25

Aplicado apenas nas seções a uma distância normal à junta inferior a 5m.

Trem-tipo para V1 (viga de bordo)

$b_{\text{guarda corpo}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{passeio}} \text{ (m)} = 0,000$

$b_{\text{guarda-rodas}} \text{ (m)} = 0,400$

$i = 0,075$

$L_{\text{pista}} \text{ (m)} = 12,200$

$L_{\text{C.M.}} \text{ (m)} = 8,750$

	X (m)	Y
a	6,500	0,691
b	6,500	0,691
c	6,100	0,660
d	5,600	0,623
e	3,600	0,472
f	-2,650	0,000
g	-6,100	-0,260
h	-6,500	-0,291
i	-6,500	-0,291

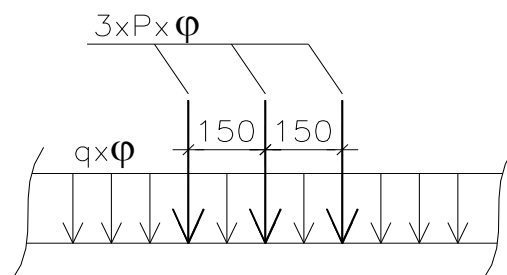
$P \text{ (tf/eixo)} = 6,566$ (sem impacto)

$q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,445$ (sem impacto)

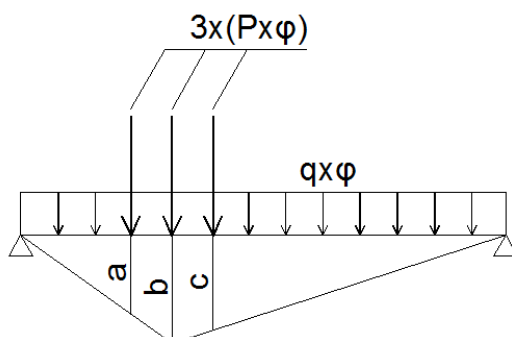
$q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,000$

$P \text{ (tf/eixo)} = 8,653$ (com CIV e CNF)

$q_{\text{total}} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1,904$ (com CIV e CNF)

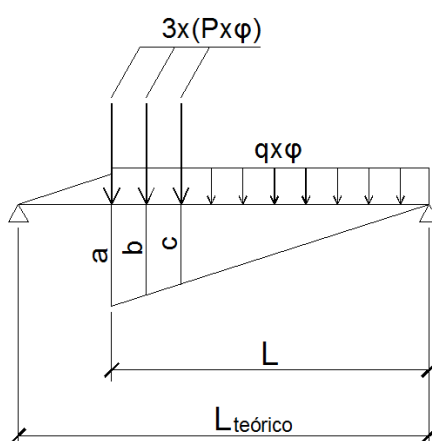


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	$M_{C.M.} \text{ (tf.m)}$
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	1,67	1,204	1,504	1,354	73,83
S2	3,34	2,074	2,674	2,374	130,17
S3	5,01	2,609	3,509	3,059	135,22
S4	6,68	3,110	4,010	3,410	154,91
S5	8,36	3,428	4,178	3,428	161,90
S6	10,03	3,110	4,010	3,410	154,91
S7	11,70	2,609	3,509	3,059	135,22
S8	13,37	2,074	2,674	2,374	130,17
S9	15,04	1,204	1,504	1,354	73,83
S10	16,71	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	16,71	1,000	0,910	0,820	49,42
S1	1,67	15,04	0,900	0,810	0,720	42,39
S2	3,34	13,37	0,800	0,710	0,620	35,77
S3	5,01	11,70	0,700	0,610	0,520	23,63
S4	6,68	10,03	0,600	0,510	0,420	18,97
S5	8,36	8,36	0,500	0,410	0,320	14,63
S6	10,03	6,68	0,400	0,310	0,220	10,60
S7	11,70	5,01	0,300	0,210	0,120	6,89
S8	13,37	3,34	0,200	0,110	0,020	4,37
S9	15,04	1,67	0,100	0,010	0,000	1,39
S10	16,71	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V1

	V _{C.M.} (tf)	M _{C.M.} (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	49,42	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	42,39	73,83	69,9	47,7	-144,8
S2	35,77	130,17	123,2	84,1	-255,3
S3	23,63	135,22	127,9	87,4	-265,2
S4	18,97	154,91	146,6	100,1	-303,8
S5	14,63	161,90	153,2	104,6	-317,5
S6	10,60	154,91	146,6	100,1	-303,8
S7	6,89	135,22	127,9	87,4	-265,2
S8	4,37	130,17	123,2	84,1	-255,3
S9	1,39	73,83	69,9	47,7	-144,8
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Trem-tipo para V2 (viga central)

b_{guarda corpo} (m) = 0,000

b_{passeio} (m) = 0,000

b_{guarda-rodas} (m) = 0,400

i = 0,038

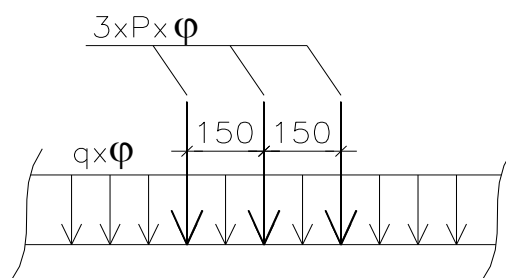
L_{pista} (m) = 12,200

L_{C.M.} (m) = 11,400

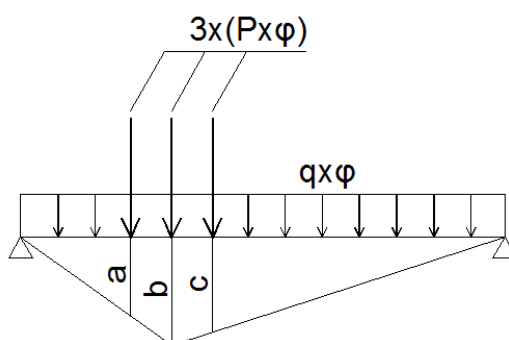
	X (m)	Y
a	6,500	0,445
b	6,500	0,445
c	6,100	0,430
d	5,600	0,411
e	3,600	0,336
f	-5,300	0,000
g	-6,100	-0,030
h	-6,500	-0,045
i	-6,500	-0,045

$$\begin{aligned} P \text{ (tf/eixo)} &= 4,483 && \text{(sem impacto)} \\ q_{\text{multidão}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 1,226 && \text{(sem impacto)} \\ q_{\text{passeio}} \text{ (tf/m}^2\text{)} &= 0,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ (tf/eixo)} &= 5,908 && \text{(com CIV e CNF)} \\ p \text{ (tf/m)} &= 1,616 && \text{(com CIV e CNF)} \end{aligned}$$

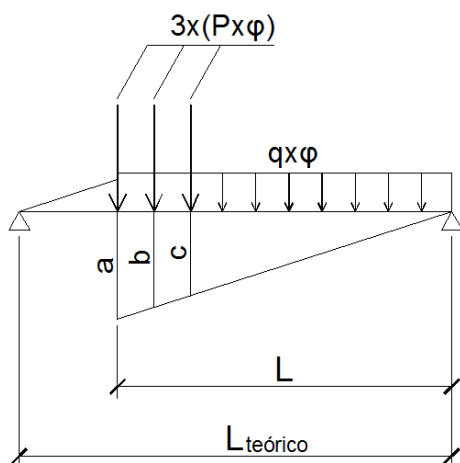


Linhas de influência de momento de flexão (com impacto)



	X (m)	a	b	c	M _{C.M.} (tf.m)
S0	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00
S1	1,67	1,204	1,504	1,354	55,37
S2	3,34	2,074	2,674	2,374	97,70
S3	5,01	2,609	3,509	3,059	101,59
S4	6,68	3,110	4,010	3,410	116,35
S5	8,36	3,428	4,178	3,428	121,57
S6	10,03	3,110	4,010	3,410	116,35
S7	11,70	2,609	3,509	3,059	101,59
S8	13,37	2,074	2,674	2,374	97,70
S9	15,04	1,204	1,504	1,354	55,37
S10	16,71	0,000	0,000	0,000	0,00

Linhas de influência de solicitação cortante (com impacto)



	X (m)	L (m)	a	b	c	V _{C.M.} (tf)
S0	0,00	16,71	1,000	0,910	0,820	37,04
S1	1,67	15,04	0,900	0,810	0,720	31,62
S2	3,34	13,37	0,800	0,710	0,620	26,53
S3	5,01	11,70	0,700	0,610	0,520	17,43
S4	6,68	10,03	0,600	0,510	0,420	13,90
S5	8,36	8,36	0,500	0,410	0,320	10,65
S6	10,03	6,68	0,400	0,310	0,220	7,66
S7	11,70	5,01	0,300	0,210	0,120	4,94
S8	13,37	3,34	0,200	0,110	0,020	3,12
S9	15,04	1,67	0,100	0,010	0,000	0,98
S10	16,71	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Resumo das solicitações seccionais de carga móvel para V2

	V _{C.M.} (tf)	M _{C.M.} (tf.m)	σ _s (tf/m ²)	σ _s ' (tf/m ²)	σ _i (tf/m ²)
S0	37,04	0,00	0,0	0,0	0,0
S1	31,62	55,37	50,7	34,4	-108,0
S2	26,53	97,70	89,5	60,6	-190,6
S3	17,43	101,59	93,1	63,0	-198,2
S4	13,90	116,35	106,6	72,2	-227,0
S5	10,65	121,57	111,4	75,4	-237,2
S6	7,66	116,35	106,6	72,2	-227,0
S7	4,94	101,59	93,1	63,0	-198,2
S8	3,12	97,70	89,5	60,6	-190,6
S9	0,98	55,37	50,7	34,4	-108,0
S10	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

Cálculo da protensão

Módulo de elasticidade do cabo



$$E_p \text{ (MPa)} = 200.000$$

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

Tensão inicial no cabo:

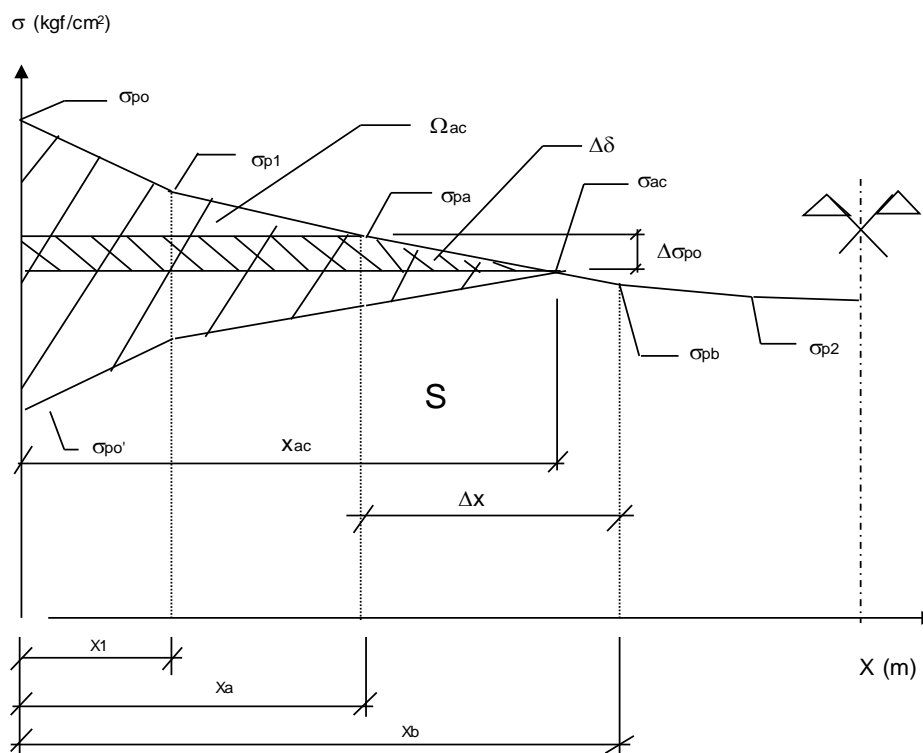
$$\begin{array}{lcl} \text{Pós-Tensão - } \sigma_{p0} \leq & \left\{ \begin{array}{l} -0,74 * f_{ptk} = 14060 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,82 * f_{pk} = 14022 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right. \\ \\ \text{Pré-Tensão - } \sigma_{p0} \leq & \left\{ \begin{array}{l} -0,77 * f_{ptk} = 14630 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ -0,85 * f_{pk} = 14535 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right. \end{array}$$


onde: $f_{ptk} \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 19.000$

$f_{pyk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 17.100$

Cabo	Etapas	Sistema
C1	2	Viga isolada
C2	1	Viga isolada
C3	1	Viga isolada
C4		-
C5		-
C6		-
C7		-
C8		-
C9		-

Cálculo das perdas imediatas de protensão



 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 427/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

A tensão após as perdas por atrito é dada por:

$$\sigma_{p0}(x) = \sigma_{p0} * e^{-\mu(\alpha + k * x)}$$

- onde:
- $\sigma_{p0}(x)$ é a tensão no cabo após perdas por atrito numa seção situada à uma distância (x) da ancoragem do cabo.
 - (x) é a distância entre a ancoragem e a seção da viga onde está sendo calculada a tensão $\sigma_{p0}(x)$.
 - μ é o coeficiente de atrito entre o cabo e a bainha. Adota-se $\mu = 0,20$.
 - K é o desvio angular por unidade de comprimento. Adota-se $K = 0,01$ rad/m.
 - α é variação angular entre a ancoragem e a seção em (x).

Cabo C1

Unidade de protensão → 6 Ø15,2 Força de puxada (tf) → 118

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 2ª

Sistema → Viga isolada

σ_{p0} (kgf/cm²) = 14.022 k (rad/m) = 0,01
 A_{sp} (cm²) = 8,4 $\mu = 0,20$
 δ (mm) = 6,0 (recuo da ancoragem)

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0}(x)$
S0	0,000	17,02	1,700	14,000		28,00	1,000	14022
S1	1,902	15,12	1,147	14,000	0,00	28,00	0,996	13969
S2	3,554	13,47	0,674	11,500	2,50	25,50	0,984	13802
S3	5,206	11,81	0,373	5,800	8,20	19,80	0,962	13485
S4	6,858	10,16	0,270	0,020	13,98	14,02	0,939	13172
S5	8,510	8,51	0,270	0,000	14,00	14,00	0,936	13128
S6	10,162	6,86	0,270	-0,020	14,02	13,98	0,939	13172
S7	11,814	5,21	0,373	-5,800	19,80	8,20	0,962	13485
S8	13,466	3,55	0,674	-11,500	25,50	2,50	0,984	13802
S9	15,118	1,90	1,147	-14,000	28,00	0,00	0,996	13969
S10	17,020	0,00	1,700	-14,000	28,00		1,000	14022

Δl^{esq} (mm) = 58 (alongamento previsto na ancoragem esquerda)*

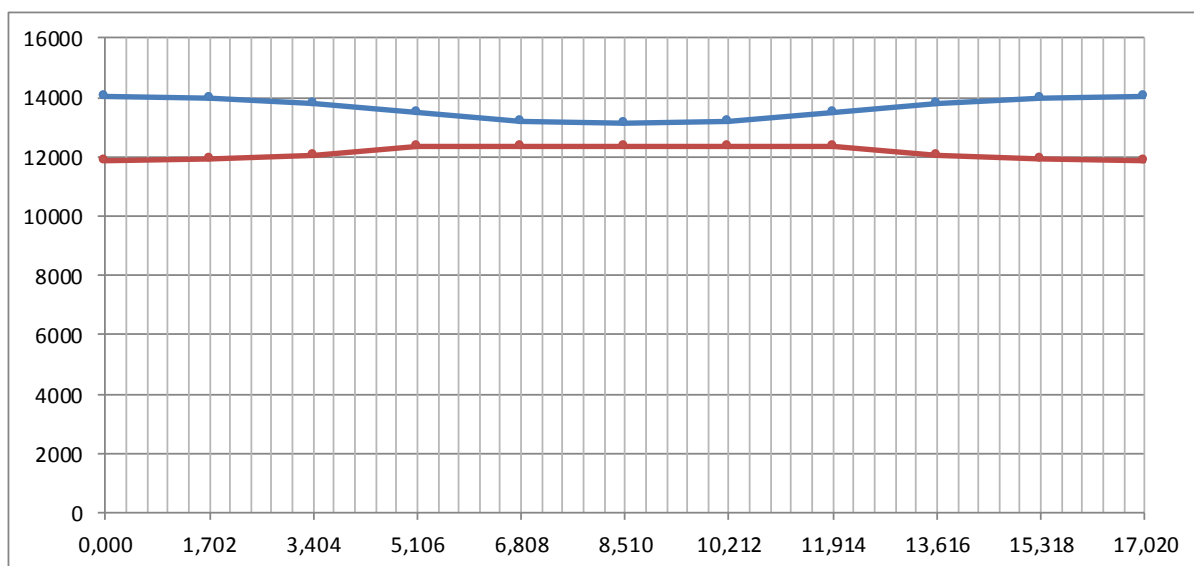
Δl^{dir} (mm) = 58 (alongamento previsto na ancoragem direita)*

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0
S1	11896	99,9	1,019	0,127	97,0	-24,2	12,4
S2	12045	101,2	1,019	-0,345	99,2	-20,2	-34,2
S3	12339	103,6	1,019	-0,646	103,1	-10,5	-66,6
S4	12364	103,9	1,019	-0,749	103,9	0,0	-77,8
S5	12320	103,5	1,019	-0,749	103,5	0,0	-77,5
S6	12364	103,9	1,019	-0,749	103,9	0,0	-77,8
S7	12339	103,6	1,019	-0,646	103,1	10,5	-66,6
S8	12045	101,2	1,019	-0,345	99,2	20,2	-34,2
S9	11896	99,9	1,019	0,127	97,0	24,2	12,4
S10	0	0,0	1,040	0,660	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm² e comprimento em metros)

Cabo C2

Unidade de protensão → 4 ø15,2

Força de puxada (tf) → 79

Tipo de ancoragem → Viva-Viva

Etapas de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 5,6$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0$$

(recuo da ancoragem)

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	σ_{p0} (x)
S0	0,000	17,02	1,000	8,000		16,00	1,000	14022
S1	1,902	15,12	0,688	8,000	0,00	16,00	0,996	13969
S2	3,554	13,47	0,411	8,000	0,00	16,00	0,993	13923
S3	5,206	11,81	0,201	4,200	3,80	12,20	0,977	13694
S4	6,858	10,16	0,121	0,400	7,60	8,40	0,961	13469
S5	8,510	8,51	0,120	0,000	8,00	8,00	0,956	13406
S6	10,162	6,86	0,121	-0,400	8,40	7,60	0,961	13469
S7	11,814	5,21	0,201	-4,200	12,20	3,80	0,977	13694
S8	13,466	3,55	0,411	-8,000	16,00	0,00	0,993	13923
S9	15,118	1,90	0,688	-8,000	16,00	0,00	0,996	13969
S10	17,020	0,00	1,000	-8,000	16,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 59 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

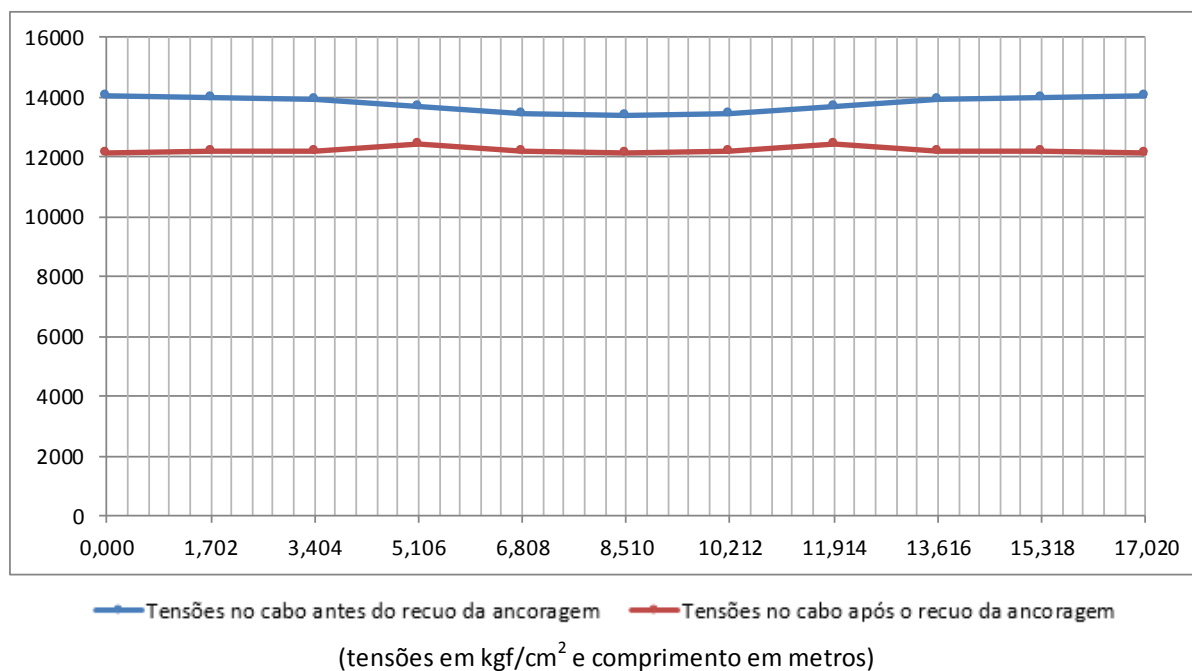
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 59 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	V_i (m)	exc (m)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0
S1	12165	68,1	1,019	-0,331	67,5	-9,5	-22,3
S2	12208	68,4	1,019	-0,608	67,7	-9,5	-41,2
S3	12423	69,6	1,019	-0,818	69,4	-5,1	-56,8
S4	12207	68,4	1,019	-0,898	68,4	-0,5	-61,4
S5	12144	68,0	1,019	-0,899	68,0	0,0	-61,1
S6	12207	68,4	1,019	-0,898	68,4	0,5	-61,4
S7	12423	69,6	1,019	-0,818	69,4	5,1	-56,8
S8	12208	68,4	1,019	-0,608	67,7	9,5	-41,2
S9	12165	68,1	1,019	-0,331	67,5	9,5	-22,3
S10	0	0,0	1,040	-0,040	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



Cabo C3

Unidade de protensão → 4 ø15,2 Força de puxada (tf) → 79

Tipo de ancoragem → Viva-Viva Etapa de protensão → 1ª

Sistema → Viga isolada

$$\sigma_{p0} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.022$$

$$k \text{ (rad/m)} = 0,01$$

$$A_{sp} \text{ (cm}^2\text{)} = 5,6$$

$$\mu = 0,20$$

$$\delta \text{ (mm)} = 6,0 \quad (\text{recuo da ancoragem})$$

Tensões no cabo após a perda por atrito cabo/bainha

Seção	x_i (m)	$L-x_i$ (m)	cota (m)	α (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$\Sigma\Delta\alpha$ (°)	$e^{-\mu(\alpha+k*x)}$	$\sigma_{p0}(x)$
S0	0,000	18,00	0,300	2,000		4,00	1,000	14022
S1	2,000	16,00	0,223	2,00	0,00	4,00	0,996	13966
S2	3,750	14,25	0,154	2,00	0,00	4,00	0,993	13917
S3	5,500	12,50	0,120	0,00	2,00	2,00	0,982	13772
S4	7,250	10,75	0,120	0,00	2,00	2,00	0,979	13724
S5	9,000	9,00	0,120	0,00	2,00	2,00	0,975	13676
S6	10,750	7,25	0,120	0,00	2,00	2,00	0,979	13724
S7	12,500	5,50	0,120	0,00	2,00	2,00	0,982	13772
S8	14,250	3,75	0,154	-2,00	4,00	0,00	0,993	13917
S9	16,000	2,00	0,223	-2,00	4,00	0,00	0,996	13966
S10	18,000	0,00	0,300	-2,00	4,00		1,000	14022

$$\Delta l^{\text{esq}} \text{ (mm)} = 62 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem esquerda})^*$$

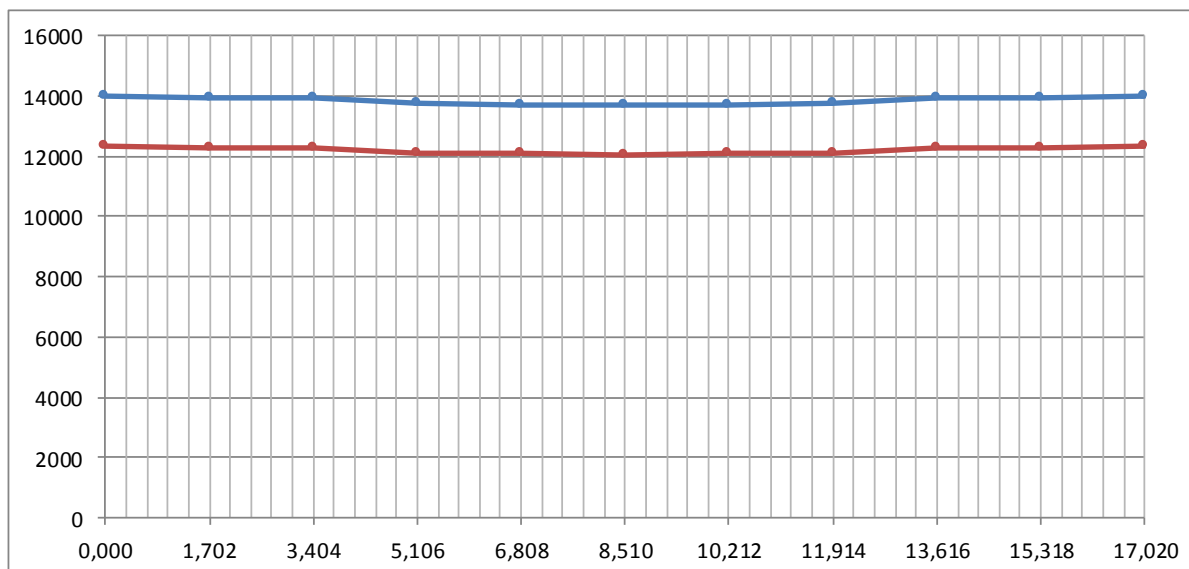
$$\Delta l^{\text{dir}} \text{ (mm)} = 62 \quad (\text{alongamento previsto na ancoragem direita})^*$$

* = alongamentos previstos antes da cravação do cone de ancoragem

Tensões no cabo após a perda por recuo da ancoragem

Seção	$\sigma_p \text{ (x)}$	$F_p \text{ (tf)}$	$V_i \text{ (m)}$	exc (m)	$N \text{ (tf)}$	$V \text{ (tf)}$	$M \text{ (tf.m)}$
S0	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0
S1	12311	68,9	1,019	-0,797	68,9	-2,4	-54,9
S2	12264	68,7	1,019	-0,865	68,6	-2,4	-59,4
S3	12122	67,9	1,019	-0,899	67,9	0,0	-61,0
S4	12075	67,6	1,019	-0,899	67,6	0,0	-60,8
S5	12027	67,4	1,019	-0,899	67,4	0,0	-60,6
S6	12075	67,6	1,019	-0,899	67,6	0,0	-60,8
S7	12122	67,9	1,019	-0,899	67,9	0,0	-61,0
S8	12264	68,7	1,019	-0,865	68,6	2,4	-59,4
S9	12311	68,9	1,019	-0,797	68,9	2,4	-54,9
S10	0	0,0	1,040	-0,740	0,0	0,0	0,0

A perda por recuo da ancoragem atingiu o ponto indeslocável da armadura



— Tensões no cabo antes do recuo da ancoragem — Tensões no cabo após o recuo da ancoragem

(tensões em kgf/cm^2 e comprimento em metros)

Perda por encurtamento imediato do concreto

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$s = 0,38$$

1ª etapa de protensão

$$\alpha_E = 1,0$$

$$t_0 \text{ (dias)} = 3$$

$$\beta_s(t_0) = 0,458$$

$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 18,3$$

$$n_{cabos} = 2$$

$$\alpha = 8,34$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 23.968,7$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	-0,087	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	136,4	-77,2	-0,125	0,731	0,376	212,3	0,221	44,3
S2	136,3	-100,6	-0,164	0,731	0,376	230,3	0,240	48,0
S3	137,3	-117,8	-0,191	0,731	0,376	247,6	0,258	51,7
S4	136,0	-122,2	-0,200	0,731	0,376	251,0	0,262	52,4
S5	135,4	-121,7	-0,200	0,731	0,376	249,9	0,261	52,1
S6	136,0	-122,2	-0,200	0,731	0,376	251,0	0,262	52,4
S7	137,3	-117,8	-0,191	0,731	0,376	247,6	0,258	51,7
S8	136,3	-100,6	-0,164	0,731	0,376	230,3	0,240	48,0
S9	136,4	-77,2	-0,125	0,731	0,376	212,3	0,221	44,3
S10	0,0	0,0	-0,087	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

2ª etapa de protensão

$$t_0 \text{ (dias)} = 15$$


$$\beta_s(t_0) = 0,870$$

$$f_{cj,t0} \text{ (MPa)} = 34,8$$

$$n_{cabos} = 1$$

$$E_{c,t0} \text{ (MPa)} = 33.036,6$$

Seção	$\Sigma N_{prot} \text{ (tf)}$	$\Sigma M_{prot} \text{ (tf.m)}$	$e_{média} \text{ (m)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	$\sigma_{c,cgp} \text{ (tf/m}^2\text{)}$	$\Delta \epsilon_{cp} \text{ (}\times 10^{-4}\text{)}$	$\Delta \sigma_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
S0	0,0	0,0	0,073	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0
S1	97,0	12,4	0,014	0,731	0,376	133,1	0,101	20,1
S2	99,2	-34,2	-0,038	0,731	0,376	139,1	0,105	21,1
S3	103,1	-66,6	-0,072	0,731	0,376	153,8	0,116	23,3
S4	103,9	-77,8	-0,083	0,731	0,376	159,3	0,121	24,1
S5	103,5	-77,5	-0,083	0,731	0,376	158,7	0,120	24,0
S6	103,9	-77,8	-0,083	0,731	0,376	159,3	0,121	24,1
S7	103,1	-66,6	-0,072	0,731	0,376	153,8	0,116	23,3
S8	99,2	-34,2	-0,038	0,731	0,376	139,1	0,105	21,1
S9	97,0	12,4	0,014	0,731	0,376	133,1	0,101	20,1
S10	0,0	0,0	0,073	1,463	0,519	0,0	0,000	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 433/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Onde:

s = coeficiente que depende do tipo de cimento

t_0 = idade de aplicação da protensão

$$\beta_s = e^{s \times (1 - \sqrt{28/t_0})} \quad f_{cj} = \beta_s \times f_{ck} \quad E_c = \alpha_E \times 5600 \times \sqrt{f_{cj}}$$

$$\Delta \varepsilon_{cp} = \frac{n-1}{2n} \times \frac{\sigma_{c, cgp}}{E_{c, t0}} \quad \Delta \sigma_p = \frac{\Delta \varepsilon_{cp}}{E_p}$$

	Seção	Fase 1	Fase 2	Fase 3
$\Delta \sigma_p$ (kgf/cm ²)	S0	0,0	0,0	0,0
	S1	64,4	20,1	0,0
	S2	69,1	21,1	0,0
	S3	74,9	23,3	0,0
	S4	76,5	24,1	0,0
	S5	76,2	24,0	0,0
	S6	76,5	24,1	0,0
	S7	74,9	23,3	0,0
	S8	69,1	21,1	0,0
	S9	64,4	20,1	0,0
	S10	0,0	0,0	0,0

Tensões nos cabos e solicitações devido à protensão após as perdas imediatas

C1

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta \sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	11876	99,8	96,8	-24,1	12,3	15,3%
S2	12024	101,0	99,0	-20,1	-34,1	14,2%
S3	12315	103,4	102,9	-10,5	-66,5	12,2%
S4	12340	103,7	103,7	0,0	-77,6	12,0%
S5	12296	103,3	103,3	0,0	-77,4	12,3%
S6	12340	103,7	103,7	0,0	-77,6	12,0%
S7	12315	103,4	102,9	10,5	-66,5	12,2%
S8	12024	101,0	99,0	20,1	-34,1	14,2%
S9	11876	99,8	96,8	24,1	12,3	15,3%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C2

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12101	67,8	67,1	-9,4	-22,2	13,7%
S2	12139	68,0	67,3	-9,5	-40,9	13,4%
S3	12349	69,2	69,0	-5,1	-56,4	11,9%
S4	12131	67,9	67,9	-0,5	-61,0	13,5%
S5	12068	67,6	67,6	0,0	-60,8	13,9%
S6	12131	67,9	67,9	0,5	-61,0	13,5%
S7	12349	69,2	69,0	5,1	-56,4	11,9%
S8	12139	68,0	67,3	9,5	-40,9	13,4%
S9	12101	67,8	67,1	9,4	-22,2	13,7%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

C3

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	$\Delta\sigma_{imed}$ (%)
S0		0,0	0,0	0,0	0,0	
S1	12246	68,6	68,5	-2,4	-54,6	12,7%
S2	12195	68,3	68,2	-2,4	-59,1	13,0%
S3	12047	67,5	67,5	0,0	-60,7	14,1%
S4	11998	67,2	67,2	0,0	-60,4	14,4%
S5	11951	66,9	66,9	0,0	-60,2	14,8%
S6	11998	67,2	67,2	0,0	-60,4	14,4%
S7	12047	67,5	67,5	0,0	-60,7	14,1%
S8	12195	68,3	68,2	2,4	-59,1	13,0%
S9	12246	68,6	68,5	2,4	-54,6	12,7%
S10		0,0	0,0	0,0	0,0	

Resumo das solicitações e tensões nas fibras extremas do concreto devido à protensão após as perdas imediatas

1ª etapa de protensão

Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	135,6	-11,8	-76,8	0,0	-15,0	393,9
S2	135,6	-11,8	-100,0	0,0	-75,6	456,6
S3	136,4	-5,1	-117,1	0,0	-119,0	504,2
S4	135,1	-0,5	-121,4	0,0	-132,1	514,2
S5	134,5	0,0	-120,9	0,0	-131,7	512,0
S6	135,1	0,5	-121,4	0,0	-132,1	514,2
S7	136,4	5,1	-117,1	0,0	-119,0	504,2
S8	135,6	11,8	-100,0	0,0	-75,6	456,6
S9	135,6	11,8	-76,8	0,0	-15,0	393,9
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

2ª etapa de protensão

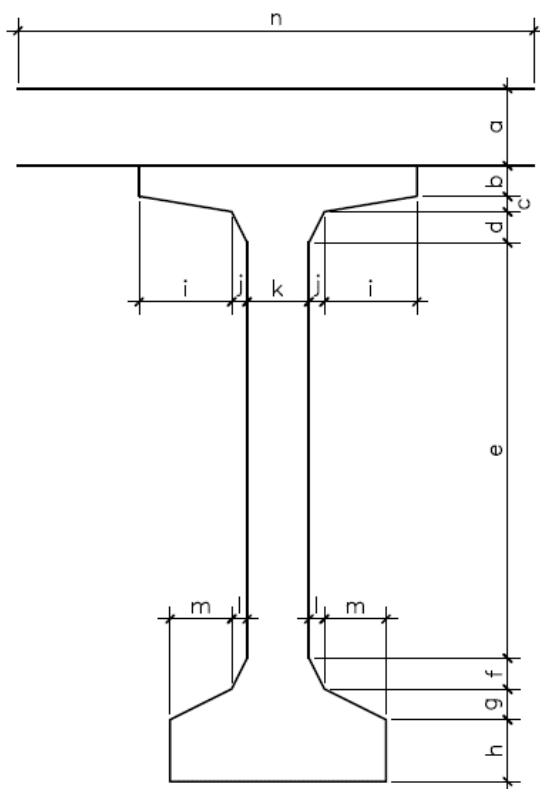
Seção	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)	σ_s (tf/m ²)	σ_s' (tf/m ²)	σ_i (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	96,8	-24,1	12,3	0,0	164,6	99,0
S2	99,0	-20,1	-34,1	0,0	46,3	228,0
S3	102,9	-10,5	-66,5	0,0	-32,7	321,0
S4	103,7	0,0	-77,6	0,0	-60,9	352,4
S5	103,3	0,0	-77,4	0,0	-60,7	351,1
S6	103,7	0,0	-77,6	0,0	-60,9	352,4
S7	102,9	10,5	-66,5	0,0	-32,7	321,0
S8	99,0	20,1	-34,1	0,0	46,3	228,0
S9	96,8	24,1	12,3	0,0	164,6	99,0
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Cálculo das perdas lentas de protensão

$U (\%) = 80$ (umidade relativa do ar)

$$\gamma = 2,22 \quad \gamma = 1 + e^{(-7,8+0,1 \times U)}$$

Cálculo da espessura fictícia



Seção	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)
S0	0,000	0,050	0,050	0,050
S1	0,000	0,050	0,050	0,100
S2	0,000	0,050	0,050	0,100
S3	0,000	0,050	0,050	0,100
S4	0,000	0,050	0,050	0,100
S5	0,000	0,050	0,050	0,100
S6	0,000	0,050	0,050	0,100
S7	0,000	0,050	0,050	0,100
S8	0,000	0,050	0,050	0,100
S9	0,000	0,050	0,050	0,100
S10	0,000	0,050	0,050	0,050

Seção	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)	i (m)	j (m)	k (m)	l (m)	m (m)	n (m)
S0	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200
S1	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S2	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S3	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S4	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S5	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S6	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S7	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,700	0,240	0,000	1,680
S8	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S9	1,400	0,200	0,100	0,100	0,000	0,490	0,220	0,240	0,000	1,200
S10	1,450	0,200	0,100	0,100	0,000	0,250	0,700	0,000	0,000	1,200

Seção	P _{ext} (m)	P _{int} (m)	u (m)	A (m ²)	h _{fic} (m)
S0	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030
S1	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S2	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S3	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S4	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S5	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S6	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S7	7,885	0,000	7,885	0,731	0,412
S8	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S9	6,925	0,000	6,925	0,731	0,469
S10	6,310	0,000	6,310	1,463	1,030

Onde,

P_{ext} - é o perímetro externo da seção

P_{int} - é o perímetro interno da seção

u - é o perímetro da seção em contato com o ar, dado por: $P_{ext} + P_{int}/2$

A - é a área da seção transversal

h_{fic} - é a espessura fictícia, dada por: $\gamma \times 2 \times A / u$

Cálculo da idade corrigida

$$t_* = \frac{\alpha}{30} \times \sum_{t=0}^t [(T_i + 10) \times \Delta t_i]$$

$\alpha = 1$

(fluência)

T_i (°) = 25

Δt_i (dias) = 7

(média ponderada das idades de protensão)


t_{0*} (dias) = 8,2

(fluência)

t_{0*} (dias) = 8,2

(retração)

t_{∞*} (dias) = ∞

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 437/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Fluência

a deformação por fluência é dada por:

$$\varepsilon_{cc}(t_1; t_0) = \frac{\sigma_{c,t_0}}{E_{c,28}} \times \varphi(t_1; t_0)$$

onde:

$$\varphi(t_1; t_0) = \varphi_{d\infty} \times \beta_d + \varphi_{f\infty} \times [\beta_f(t_{1*}) - \beta_f(t_{0*})] + \varphi_a$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\beta_d = \frac{t_{1*} - t_{0*} + 20}{t_{1*} - t_{0*} + 70}$$

$$\varphi_{f\infty} = \varphi_{1c} \times \varphi_{2c}$$

$$\varphi_{1c} = 4,45 - 0,035 \times U \quad \varphi_{2c} = \frac{42 + h_{fic}(cm)}{20 + h_{fic}(cm)}$$

$$\beta_f(t) = \frac{t^2 + A \times t + B}{t^2 + C \times t + D} \quad \text{com} \quad \begin{cases} A = 42 \times h_{fic}^3 - 350 \times h_{fic}^2 + 588 \times h_{fic} + 113 \\ B = 768 \times h_{fic}^3 - 3060 \times h_{fic}^2 + 3234 \times h_{fic} - 23 \\ C = -200 \times h_{fic}^3 + 13 \times h_{fic}^2 + 1090 \times h_{fic} + 183 \\ D = 7579 \times h_{fic}^3 - 31916 \times h_{fic}^2 + 35343 \times h_{fic} + 1931 \end{cases}$$

$$\varphi_a = 0,8 \times \left[1 - \frac{9 \times t_{0*} \times (t_{0*} + 42)}{(9 \times t_{0*} + 40) \times (t_{0*} + 61)} \right]$$

$$\varphi_{d\infty} = 0,4$$

$$\varphi_a = 0,424$$

$$\varphi_{1c} = 1,7$$

$$\beta_{f\infty} = 1,0$$

$$\beta_d = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	φ_{2c}	φ_{∞}	$\beta_{f(t)}$	$\varphi_{(\infty,t)}$
S0	1,030	1,179	1,945	0,192	2,397
S1	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S2	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S3	0,412	1,360	2,243	0,200	2,618
S4	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S5	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S6	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S7	0,412	1,360	2,243	0,200	2,618
S8	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S9	0,469	1,329	2,193	0,199	2,581
S10	1,030	1,179	1,945	0,192	2,397

Retração do concreto

a deformação por retração é dada por:

$$\varepsilon_{cs,(t_1;t_0)} = \varepsilon_{cs,(t_0)} \times [\beta_s(t_1) - \beta_s(t_0)]$$

onde:

$$\varepsilon_{cs,(t_0)} = \varepsilon_{1s} \times \varepsilon_{2s}$$

$$\varepsilon_{1s} = - \left(6,16 + \frac{U}{484} - \frac{U^2}{1590} \right) \times 10^4$$

$$\varepsilon_{2s} = \frac{33 + 2 \times h_{fic}}{20,8 + 3 \times h_{fic}}$$

$$\beta_s(t) = \frac{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + A \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + B \times \left(\frac{t}{100}\right)}{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + C \times \left(\frac{t}{100}\right)^2 + D \times \left(\frac{t}{100}\right) + E}$$

$$com \begin{cases} A = 40 \\ B = 116 \times h_{fic}^3 - 282 \times h_{fic}^2 + 220 \times h_{fic} - 4,8 \\ C = 2,5 \times h_{fic}^3 - 8,8 \times h_{fic} + 40,7 \\ D = -75 \times h_{fic}^3 + 585 \times h_{fic}^2 + 496 \times h_{fic} - 6,8 \\ E = -169 \times h_{fic}^4 + 88 \times h_{fic}^3 + 584 \times h_{fic}^2 - 39 \times h_{fic} + 0,8 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{1s} \times 10^4 = 2,3$$

$$\beta_{s00} = 1,0$$

Seção	h_{fic} (m)	ε_{2s}	$\beta_{s(t_0)}$	$\varepsilon_{cs,(t_0)} \times 10^4$	$\varepsilon_{cs,(t_0,t_1)} \times 10^4$
S0	1,030	1,468	0,008	3,376	3,350
S1	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S2	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S3	0,412	1,535	0,037	3,531	3,400
S4	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S5	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S6	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S7	0,412	1,535	0,037	3,531	3,400
S8	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S9	0,469	1,528	0,030	3,515	3,410
S10	1,030	1,468	0,008	3,376	3,350

Relaxação do aço

$$E_p \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$$

$$E_c \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 354.175$$

$$f_{ptk} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 19.000$$

$$\alpha_p = 5,647$$

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente

Seção	$M_{g1+g2} \text{ (tf.m)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,cgp,g} \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	0,00	0,519	-1,040	0,0
S1	42,65	0,376	-0,268	-30,4
S2	75,01	0,376	-0,569	-113,5
S3	98,13	0,376	-0,767	-200,4
S4	112,01	0,376	-0,835	-248,8
S5	116,63	0,376	-0,835	-259,1
S6	112,01	0,376	-0,835	-248,8
S7	98,13	0,376	-0,767	-200,4
S8	75,01	0,376	-0,569	-113,5
S9	42,65	0,376	-0,268	-30,4
S10	0,00	0,519	-1,040	0,0

Seção	$M_{g3} \text{ (tf.m)}$	$I_z \text{ (m}^4\text{)}$	C.G. _{arm} (m)	$\sigma_{c,cgp,g} \text{ (tf/m}^2\text{)}$
S0	0,00	1,009	-1,350	0,0
S1	13,15	0,771	-0,758	-12,9
S2	23,38	0,771	-1,059	-32,1
S3	30,69	0,771	-1,258	-50,0
S4	35,07	0,771	-1,325	-60,2
S5	36,53	0,771	-1,325	-62,8
S6	35,07	0,771	-1,325	-60,2
S7	30,69	0,771	-1,258	-50,0
S8	23,38	0,771	-1,059	-32,1
S9	13,15	0,771	-0,758	-12,9
S10	0,00	1,009	-1,350	0,0

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à protensão


1ª etapa de protensão

Seção	N _p (tf)	M _p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I _z (m ⁴)	σ _{c,cgp,p} (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	135,6	-76,8	-0,268	0,731	0,376	240,3
S2	135,6	-100,0	-0,569	0,731	0,376	336,8
S3	136,4	-117,1	-0,767	0,731	0,376	425,8
S4	135,1	-121,4	-0,835	0,731	0,376	454,5
S5	134,5	-120,9	-0,835	0,731	0,376	452,7
S6	135,1	-121,4	-0,835	0,731	0,376	454,5
S7	136,4	-117,1	-0,767	0,731	0,376	425,8
S8	135,6	-100,0	-0,569	0,731	0,376	336,8
S9	135,6	-76,8	-0,268	0,731	0,376	240,3
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

2ª etapa de protensão

Seção	N _p (tf)	M _p (tf.m)	C.G. _{arm} (m)	A (m ²)	I _z (m ⁴)	σ _{c,cgp,p} (tf/m ²)
S0	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0
S1	96,8	12,3	-0,268	0,731	0,376	123,6
S2	99,0	-34,1	-0,569	0,731	0,376	187,1
S3	102,9	-66,5	-0,767	0,731	0,376	276,5
S4	103,7	-77,6	-0,835	0,731	0,376	314,2
S5	103,3	-77,4	-0,835	0,731	0,376	313,2
S6	103,7	-77,6	-0,835	0,731	0,376	314,2
S7	102,9	-66,5	-0,767	0,731	0,376	276,5
S8	99,0	-34,1	-0,569	0,731	0,376	187,1
S9	96,8	12,3	-0,268	0,731	0,376	123,6
S10	0,0	0,0	-1,040	1,463	0,519	0,0

Seção	σ _{c,cgp,p} (tf/m ²)
S0	0,0
S1	363,9
S2	523,9
S3	702,3
S4	768,7
S5	765,9
S6	768,7
S7	702,3
S8	523,9
S9	363,9
S10	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 441/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Tensões no concreto no nível do C.G. da armadura de protensão devido à carga permanente + protensão

Seção	$\sigma_{c,cgp,p+g}$ (tf/m ²)
S0	0,0
S1	320,6
S2	378,2
S3	451,8
S4	459,7
S5	444,0
S6	459,7
S7	451,8
S8	378,2
S9	320,6
S10	0,0

Cálculo do coeficiente de fluência do aço

$$\chi_{(t,t_0)} = -\ln(1 - \psi_{(t,t_0)})$$

onde:

$$\psi(t^\infty, t_0) = 2,5 \times \psi_{1000}$$

Seção	σ_{p0} (kgf/cm ²)	σ_{p0} / f_{ptk}	ψ_{1000}	$\psi(t^\infty, t_0)$	$\chi_{(t^\infty, t_0)}$
S0		0,000	0,000	0,000	0,000
S1	12074	0,635	1,726	4,315	0,044
S2	12119	0,638	1,754	4,386	0,045
S3	12237	0,644	1,829	4,572	0,047
S4	12156	0,640	1,778	4,444	0,045
S5	12105	0,637	1,745	4,363	0,045
S6	12156	0,640	1,778	4,444	0,045
S7	12237	0,644	1,829	4,572	0,047
S8	12119	0,638	1,754	4,386	0,045
S9	12074	0,635	1,726	4,315	0,044
S10		0,000	0,000	0,000	0,000

Cálculo da perda lenta total

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r,(t_2,t_0)} = \frac{\varepsilon_{cs,(t_2,t_0)} \times E_p + \alpha_p \times \varphi_{(t_2,t_0)} \times \sigma_{c,cgp,p+g} + \sigma_{p0} \times \chi_{(t,t_0)}}{\chi_p + \chi_c \times \alpha_p \times \eta \times \rho_p}$$

onde:

$$\chi_c = 1 + 0,5 \times \varphi_{(t_2,t_0)} \quad \chi_p = 1 + \chi_{(t,t_0)}$$

e_p - é a excentricidade de protensão

$$\eta = 1 + e_p^2 \times \frac{A_c}{I_z} \quad \rho_p = \frac{A_s}{A_c}$$

Seção	χ_c	χ_p	e_p (m)	η	ρ_p	$\Delta\sigma_{p,c+s+r_i(t,t_0)}$ (kgf/cm ²)	$\Delta\sigma_{lenta}$ (%)
S0	2,198	1,000	-1,350	4,711	0,0000	0,0	0,0%
S1	2,291	1,044	-0,758	1,986	0,0015	1554,2	11,1%
S2	2,291	1,045	-1,059	2,925	0,0015	1613,9	11,5%
S3	2,309	1,047	-1,258	3,715	0,0015	1717,2	12,2%
S4	2,291	1,045	-1,325	4,012	0,0015	1697,1	12,1%
S5	2,291	1,045	-1,325	4,013	0,0015	1666,6	11,9%
S6	2,291	1,045	-1,325	4,012	0,0015	1697,1	12,1%
S7	2,309	1,047	-1,258	3,715	0,0015	1717,2	12,2%
S8	2,291	1,045	-1,059	2,925	0,0015	1613,9	11,5%
S9	2,291	1,044	-0,758	1,986	0,0015	1554,2	11,1%
S10	2,198	1,000	-1,350	4,711	0,0000	0,0	0,0%

Solicitações devido às perdas lentas de protensão

C1

Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-1554	-13,1	-12,7	3,2	-1,6
S2	-1614	-13,6	-13,3	2,7	4,6
S3	-1717	-14,4	-14,4	1,5	9,3
S4	-1697	-14,3	-14,3	0,0	10,7
S5	-1667	-14,0	-14,0	0,0	10,5
S6	-1697	-14,3	-14,3	0,0	10,7
S7	-1717	-14,4	-14,4	-1,5	9,3
S8	-1614	-13,6	-13,3	-2,7	4,6
S9	-1554	-13,1	-12,7	-3,2	-1,6
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C2


Seção	σ_p (x)	F_p (tf)	N (tf)	V (tf)	M (tf.m)
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-1554	-8,7	-8,6	1,2	2,9
S2	-1614	-9,0	-9,0	1,3	5,4
S3	-1717	-9,6	-9,6	0,7	7,8
S4	-1697	-9,5	-9,5	0,1	8,5
S5	-1667	-9,3	-9,3	0,0	8,4
S6	-1697	-9,5	-9,5	-0,1	8,5
S7	-1717	-9,6	-9,6	-0,7	7,8
S8	-1614	-9,0	-9,0	-1,3	5,4
S9	-1554	-8,7	-8,6	-1,2	2,9
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

C3

Seção	$\sigma_p (x)$	$F_p (tf)$	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$
S0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-1554	-8,7	-8,7	0,3	6,9
S2	-1614	-9,0	-9,0	0,3	7,8
S3	-1717	-9,6	-9,6	0,0	8,6
S4	-1697	-9,5	-9,5	0,0	8,5
S5	-1667	-9,3	-9,3	0,0	8,4
S6	-1697	-9,5	-9,5	0,0	8,5
S7	-1717	-9,6	-9,6	0,0	8,6
S8	-1614	-9,0	-9,0	-0,3	7,8
S9	-1554	-8,7	-8,7	-0,3	6,9
S10	0	0,0	0,0	0,0	0,0

Resumo das solicitações devido às perdas de protensão e tensões nas fibras extremas do concreto

Seção	$N (tf)$	$V (tf)$	$M (tf.m)$	$\sigma_s (tf/m^2)$	$\sigma_s' (tf/m^2)$	$\sigma_i (tf/m^2)$
S0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	-30,0	4,7	8,2	-33,4	-19,7	-63,2
S2	-31,3	4,3	17,8	-26,1	3,8	-91,2
S3	-33,6	2,2	25,8	-21,8	21,3	-115,8
S4	-33,3	0,1	27,8	-19,6	27,0	-120,8
S5	-32,7	0,0	27,3	-19,2	26,5	-118,6
S6	-33,3	-0,1	27,8	-19,6	27,0	-120,8
S7	-33,6	-2,2	25,8	-21,8	21,3	-115,8
S8	-31,3	-4,3	17,8	-26,1	3,8	-91,2
S9	-30,0	-4,7	8,2	-33,4	-19,7	-63,2
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 444/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação das tensões elásticas no concreto nas diversas fases de carregamento

Serão verificadas as tensões nas fibras extremas do concreto para as seguintes fases de carregamento:

- Fase 1 = peso próprio da viga isolada + 1ª etapa de protensão
- Fase 2 = fase 1 + 2ª etapa de protensão
- Fase 3 = fase 2 + peso próprio da laje e transversinas
- Fase 4 = fase 3 + 3ª etapa de protensão
- Fase 5 = fase 4 + sobrecarga permanente
- Fase 6 = fase 5 + carga móvel
- Fase 7 = fase 5 + perdas de protensão
- Fase 8 = fase 7 + carga móvel

Tensões limites

$$f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0 \qquad f_{ctm} \text{ (MPa)} = 3,51 \qquad s = 0,38$$

- no instante da protensão

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctm,j} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,7 f_{ckj}$$

- na vida útil da obra

$$|\sigma_{c,t}| \leq 1,2 f_{ctk,inf} \qquad |\sigma_{c,c}| \leq 0,6 f_{ck}$$

idade da 1ª protensão (dias) = 3

$$\beta_1 = 0,458 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 18,32 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 2,08$$


idade da 2ª protensão (dias) = 15

$$\beta_2 = 0,870 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 34,80 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,20$$

idade da 3ª protensão (dias) = 28

$$\beta_3 = 1,000 \qquad f_{ckj} \text{ (MPa)} = 40,00 \qquad f_{ctm,j} \text{ (MPa)} = 3,51$$

	tração (tf/m ²)	compressão (tf/m ²)
t = 3	-250,17	1282,36
t = 15	-383,75	2436,20
t = 28	-294,74	2400,00
t = ∞	-294,74	2400,00

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-iv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 445/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação do estado limite de compressão excessiva para a combinação rara de carregamentos (ELS-CE)

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m^2) para 110% da força de protensão

		g_1	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2
S0	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	63	-16	46	181	227
	σ_i (tf/m ²)	-65	433	368	109	477
S2	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	109	-83	26	51	77
	σ_i (tf/m ²)	-114	502	389	251	639
S3	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	143	-131	12	-36	-24
	σ_i (tf/m ²)	-148	555	406	353	760
S4	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	163	-145	17	-67	-50
	σ_i (tf/m ²)	-169	566	397	388	784
S5	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	169	-145	25	-67	-42
	σ_i (tf/m ²)	-176	563	387	386	773
S6	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	163	-145	17	-67	-50
	σ_i (tf/m ²)	-169	566	397	388	784
S7	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	143	-131	12	-36	-24
	σ_i (tf/m ²)	-148	555	406	353	760
S8	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	109	-83	26	51	77
	σ_i (tf/m ²)	-114	502	389	251	639
S9	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	63	-16	46	181	227
	σ_i (tf/m ²)	-65	433	368	109	477
S10	σ_s (tf/m ²)	-	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0

Verificação do estado limite de formação de fissuras para a combinação frequente de carregamentos (ELS-F)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{G_{i,k}} + \psi_1 F_{Q_{1,k}} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Q_{j,k}} \quad \text{com } \psi_1 = 0,5$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	63	-15	48	165	212	49	261
	σ _i (tf/m ²)	-65	394	329	99	428	-51	377
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	109	-76	34	46	80	86	167
	σ _i (tf/m ²)	-114	457	343	228	571	-90	481
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	143	-119	24	-33	-9	113	104
	σ _i (tf/m ²)	-148	504	356	321	677	-118	559
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	163	-132	31	-61	-30	130	99
	σ _i (tf/m ²)	-169	514	345	352	697	-135	563
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	169	-132	38	-61	-23	135	112
	σ _i (tf/m ²)	-176	512	336	351	687	-140	547
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	163	-132	31	-61	-30	130	99
	σ _i (tf/m ²)	-169	514	345	352	697	-135	563
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	143	-119	24	-33	-9	113	104
	σ _i (tf/m ²)	-148	504	356	321	677	-118	559
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	109	-76	34	46	80	86	167
	σ _i (tf/m ²)	-114	457	343	228	571	-90	481
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	63	-15	48	165	212	49	261
	σ _i (tf/m ²)	-65	394	329	99	428	-51	377
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g ₃	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	12	12	35	47
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	261	8	269	24	293
	σ_i (tf/m ²)	0	377	-26	351	-73	278
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	22	22	62	84
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	167	15	181	42	223
	σ_i (tf/m ²)	0	481	-46	435	-129	306
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	29	29	64	93
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	104	20	124	44	168
	σ_i (tf/m ²)	0	559	-60	499	-134	365
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	33	33	73	106
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	99	22	122	50	172
	σ_i (tf/m ²)	0	563	-69	494	-154	340
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	34	34	77	111
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	112	23	135	52	188
	σ_i (tf/m ²)	0	547	-71	475	-161	314
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	33	33	73	106
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	99	22	122	50	172
	σ_i (tf/m ²)	0	563	-69	494	-154	340
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	29	29	64	93
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	104	20	124	44	168
	σ_i (tf/m ²)	0	559	-60	499	-134	365
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	22	22	62	84
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	167	15	181	42	223
	σ_i (tf/m ²)	0	481	-46	435	-129	306
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	12	12	35	47
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	261	8	269	24	293
	σ_i (tf/m ²)	0	377	-26	351	-73	278
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-33	-21	35	14
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-20	250	24	273
	σ_i (tf/m ²)	-63	288	-73	215
S2	σ_s (tf/m ²)	-26	-4	62	57
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	4	185	42	227
	σ_i (tf/m ²)	-91	344	-129	215
S3	σ_s (tf/m ²)	-22	7	64	71
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	21	145	44	189
	σ_i (tf/m ²)	-116	383	-134	249
S4	σ_s (tf/m ²)	-20	13	73	87
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	27	149	50	199
	σ_i (tf/m ²)	-121	373	-154	219
S5	σ_s (tf/m ²)	-19	15	77	92
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	27	162	52	214
	σ_i (tf/m ²)	-119	357	-161	196
S6	σ_s (tf/m ²)	-20	13	73	87
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	27	149	50	199
	σ_i (tf/m ²)	-121	373	-154	219
S7	σ_s (tf/m ²)	-22	7	64	71
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	21	145	44	189
	σ_i (tf/m ²)	-116	383	-134	249
S8	σ_s (tf/m ²)	-26	-4	62	57
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	4	185	42	227
	σ_i (tf/m ²)	-91	344	-129	215
S9	σ_s (tf/m ²)	-33	-21	35	14
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-20	250	24	273
	σ_i (tf/m ²)	-63	288	-73	215
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE:	REV. CLIENTE	FOLHA: 450/500
	I-OAESV-X-R1/16-202-lv	1	
	Nº PLANAVE:	REV. PLANAVE	
	MC-F01-B03-1002	A	

Verificação do estado limite de descompressão para a combinação quase permanente de carregamentos (ELS-D)


$$F_{d,util} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{com } \psi_2 = 0,3$$

Tensões elásticas nas fibras extremas do concreto (em tf/m²) para 100% da força de protensão

		g ₁	1ª prot.	Fase 1	2ª prot.	Fase 2	g ₂	Fase 3
S0	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
S1	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	63	-15	48	165	212	49	261
	σ _i (tf/m ²)	-65	394	329	99	428	-51	377
S2	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	109	-76	34	46	80	86	167
	σ _i (tf/m ²)	-114	457	343	228	571	-90	481
S3	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	143	-119	24	-33	-9	113	104
	σ _i (tf/m ²)	-148	504	356	321	677	-118	559
S4	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	163	-132	31	-61	-30	130	99
	σ _i (tf/m ²)	-169	514	345	352	697	-135	563
S5	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	169	-132	38	-61	-23	135	112
	σ _i (tf/m ²)	-176	512	336	351	687	-140	547
S6	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	163	-132	31	-61	-30	130	99
	σ _i (tf/m ²)	-169	514	345	352	697	-135	563
S7	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	143	-119	24	-33	-9	113	104
	σ _i (tf/m ²)	-148	504	356	321	677	-118	559
S8	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	109	-76	34	46	80	86	167
	σ _i (tf/m ²)	-114	457	343	228	571	-90	481
S9	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	63	-15	48	165	212	49	261
	σ _i (tf/m ²)	-65	394	329	99	428	-51	377
S10	σ _s (tf/m ²)	-	0	0	0	0	-	0
	σ _{s'} (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
	σ _i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0	0

		3ª prot.	Fase 4	g ₃	Fase 5	C.M.	Fase 6
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	0	0	12	12	21	33
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	261	8	269	14	284
	σ_i (tf/m ²)	0	377	-26	351	-44	307
S2	σ_s (tf/m ²)	0	0	22	22	37	59
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	167	15	181	25	207
	σ_i (tf/m ²)	0	481	-46	435	-78	358
S3	σ_s (tf/m ²)	0	0	29	29	38	67
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	104	20	124	26	150
	σ_i (tf/m ²)	0	559	-60	499	-81	418
S4	σ_s (tf/m ²)	0	0	33	33	44	77
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	99	22	122	30	152
	σ_i (tf/m ²)	0	563	-69	494	-92	402
S5	σ_s (tf/m ²)	0	0	34	34	46	80
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	112	23	135	31	167
	σ_i (tf/m ²)	0	547	-71	475	-97	379
S6	σ_s (tf/m ²)	0	0	33	33	44	77
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	99	22	122	30	152
	σ_i (tf/m ²)	0	563	-69	494	-92	402
S7	σ_s (tf/m ²)	0	0	29	29	38	67
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	104	20	124	26	150
	σ_i (tf/m ²)	0	559	-60	499	-81	418
S8	σ_s (tf/m ²)	0	0	22	22	37	59
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	167	15	181	25	207
	σ_i (tf/m ²)	0	481	-46	435	-78	358
S9	σ_s (tf/m ²)	0	0	12	12	21	33
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	261	8	269	14	284
	σ_i (tf/m ²)	0	377	-26	351	-44	307
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0	0	0

		perdas	Fase 7	C.M.	Fase 8
S0	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0
S1	σ_s (tf/m ²)	-33	-21	21	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-20	250	14	264
	σ_i (tf/m ²)	-63	288	-44	244
S2	σ_s (tf/m ²)	-26	-4	37	33
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	4	185	25	210
	σ_i (tf/m ²)	-91	344	-78	267
S3	σ_s (tf/m ²)	-22	7	38	45
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	21	145	26	171
	σ_i (tf/m ²)	-116	383	-81	303
S4	σ_s (tf/m ²)	-20	13	44	57
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	27	149	30	179
	σ_i (tf/m ²)	-121	373	-92	281
S5	σ_s (tf/m ²)	-19	15	46	61
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	27	162	31	193
	σ_i (tf/m ²)	-119	357	-97	260
S6	σ_s (tf/m ²)	-20	13	44	57
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	27	149	30	179
	σ_i (tf/m ²)	-121	373	-92	281
S7	σ_s (tf/m ²)	-22	7	38	45
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	21	145	26	171
	σ_i (tf/m ²)	-116	383	-81	303
S8	σ_s (tf/m ²)	-26	-4	37	33
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	4	185	25	210
	σ_i (tf/m ²)	-91	344	-78	267
S9	σ_s (tf/m ²)	-33	-21	21	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	-20	250	14	264
	σ_i (tf/m ²)	-63	288	-44	244
S10	σ_s (tf/m ²)	0	0	0	0
	$\sigma_{s'}$ (tf/m ²)	0	0	0	0
	σ_i (tf/m ²)	0	0	0	0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 453/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do cisalhamento - $t = \infty$

Esforços cortantes característicos

$$V_{k,max} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,max} \quad f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$V_{k,min} = V_{g1,k} + V_{g2,k} + V_{g3,k} + V_{p,k} + V_{q,min} \quad f_{yk} \text{ (MPa)} = 500,0$$

onde: $V_{p,K} = V_p^{prot}$ em tempo $t = \infty$

Seção	$V_{g1,k}$ (tf)	$V_{g2,k}$ (tf)	$V_{g3,k}$ (tf)	$V_{p,k}$ (tf)	$V_{q,max,k}$ (tf)	$V_{q,min,k}$ (tf)	V_k^{max} (tf)	V_k^{min} (tf)
S0	17,20	12,38	8,74	0,00	50,15	0,00	88,46	38,32
S1	12,22	9,90	6,99	-31,28	42,99	-1,40	40,82	-3,57
S2	9,17	7,43	5,24	-27,70	36,25	-4,41	30,38	-10,28
S3	6,11	4,95	3,50	-13,36	23,94	-6,95	25,14	-5,75
S4	3,06	2,48	1,75	-0,44	19,20	-10,71	26,04	-3,87
S5	0,00	0,00	0,00	0,00	14,79	-14,79	14,79	-14,79
S6	-3,06	-2,48	-1,75	0,44	10,71	-19,20	3,87	-26,04
S7	-6,11	-4,95	-3,50	13,36	6,95	-23,94	5,75	-25,14
S8	-9,17	-7,43	-5,24	27,70	4,41	-36,25	10,28	-30,38
S9	-12,22	-9,90	-6,99	31,28	1,40	-42,99	3,57	-40,82
S10	-17,20	-12,38	-8,74	0,00	0,00	-50,15	-38,32	-88,46

Verificação do concreto

$$\phi^{bainha} \text{ (m)} = 0,075$$

$$n_{bainhas \text{ alinhadas na alma}} = 1$$


$$V_{sd} = 1,35 \times V_g + \left\{ \begin{matrix} 1,2 \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \times V_p + 1,5 \times V_q$$

$$V_{rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b_{w,nom} \times d$$

$$\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) (f_{ck} \text{ em MPa})$$

Seção	V_{sd} (tf)	b_w (m)	H (m)	$\Sigma \Phi/2$ (m)	b_w^{nom} (m)	d (m)	V_{rd2} (tf)
S0	126,9	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2
S1	75,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S2	58,9	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S3	43,5	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S4	38,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S5	22,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S6	38,2	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S7	43,5	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S8	58,9	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S9	75,6	0,220	2,230	0,038	0,183	1,784	211,0
S10	126,9	0,700	2,230	0,038	0,700	1,784	809,2

Para todas as seções $V_{rd2} > V_{sd}$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 454/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Parcela do esforço cortante absorvida pelos mecanismos complementares à treliça

$$M_{sdu} = 1,35 \times M_g + 1,5 \times M_q$$

Seção	M _{g1,k}	M _{g2,k}	M _{g3,k}	M _{q máx,k}	M _{q mín,k}	M _{sdu} (tf.m)
S0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
S1	24,02	18,63	13,15	74,97	0,00	187,8
S2	41,90	33,11	23,38	132,20	0,00	331,1
S3	54,67	43,46	30,69	137,34	0,00	379,9
S4	62,34	49,67	35,07	157,33	0,00	434,6
S5	64,89	51,74	36,53	164,43	0,00	453,4
S6	62,34	49,67	35,07	157,33	0,00	434,6
S7	54,67	43,46	30,69	137,34	0,00	379,9
S8	41,90	33,11	23,38	132,20	0,00	331,1
S9	24,02	18,63	13,15	74,97	0,00	187,8
S10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

$$V_c = V_{c0} \times (1 + M_0 / M_{sd,m\acute{a}x}) \leq 2 \times V_{c0}$$

$$M_0 = 0,90 \times (\sigma_p^{prot.} \times W)$$

$$V_{c0} = 0,60 \cdot f_{ctd} \cdot bw \cdot d$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,70 \cdot f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}}$$

com fck em MPa

Seção	$\sigma_p^{prot.}$ (tf/m ²)	W _i (m ³)	M ₀ (tf.m)	1+ Mo/Msd,máx
S0	0	0,747	0,00	1,00
S1	430	0,511	197,59	2,05
S2	593	0,511	272,89	1,82
S3	709	0,511	326,24	1,86
S4	746	0,511	342,92	1,79
S5	744	0,511	342,34	1,76
S6	746	0,511	342,92	1,79
S7	709	0,511	326,24	1,86
S8	593	0,511	272,89	1,82
S9	430	0,511	197,59	2,05
S10	0	0,747	0,00	1,00

Seção	b_w^{nom} (m)	d (m)	Vc0 (tf)	2 * Vc0 (tf)	Vc (tf)
S0	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5
S1	0,183	1,784	34,3	68,5	68,5
S2	0,183	1,784	34,3	68,5	62,5
S3	0,183	1,784	34,3	68,5	63,7
S4	0,183	1,784	34,3	68,5	61,3
S5	0,183	1,784	34,3	68,5	60,1
S6	0,183	1,784	34,3	68,5	61,3
S7	0,183	1,784	34,3	68,5	63,7
S8	0,183	1,784	34,3	68,5	62,5
S9	0,183	1,784	34,3	68,5	68,5
S10	0,700	1,784	131,5	262,9	131,5

Parcela do cortante absorvida pela armadura transversal

Seção	Vsd (tf)	Vc (tf)	V _{swd} (tf)
S0	126,9	131,5	0,00
S1	75,6	68,5	7,10
S2	58,9	62,5	0,00
S3	43,5	63,7	0,00
S4	38,2	61,3	0,00
S5	22,2	60,1	0,00
S6	38,2	61,3	0,00
S7	43,5	63,7	0,00
S8	58,9	62,5	0,00
S9	75,6	68,5	7,10
S10	126,9	131,5	0,00

Cálculo da taxa volumétrica de armadura transversal


$$V_{swd} = V_{sd} - V_{cd}$$

$$A_{sw} / s = V_{swd} / (0,90 \times d \times f_{ywd})$$

$$\rho_{sw} = (A_{sw} / s) \times (1 / b_w) \geq 0,20 \times f_{ctm} / f_{ywk}$$

$$f_{ywk} = f_{yk}$$

Seção	b_w (m)	V _{swd} (tf)	A_{sw}/s (cm ² /m)	ρ_{sw} (cm ² /m ²)	ρ_{sw}^{min} (cm ² /m ²)
S0	0,70	0,0	0,00	0,00	14,04
S1	0,22	7,1	1,02	4,62	14,04
S2	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S3	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S4	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S5	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S6	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S7	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S8	0,22	0,0	0,00	0,00	14,04
S9	0,22	7,1	1,02	4,62	14,04
S10	0,70	0,0	0,00	0,00	14,04

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 456/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\psi_{fad} = 0,50$$

$$\Delta\sigma_{sw} = \sigma_{sw}^{m\acute{a}x} - \sigma_{sw}^{m\acute{i}n} \quad \sigma_{sw}^{m\acute{a}x/m\acute{i}n} = \frac{V_{m\acute{a}x/m\acute{i}n} - V_c/2}{b_w \times d \times \rho_{sw}}$$

$$f.f. = \frac{\Delta\sigma_{sw}}{\Delta f_{sd}^{fad}} \quad \Delta f_{sd}^{fad} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 850$$

Seção	V _{máx} (tf)	V _{mín} (tf)	V _c /2 (tf)	$\sigma_{sw}^{m\acute{a}x}$ (tf/cm ²)	$\sigma_{sw}^{m\acute{i}n}$ (tf/cm ²)	$\Delta\sigma_{sw}$ (tf/cm ²)	f.f.	ρ_{sw} (cm ² /m ²)
S0	63,39	38,32	65,7	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S1	19,33	-2,87	34,3	0,00	0,00	0,00	1,00	4,62
S2	12,26	-8,07	31,3	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S3	13,17	-2,28	31,9	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S4	16,44	1,49	30,7	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S5	7,39	-7,39	30,1	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S6	-1,49	-16,44	30,7	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S7	2,28	-13,17	31,9	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S8	8,07	-12,26	31,3	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04
S9	2,87	-19,33	34,3	0,00	0,00	0,00	1,00	4,62
S10	-38,32	-63,39	65,7	0,00	0,00	0,00	1,00	14,04

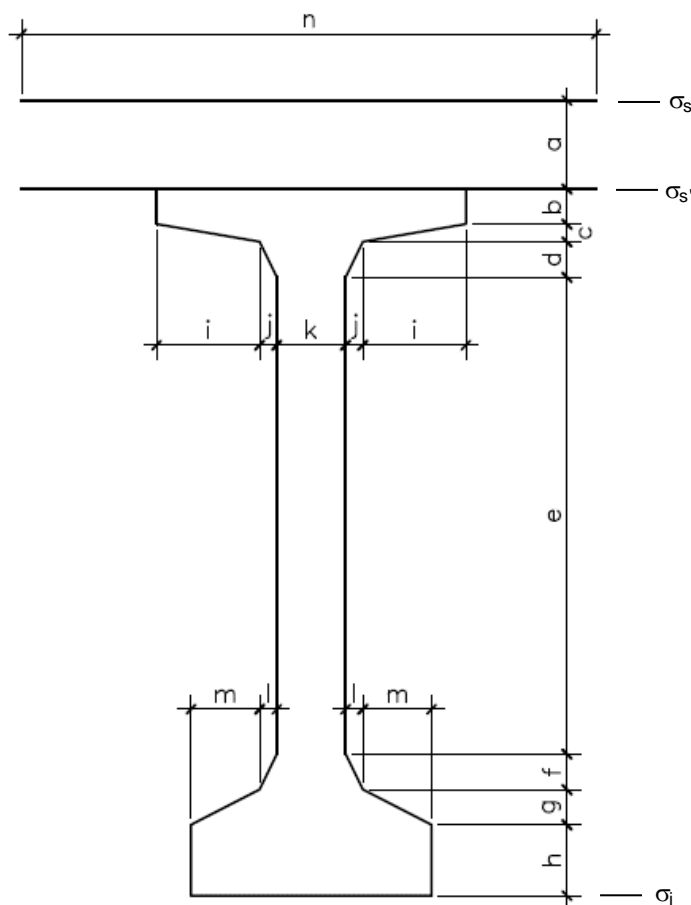
Determinação dos estribos e seus espaçamentos

$$s = (n \times A_s^{1\text{perna}}) / (\rho_{sw} \times ff \times b_w^{medio})$$

Seção	b _w (m)	ρ_{wu} (cm ² /m ²)	ρ_{wu} (Méd/Mín)	n	Φ (mm)	A _s ^{1perna}	S _{calculado} (cm)	S _{adotado} (cm)
S0	0,70	14,04						
			14,04	2	10,0	0,79	24,3	22,5
S1	0,22	4,62						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S2	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S3	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S4	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S5	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S6	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S7	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S8	0,22	14,04						
			14,04	2	8,0	0,50	32,6	30,0
S9	0,22	4,62						
			14,04	2	10,0	0,79	24,3	22,5
S10	0,70	14,04						

Verificação do Estado Limite Último (Verificação à ruptura)

Seção S₅



$b_f = n \text{ (m)} = 2,575$
 $h_{laje} = a \text{ (m)} = 0,230$
 $b \text{ (m)} = 0,050$
 $c \text{ (m)} = 0,050$
 $d \text{ (m)} = 0,100$
 $e \text{ (m)} = 1,400$
 $f \text{ (m)} = 0,200$
 $g \text{ (m)} = 0,100$
 $h \text{ (m)} = 0,100$
 $i \text{ (m)} = 0,000$
 $j \text{ (m)} = 0,490$
 $b_w = k \text{ (m)} = 0,220$

$H_{total} \text{ (m)} = 2,000$

Materiais:

Concreto laje $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$

$E_{cs, laje} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

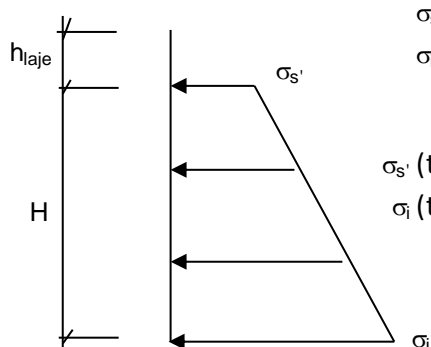
Concreto viga $f_{ck} \text{ (MPa)} = 40,0$

$E_{cs, viga} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 318.758$

Aço: CP-190 RB

$E_{sp} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2.000.000$

Tensões de peso próprio + protensão em $t = \infty$



$\sigma_{s'} = \sigma_{s'}$ da seção S₅ (Fase 7)

$\sigma_i = \sigma_i$ da seção S₅ (Fase 7)

$\sigma_{s'} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 161,8$

$\sigma_i \text{ (tf/m}^2\text{)} = 356,7$

Tensões no aço de protensão após as perdas ($t = \infty$)

	$\sigma_{sp}^{t=\infty}$ (kgf/cm ²)
C1	10.629
C2	10.401
C3	10.284
C4	0
C5	0
C6	0
C7	0
C8	0
C9	0

Solicitações atuantes na seção S₅

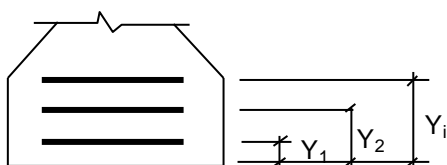
$$M_{g1} \text{ (tf.m)} = 64,9$$

$$M_q \text{ (tf.m)} = 164,4$$

$$M_{g2} \text{ (tf.m)} = 51,7$$

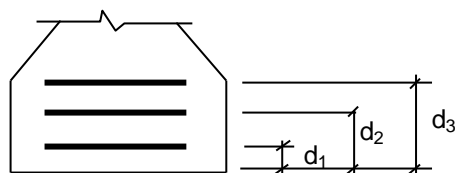
$$M_{g3} \text{ (tf.m)} = 36,5$$

Cálculo do C.G. da armadura de protensão



	y (m)
C1	0,270
C2	0,120
C3	0,120
C4	
C5	
C6	
C7	
C8	
C9	

Cálculo do C.G. da armadura passiva complementar



1ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 6$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_1 \text{ (m)} = 0,060$$

$$\text{C.G. (cm)} = 0,060$$

2ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

$$d_2 \text{ (m)} = 0,100$$

3ª camada:

$$n^{\circ} \text{ barras} = 0$$

$$\varnothing_{\text{barras}} \text{ (mm)} = 13$$

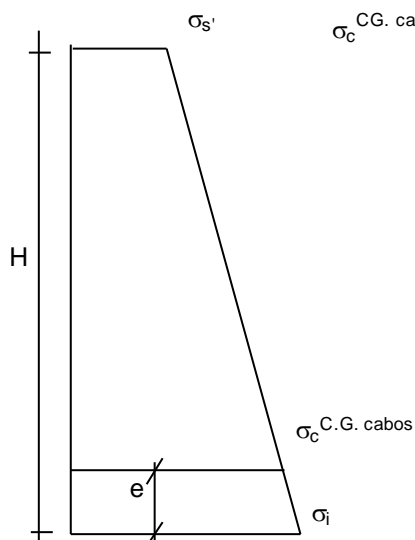
$$d_3 \text{ (m)} = 0,150$$

Cálculo do pré-alongamento da armadura

$$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}} = \sigma_{sp}^{t=00} / E_{sp}$$

	$\epsilon_{sp}^{\text{pré-along.}}$
C1	0,0053
C2	0,0052
C3	0,0051
C4	0,0000
C5	0,0000
C6	0,0000
C7	0,0000
C8	0,0000
C9	0,0000

Cálculo da deformação específica devida a descompressão do concreto



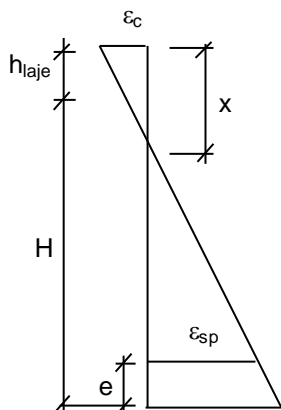
$$\sigma_c^{\text{CG. cabos}} = [(H - e) * (\sigma_i - \sigma_s') / H] + \sigma_s'$$

$$\epsilon_{sp}^{\text{descomp.}} = \sigma_c^{\text{C.G. cabos}} / E_{cs}$$

	y (m)	σ_c (tf/m ²)	$\epsilon_{sp}^{\text{descomp}}$
C1	0,270	330,4	0,00010
C2	0,120	345,0	0,00011
C3	0,120	345,0	0,00011
C4	0,000	0,0	0,00000
C5	0,000	0,0	0,00000
C6	0,000	0,0	0,00000
C7	0,000	0,0	0,00000
C8	0,000	0,0	0,00000
C9	0,000	0,0	0,00000

Equilíbrio da seção:

Deformada admitida para a seção S₅



$$\epsilon_c (\text{‰}) = 0,793$$

$$\epsilon_{sp} (\text{‰}) = 10,000$$

$$x = [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sp})] * [H - e + h_{laje}]$$

$$x \text{ (m)} = 0,155$$

Cálculo da resultante de compressão

Lamela	y_{1i} (m)	y_{2i} (m)	B1 (m)	B2 (m)	ε_{ci} (‰)	σ_{cd} (tf/m ²)	F_i (tf)
1	0,000	0,031	2,575	2,575	0,71	1424	113,7
2	0,031	0,062	2,575	2,575	0,56	1161	92,7
3	0,062	0,093	2,575	2,575	0,40	867	69,3
4	0,093	0,124	2,575	2,575	0,24	543	43,4
5	0,124	0,155	2,575	2,575	0,08	189	15,1
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0	0,0

$$R_{cc} \text{ (tf)} = 334,1$$

$$C.G._{cc} \text{ (m)} = 0,055$$

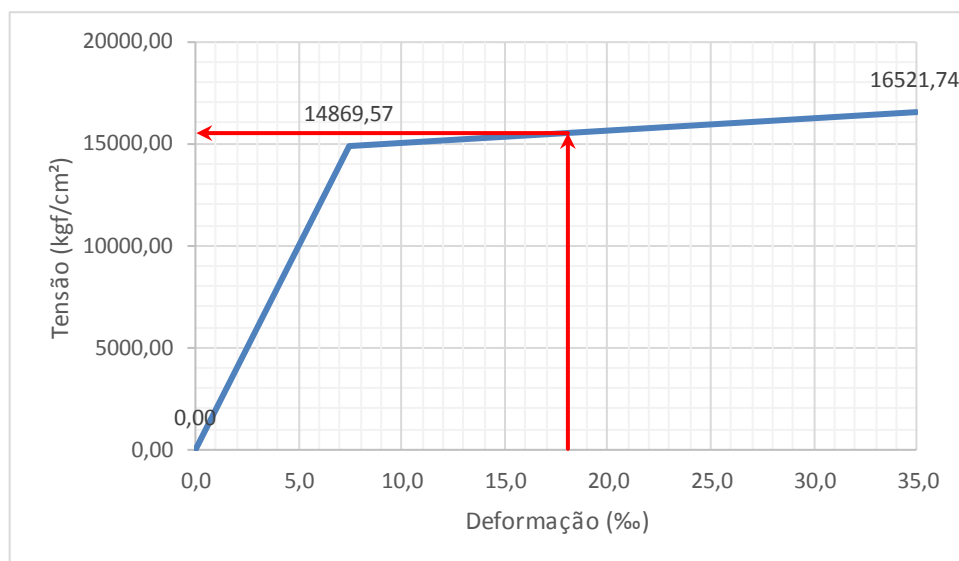
Cálculo da resultante de tração

$$\epsilon_{sp}^{total} = \epsilon_{sp}^{pré-along.} + \epsilon_{sp}^{descomp.} + \epsilon_{sp}$$

	y (m)	ϵ_{sp} (‰)	ϵ_{sp}^{total} (‰)
C1	0,270	12,64	18,061
C2	0,120	10,00	15,309
C3	0,120	10,00	15,250
C4	0,000	0,00	0,000
C5	0,000	0,00	0,000
C6	0,000	0,00	0,000
C7	0,000	0,00	0,000
C8	0,000	0,00	0,000
C9	0,000	0,00	0,000

Do diagrama tensão-deformação preconizado na NBR 6118, tem-se

$$f_{pyd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 14.869,6 \quad f_{ptd} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 16.521,7$$



$$R_{st,CP} = A_{sp} \times \sigma_{sp}$$

	σ_{sp} (kgf/cm ²)	A_{sp} (cm ²)	$R_{st,CP-190}$ (tf)
C1	15.506	8,40	130,25
C2	15.342	5,60	85,91
C3	15.338	5,60	85,89
C4	0	0,00	0,00
C5	0	0,00	0,00
C6	0	0,00	0,00
C7	0	0,00	0,00
C8	0	0,00	0,00
C9	0	0,00	0,00
$R_{st,CP}$ (tf) =			302,06

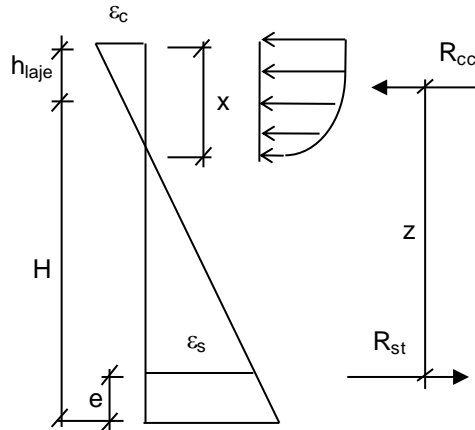
$$A_s^{CA-50} (cm^2) = 7,363$$

$$R_{st,CA-50} = A_s^{CA-50} \times \sigma_s$$

$$R_{st,CA-50} (tf) = 32,0$$

$$R_{st} = R_{st,CP} + R_{st,CA-50}$$

$$R_{st} (tf) = 334,1$$



	z (m)
C1	1,905
C2	2,055
C3	2,055
C4	0,000
C5	0,000
C6	0,000
C7	0,000
C8	0,000
C9	0,000
CA-50	2,115

$$z = H + h_{laje} - C.G._{cc} - e$$

$$M_i = R_{st,i} * z_i$$

$$z = \sum M_i / R_{st}$$

$$z (m) = 2,003$$

Assim temos:

$$M_u = R_{st} * z \quad M_u (tf.m) = 669$$

$$M_d = 1,35 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + 1,5 * (M_q) + \Delta F_{sd} * z$$

$$\Delta F_{sd} (tf) = 0,00$$

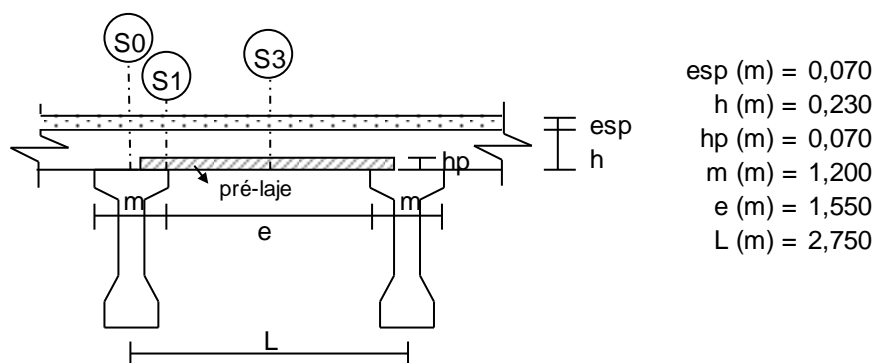
$$M_d (tf.m) = 453$$

$$\text{Então: } M_u / M_d = 1,48 > 1,00 \text{ (Atende)}$$

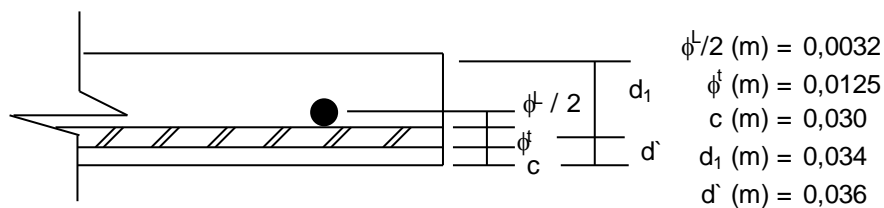
6. MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS LAJES

6.1 LAJES PARA OS VÃOS COM INTEREIXO DE VIGAS DE 2,75m

Forma da Laje

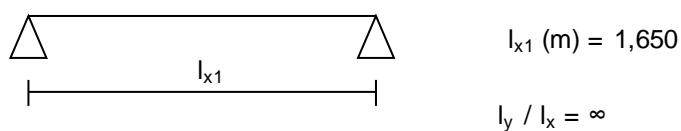


Pré-Laje

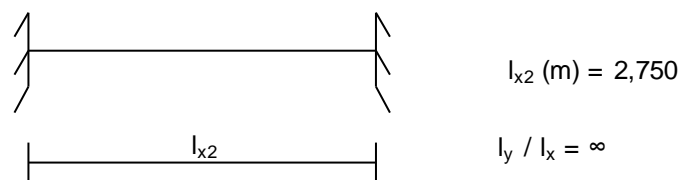


Esquema Estrutural

1) Sistema estrutural referente ao calculo dos esforços do peso próprio da laje



2) Sistema estrutural referente ao calculo dos esforços da sobrecarga e carga móvel



Cálculo das Cargas Permanentes

$$\gamma_{\text{conc}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,50$$

$$\gamma_{\text{pavim}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

peso próprio da laje

$$g_1 = h \times \gamma_{\text{conc}}$$

$$g_1 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,575$$

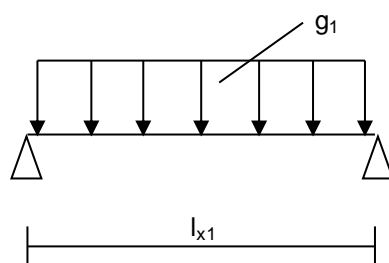
pavimentação

$$g_2 = e \times \gamma_{\text{pavim}}$$

$$g_2 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,168$$

Esforços Devidos à Carga Permanente

1) Peso próprio da laje



$$l_{x1} \text{ (m)} = 1,650$$

$$g_1 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,575$$

$$M_{S3} = g_1 \times (l_{x1})^2 / 8$$

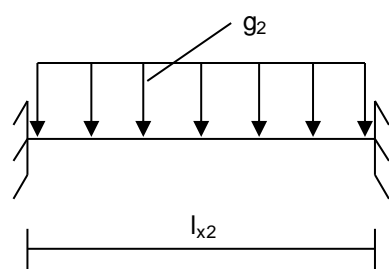
$$M_{S3} \text{ (tf.m/m)} = 0,196$$

Da tabela nº 1 de Rüsch, tem-se:

$$M_{ym} = 0,0208 \times g_1 \times (l_{x1})^2$$

$$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 0,033$$

2) Sobrecarga permanente



$$l_{x2} \text{ (m)} = 2,750$$

$$g_2 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,168$$

$$M_{S0} = M_{xe} = -g_2 \times (l_{x2})^2 / 12$$

$$M_{S0} \text{ (tf.m/m)} = -0,1059$$

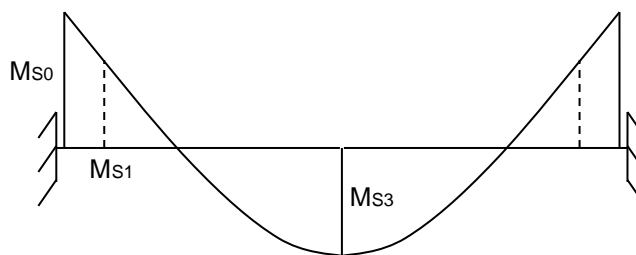
$$M_{S3} = M_{xm} = g_2 \times (l_{x2})^2 / 24$$

$$M_{S3} \text{ (tf.m/m)} = 0,0529$$

Da tabela NR-27 de Rüsch, tem-se:

$$M_{ym} = 0,0069 \times g_2 \times (l_{x2})^2$$

$$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 0,0088$$



$$M_{S1} = M_{S0} + (g_2 * l_{x2}^2 / 2) * [(m / 2) * (l_{x2} - m / 2) / l_{x2}^2]$$

$$M_{S1} \text{ (tf.m/m)} = 0,0025$$

Cargas Móveis

Trem-tipo - TB 450KN
Coeficiente de impacto - NBR 7187

$$CIV \times CIA = 1,688$$

$$M = \phi \times [P \times K1 + p \times (K2 + K3)]$$

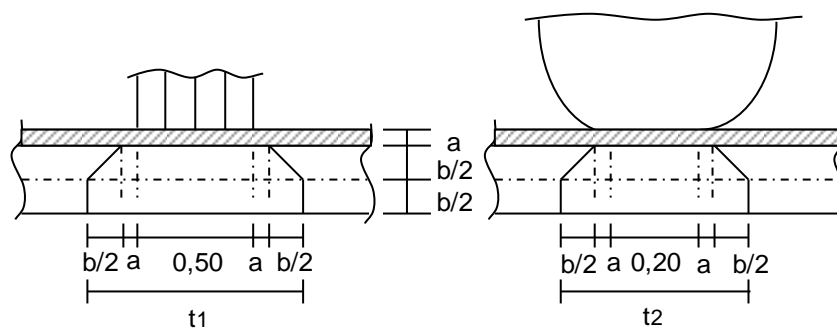
$$P \text{ (tf)} = 7,50$$

$$p \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,50$$

Parâmetros de entrada na Tabela nº 27 de Rüsch:

$$\begin{cases} l_{x2} / a \\ t / a \end{cases} \quad a \text{ (m)} = 2,00 \quad (\text{entre eixos do veículo tipo})$$

Cálculo de t



$$t_1 \text{ (m)} = 0,870$$

$$t_2 \text{ (m)} = 0,570$$

$$t = (t_1 \times t_2)^{0,50}$$

$$t \text{ (m)} = 0,704$$

logo:

$$l_{x2} / a = 1,375$$

$$t / a = 0,352$$

Da tabela NR-27 de Rüsch, temos:

$$\begin{cases} M_{xm} = \varphi \times [P \times K_1 + p \times (K_2 + K_3)] \\ M_{ym} = \varphi \times [P \times K_4 + p \times (K_5 + K_6)] \\ M_{xe} = - \varphi \times [P \times K_7 + p \times (K_8 + K_9)] \end{cases}$$

Cálculo dos coeficientes da tabela:

Para M_{xm} :

	K1		
	t/a		
lx2/a	0,250	0,352	0,500
1,000	0,129	0,108	0,078
1,375		0,176	
1,500	0,216	0,199	0,175

	K2	K3
lx2/a	p	p'
1,000	0,000	0,000
1,375	0,000	0,038
1,500	0,000	0,050

$$K_1 = 0,176$$

$$K_2 = 0,000$$

$$K_3 = 0,038$$

$$M_{xm} \text{ (tf.m/m)} = 2,265$$

Para M_{ym} :

	K4		
	t/a		
lx2/a	0,250	0,352	0,500
1,000	0,091	0,075	0,051
1,375		0,103	
1,500	0,135	0,113	0,080

	K5	K6
lx2/a	p	p'
1,000	0,000	0,010
1,375	0,000	0,025
1,500	0,000	0,030

$$K_4 = 0,103$$

$$K_5 = 0,000$$

$$K_6 = 0,025$$

$$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 1,326$$

Para M_{xe} :

	K7		
	t/a		
l_{x2}/a	0,250	0,352	0,500
1,000	0,260	0,227	0,180
1,375		0,338	
1,500	0,400	0,375	0,340

	K8	K9
l_{x2}/a	p	p'
1,000	0,000	0,280
1,375	0,000	0,333
1,500	0,000	0,350

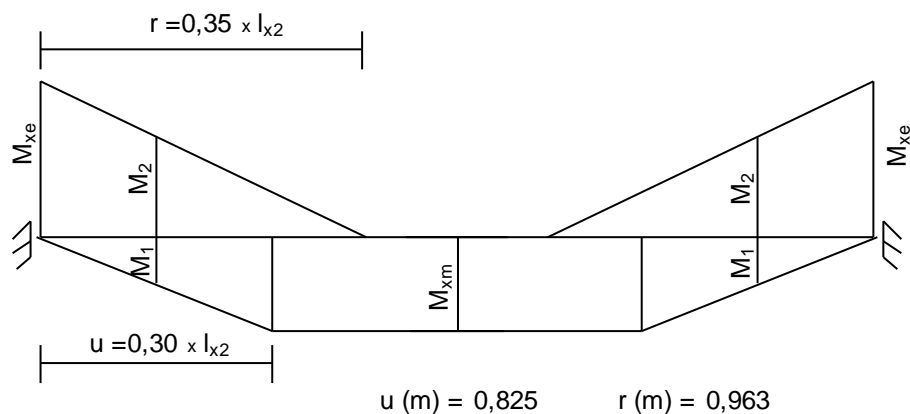
$$K7 = 0,338$$

$$K8 = 0,000$$

$$K9 = 0,333$$

$$M_{xe} \text{ (tf.m/m)} = -4,564$$

Envoltória de Momentos



$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = 1,647$$

$$M_2 \text{ (tf.m/m)} = -1,719$$

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\begin{aligned} \psi_1 &= 0,80 && \text{(para verificação de lajes)} \\ f_{yk} \text{ (MPa)} &= 500 && \text{(Aço CA-50)} \\ \Delta f_{sd,fad} \text{ (MPa)} &= 190 && \text{(para } \phi < 16,0 \text{ mm)} \end{aligned}$$

Seção	M_g (tf.m/m)	M_p (tf.m/m)	ΔM_p (tf.m/m)	d (m)	$\Delta \sigma$ (tf/cm ²)	fator fadiga
S0-	-0,1059	-4,564	4,564	0,395	2,583	1,359
S0+	-0,1059	0,000	0,000	0,395	-	-
S1-	0,0025	-1,719	1,719	0,195	2,626	1,382
S1+	0,0025	1,647	1,647	0,195	2,620	1,379
S3-	0,2486	0,000	0,000	0,195	-	-
S3+	0,2486	2,265	2,265	0,195	2,368	1,246
Mym	0,0413	1,326	1,326	0,155	2,540	1,337

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta M}{A_{s\text{ calc}} \times 0,87 \times d}$$

O cálculo da armadura está demonstrado adiante.

Envoltória de Momentos Para Dimensionamento à Flexão

$$M_d = \begin{Bmatrix} 1,35 \\ 1,00 \end{Bmatrix} \times M_g + \begin{Bmatrix} 1,50 \\ 0,00 \end{Bmatrix} \times M_p$$

Seção	M _g (tf.m/m)	M _p ^{máx} (tf.m/m)	M _p ^{mín} (tf.m/m)	M _d ⁺ (tf.m/m)	M _d ⁻ (tf.m/m)
S0	-0,1059	0,000	-4,564	0,000	-6,989
S1	0,0025	1,647	-1,719	2,475	-2,575
S3	0,2486	2,265	0,000	3,734	0,000
Mym	0,0413	1,326	-	2,044	-

Dimensionamento à Flexão

Concreto: f_{ck} (MPa) = 35

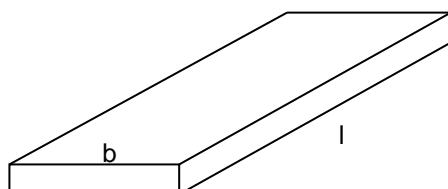
Aço: f_{yk} (MPa) = 500

k_{md} = M_d / (b × d² × f_{cd})

A_s = M_d / (k_z × d × f_{yd})

Seção	M _d (tf.m/m)	d (m)	k _{md}	k _z	A _s (cm ² /m)	A _s × f.f. (cm ² /m)
S0-	-6,989	0,395	0,018	0,989	4,11	5,59
S0+	0,000	0,395	0,000	1,000	0,00	0,00
S1-	-2,575	0,195	0,027	0,984	3,09	4,27
S1+	2,475	0,195	0,026	0,984	2,96	4,09
S3-	0,000	0,195	0,000	1,000	0,00	0,00
S3+	3,734	0,195	0,039	0,976	4,51	5,62
Mym	2,044	0,155	0,034	0,980	3,10	4,14

Verificação da Lajota Pré-Moldada



n = número de barras
φ = diâmetro das barras

n = 4
φ (mm) = 12,5
f_{yk} (MPa) = 500

A_s = n × π × φ² / 4

A_s (cm²) = 4,91

A_s (cm²/m) = 9,82

l (m) = 1,69

b (m) = 0,50

Peso próprio da laje

$$g_1 = h \times \gamma_{conc}$$

$$g_1 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,575$$

$$q_{g1} = b \times g_1$$

$$q_{g1} \text{ (tf/m)} = 0,288$$

$$M_{s3_g1} = [q_{g1} \times (l)^2] / 8$$

$$M_{s3_g1} \text{ (tf.m)} = 0,103$$

$$\sigma_{s_g1} = M_{s3_g1} / (0,87 \times d_1 \times A_s)$$

$$\sigma_{s_g1} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 712$$

Pavimentação

$$g_2 = e \times \gamma_{pavim}$$

$$g_2 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,168$$

$$q_{g2} = b \times g_2$$

$$q_{g2} \text{ (tf/m)} = 0,084$$

$$M_{s3_g2} = [q_{g2} \times (l_{x2})^2] / 24$$

$$M_{s3_g2} \text{ (tf.m)} = 0,026$$

$$\sigma_{s_g2} = M_{s3_g2} / [0,87 \times (h - d') \times A_s]$$

$$\sigma_{s_g2} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 32$$

Carga móvel

$$M_{s3_p} = M_{xm} \times b$$

$$M_{xm} \text{ (tf.m/m)} = 2,265$$

$$M_{s3_p} \text{ (tf.m)} = 1,133$$

$$\sigma_{s_p} = M_{s3_p} / [0,87 \times (h - d') \times A_s]$$

$$\sigma_{s_p} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 1369$$

$$1369 \leq 1900 \text{ kgf/cm}^2$$

Tensão admissível

$$\sigma_{adm} = f_{yd} / (\gamma_c \times \gamma_{aço})$$

$$\gamma_{aço} = 1,15$$

$$\sigma_{adm} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 3106$$


$$\gamma_c = 1,40$$

Tensão total

$$\sigma_{s_total} = \sigma_{s_g1} + \sigma_{s_g2} + \sigma_{s_p}$$

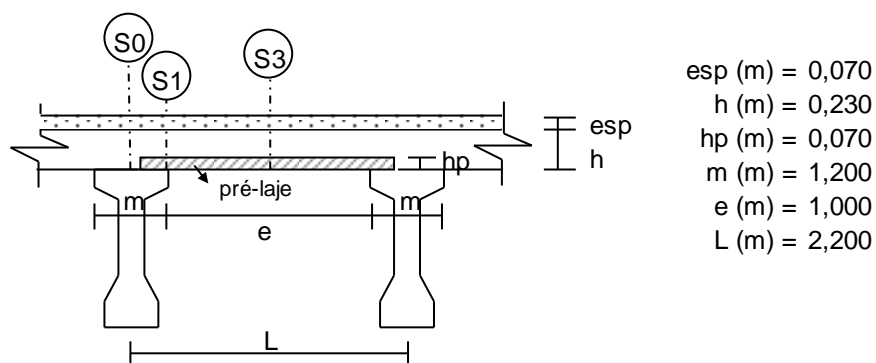
$$\sigma_{s_total} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 2113$$

$$\sigma_{s_total} \leq \sigma_{adm}$$

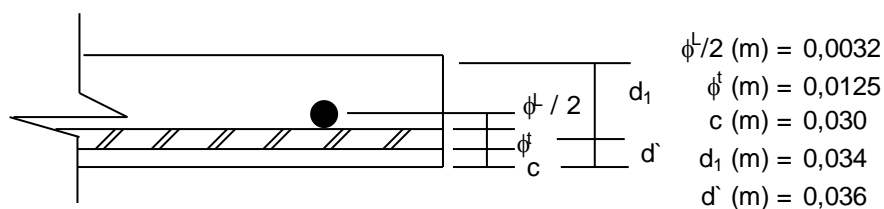
	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-iv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 470/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

6.2 LAJES PARA OS VÃOS COM INTEREIXO DE VIGAS DE 2,20m

Forma da Laje

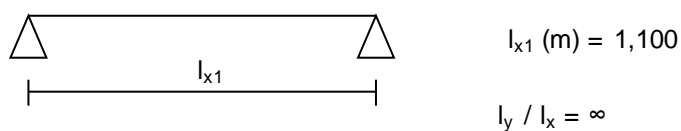


Pré-Laje

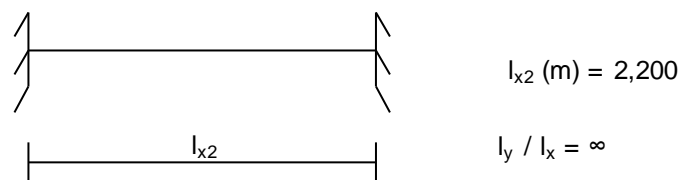


Esquema Estrutural

- 1) Sistema estrutural referente ao calculo dos esforços do peso próprio da laje



- 2) Sistema estrutural referente ao calculo dos esforços da sobrecarga e carga móvel



Cálculo das Cargas Permanentes

$$\gamma_{\text{conc}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,50$$

$$\gamma_{\text{pavim}} \text{ (tf/m}^3\text{)} = 2,40$$

peso próprio da laje

$$g_1 = h \times \gamma_{\text{conc}}$$

$$g_1 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,575$$

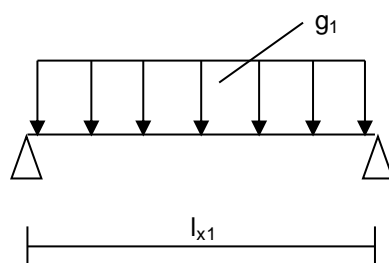
pavimentação

$$g_2 = e \times \gamma_{\text{pavim}}$$

$$g_2 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,168$$

Esforços Devidos à Carga Permanente

1) Peso próprio da laje



$$l_{x1} \text{ (m)} = 1,100$$

$$g_1 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,575$$

$$M_{S3} = g_1 \times (l_{x1})^2 / 8$$

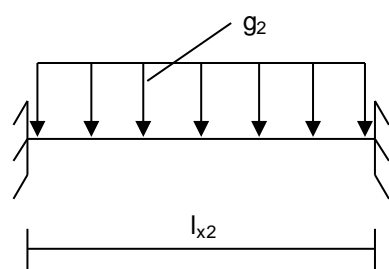
$$M_{S3} \text{ (tf.m/m)} = 0,087$$

Da tabela nº 1 de Rüsch, tem-se:

$$M_{ym} = 0,0208 \times g_1 \times (l_{x1})^2$$

$$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 0,014$$

2) Sobrecarga permanente



$$l_{x2} \text{ (m)} = 2,200$$

$$g_2 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,168$$

$$M_{S0} = M_{xe} = -g_2 \times (l_{x2})^2 / 12$$

$$M_{S0} \text{ (tf.m/m)} = -0,0678$$

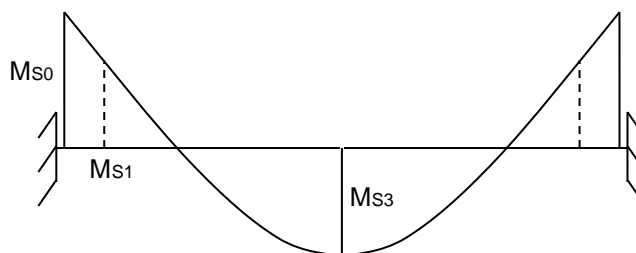
$$M_{S3} = M_{xm} = g_2 \times (l_{x2})^2 / 24$$

$$M_{S3} \text{ (tf.m/m)} = 0,0339$$

Da tabela NR-27 de Rüsch, tem-se:

$$M_{ym} = 0,0069 \times g_2 \times (l_{x2})^2$$

$$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 0,0056$$



$$M_{S1} = M_{S0} + (g_2 * l_{x2}^2 / 2) * [(m / 2) * (l_{x2} - m / 2) / l_{x2}^2]$$

$$M_{S1} \text{ (tf.m/m)} = 0,0129$$

Cargas Móveis

Trem-tipo - TB 450KN
Coeficiente de impacto - NBR 7187

$$CIV \times CIA = 1,688$$

$$M = \phi \times [P \times K1 + p \times (K2 + K3)]$$

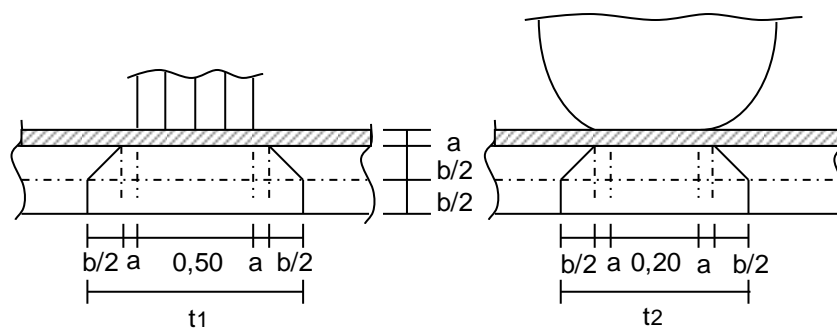
$$P \text{ (tf)} = 7,50$$

$$p \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,50$$

Parâmetros de entrada na Tabela nº 27 de Rüsch:

$$\begin{cases} l_{x2} / a \\ t / a \end{cases} \quad a \text{ (m)} = 2,00 \quad (\text{entre eixos do veículo tipo})$$

Cálculo de t



$$t1 \text{ (m)} = 0,870$$

$$t2 \text{ (m)} = 0,570$$

$$t = (t1 \times t2)^{0,50}$$

$$t \text{ (m)} = 0,704$$

logo:

$$l_{x2} / a = 1,100$$

$$t / a = 0,352$$

Da tabela NR-27 de Rüsch, temos:

$$\begin{cases} M_{xm} = \varphi \times [P \times K1 + p \times (K2 + K3)] \\ M_{ym} = \varphi \times [P \times K4 + p \times (K5 + K6)] \\ M_{xe} = - \varphi \times [P \times K7 + p \times (K8 + K9)] \end{cases}$$

Cálculo dos coeficientes da tabela:

Para M_{xm} :

	K1		
	t/a		
lx2/a	0,250	0,352	0,500
1,000	0,129	0,108	0,078
1,100		0,126	
1,500	0,216	0,199	0,175

	K2	K3
	p	p'
lx2/a		
1,000	0,000	0,000
1,100	0,000	0,010
1,500	0,000	0,050

$$K1 = 0,126$$

$$K2 = 0,000$$

$$K3 = 0,010$$

$$M_{xm} \text{ (tf.m/m)} = 1,608$$

Para M_{ym} :

	K4		
	t/a		
lx2/a	0,250	0,352	0,500
1,000	0,091	0,075	0,051
1,100		0,082	
1,500	0,135	0,113	0,080

	K5	K6
	p	p'
lx2/a		
1,000	0,000	0,010
1,100	0,000	0,014
1,500	0,000	0,030

$$K4 = 0,082$$

$$K5 = 0,000$$

$$K6 = 0,014$$

$$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 1,053$$

Para M_{xe} :

	K7		
	t/a		
lx2/a	0,250	0,352	0,500
1,000	0,260	0,227	0,180
1,100		0,257	
1,500	0,400	0,375	0,340

	K8	K9
	p	p'
lx2/a		
1,000	0,000	0,280
1,100	0,000	0,294
1,500	0,000	0,350

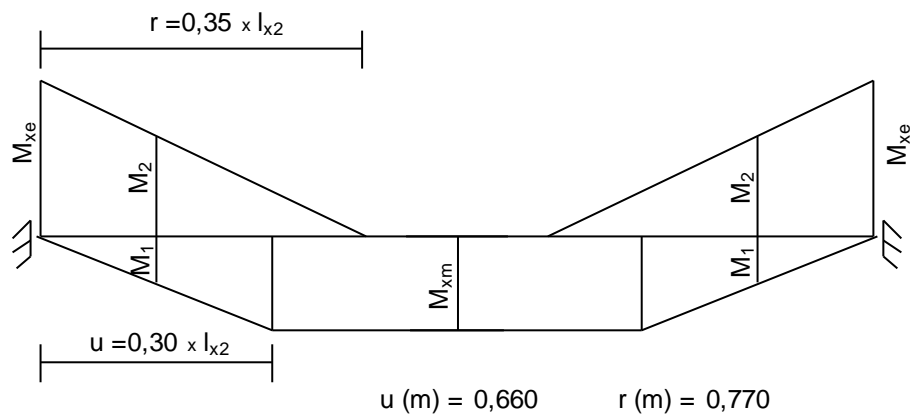
$$K7 = 0,257$$

$$K8 = 0,000$$

$$K9 = 0,294$$

$$M_{xe} \text{ (tf.m/m)} = -3,500$$

Envoltória de Momentos



$$M_1 \text{ (tf.m/m)} = 1,462$$

$$M_2 \text{ (tf.m/m)} = -0,773$$

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\begin{aligned} \psi_1 &= 0,80 && \text{(para verificação de lajes)} \\ f_{yk} \text{ (MPa)} &= 500 && \text{(Aço CA-50)} \\ \Delta f_{sd,fad} \text{ (MPa)} &= 190 && \text{(para } \phi < 16,0 \text{ mm)} \end{aligned}$$

Seção	M_g (tf.m/m)	M_p (tf.m/m)	ΔM_p (tf.m/m)	d (m)	$\Delta \sigma$ (tf/cm ²)	fator fadiga
S0-	-0,0678	-3,500	3,500	0,395	2,598	1,368
S0+	-0,0678	0,000	0,000	0,395	-	-
S1-	0,0129	-0,773	0,773	0,195	2,687	1,414
S1+	0,0129	1,462	1,462	0,195	2,608	1,372
S3-	0,1208	0,000	0,000	0,195	-	-
S3+	0,1208	1,608	1,608	0,195	2,456	1,293
Mym	0,0201	1,053	1,053	0,155	2,578	1,357

$$\Delta \sigma = \frac{\Delta M}{A_{s \text{ calc}} \times 0,87 \times d}$$

O cálculo da armadura está demonstrado adiante.

Envoltória de Momentos Para Dimensionamento à Flexão

$$M_d = \begin{Bmatrix} 1,35 \\ 1,00 \end{Bmatrix} \times M_g + \begin{Bmatrix} 1,50 \\ 0,00 \end{Bmatrix} \times M_p$$

Seção	M_g (tf.m/m)	$M_p^{máx}$ (tf.m/m)	$M_p^{mín}$ (tf.m/m)	M_d^+ (tf.m/m)	M_d^- (tf.m/m)
S0	-0,0678	0,000	-3,500	0,000	-5,342
S1	0,0129	1,462	-0,773	2,210	-1,142
S3	0,1208	1,608	0,000	2,575	0,000
Mym	0,0201	1,053	-	1,606	-

Dimensionamento à Flexão

Concreto: f_{ck} (MPa) = 35

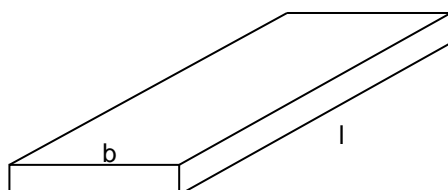
Aço: f_{yk} (MPa) = 500

$k_{md} = M_d / (b \times d^2 \times f_{cd})$

$A_s = M_d / (k_z \times d \times f_{yd})$

Seção	M_d (tf.m/m)	d (m)	k_{md}	k_z	A_s (cm ² /m)	$A_s \times f.f.$ (cm ² /m)
S0-	-5,342	0,395	0,014	0,992	3,14	4,29
S0+	0,000	0,395	0,000	1,000	0,00	0,00
S1-	-1,142	0,195	0,012	0,993	1,36	1,92
S1+	2,210	0,195	0,023	0,986	2,64	3,63
S3-	0,000	0,195	0,000	1,000	0,00	0,00
S3+	2,575	0,195	0,027	0,984	3,09	3,99
Mym	1,606	0,155	0,027	0,984	2,42	3,29

Verificação da Lajota Pré-Moldada



n = número de barras
 ϕ = diâmetro das barras

$n = 4$

ϕ (mm) = 12,5

f_{yk} (MPa) = 500

$A_s = n \times \pi \times \phi^2 / 4$

A_s (cm²) = 4,91

A_s (cm²/m) = 9,82

l (m) = 1,14

b (m) = 0,50

Peso próprio da laje

$g_1 = h \times \gamma_{conc}$

g_1 (tf/m²) = 0,575

$q_{g1} = b \times g_1$


q_{g1} (tf/m) = 0,288

$M_{s3_g1} = [q_{g1} \times (l)^2] / 8$

M_{s3_g1} (tf.m) = 0,047

$\sigma_{s_g1} = M_{s3_g1} / (0,87 \times d_1 \times A_s)$

σ_{s_g1} (kgf/cm²) = 324

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 476/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Pavimentação

$$g_2 = e \times \gamma_{\text{pavim}}$$

$$g_2 \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,168$$

$$q_{g2} = b \times g_2$$

$$q_{g2} \text{ (tf/m)} = 0,084$$

$$M_{s3_g2} = [q_{g2} \times (l_{x2})^2] / 24$$

$$M_{s3_g2} \text{ (tf.m)} = 0,017$$

$$\sigma_{s_g2} = M_{s3_g2} / [0,87 \times (h - d') \times A_s]$$

$$\sigma_{s_g2} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 20$$

Carga móvel

$$M_{s3_p} = M_{xm} \times b$$

$$M_{xm} \text{ (tf.m/m)} = 1,608$$

$$M_{s3_p} \text{ (tf.m)} = 0,804$$

$$\sigma_{s_p} = M_{s3_p} / [0,87 \times (h - d') \times A_s]$$

$$\sigma_{s_p} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 972$$

$$972 \leq 1900 \text{ kgf/cm}^2$$

Tensão admissível

$$\sigma_{adm} = f_{yd} / (\gamma_c \times \gamma_{aço})$$

$$\gamma_{aço} = 1,15$$

$$\sigma_{adm} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 3106$$


$$\gamma_c = 1,40$$

Tensão total

$$\sigma_{s_total} = \sigma_{s_g1} + \sigma_{s_g2} + \sigma_{s_p}$$

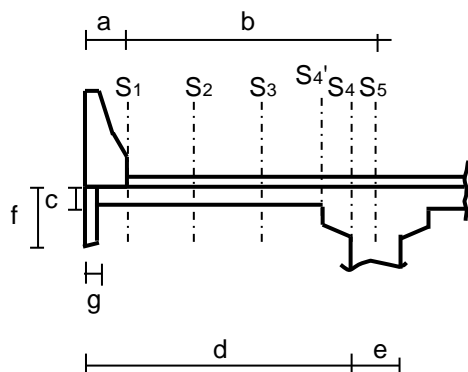
$$\sigma_{s_total} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 1316$$

$$\sigma_{s_total} \leq \sigma_{adm}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 477/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

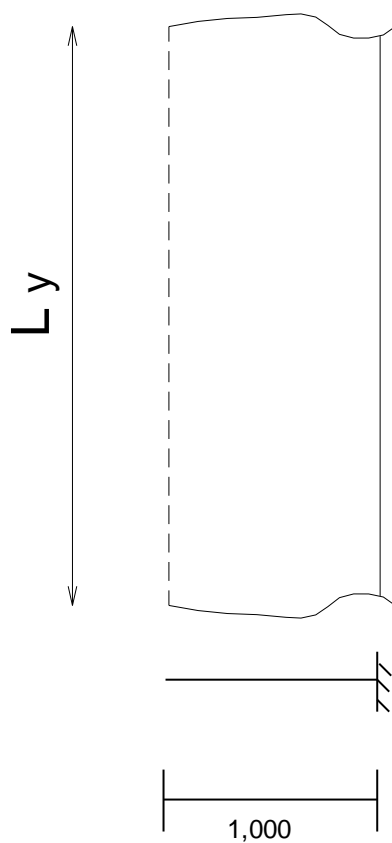
6.3 BALANÇOS DE LAJE DE 1,0m (TRECHO EM TANGENTE)

Seção Transversal

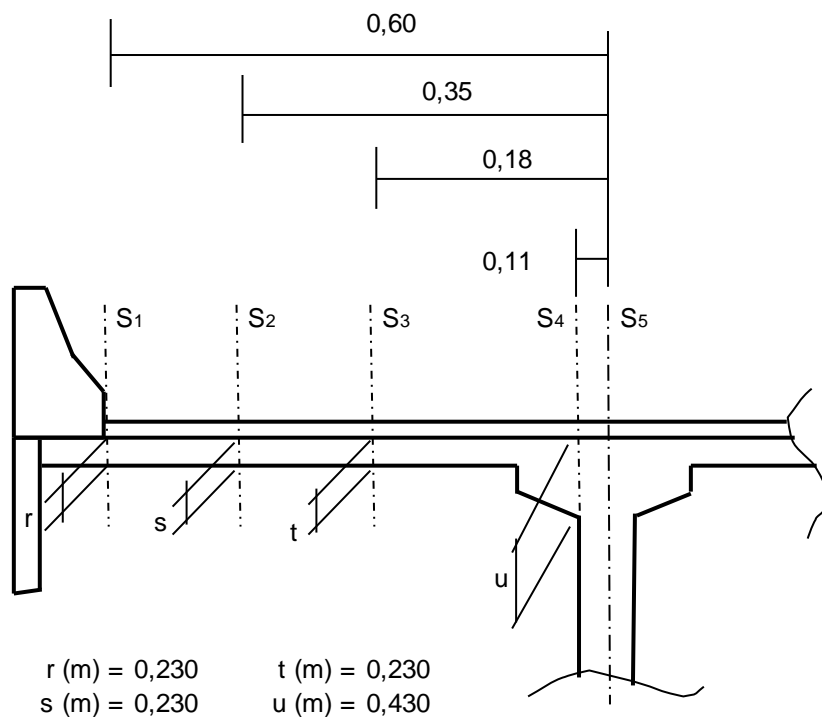


$a \text{ (m)} = 0,400$
 $b \text{ (m)} = 0,600$
 $c \text{ (m)} = 0,230$
 $d \text{ (m)} = 0,890$
 $e \text{ (m)} = 0,220$
 $f \text{ (m)} = 0,280$
 $g \text{ (m)} = 0,200$
 $h_{pav} \text{ (m)} = 0,070$

Esquema Estrutural

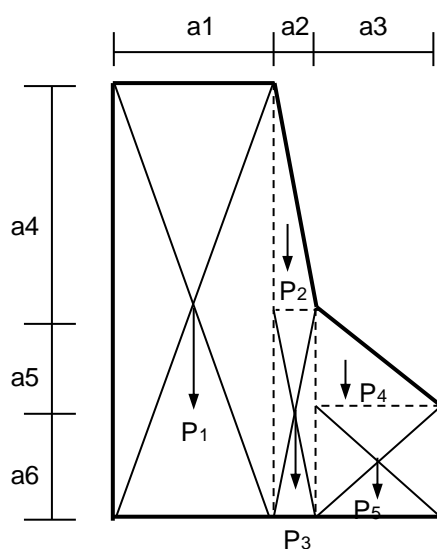


Cálculo dos Momentos no Trecho em Balanço



Cargas Permanentes


a) Peso do guarda-rodas



a ₁ (m) = 0,175	a ₄ (m) = 0,470
a ₂ (m) = 0,050	a ₅ (m) = 0,250
a ₃ (m) = 0,175	a ₆ (m) = 0,150

TRECHO	A (m ²)	x _i (m)	ΣAx _i
1	0,1523	0,0875	0,0133
2	0,0118	0,1917	0,0023
3	0,0200	0,2000	0,0040
4	0,0219	0,2833	0,0062
5	0,0263	0,3125	0,0082
Σ	0,2321	-	0,0340

$$X_{cg} = 0,0340 / 0,2321 = 0,146 \text{ m}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 479/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

peso do guarda rodas $g = 0,2321 \times 2,50 \text{ tf/m}^3 = 0,58 \text{ tf/m}$

peso da pingadeira $g = 0,2800 \times 0,2000 \times 2,50 \text{ tf/m}^3 = 0,14 \text{ tf/m}$

b) Momento devido ao peso da laje (g1) nas diversas seções

Seção	M (tf.m/m)
S1	-0,012
S2	-0,058
S3	-0,112
S4	-0,137
S5	-0,184

c) Momento devido à pavimentação + guarda-rodas + pingadeira (g2) nas diversas seções

Seção	M (tf.m/m)
S1	-0,189
S2	-0,411
S3	-0,567
S4	-0,624
S5	-0,722

d) Momento total devido à carga permanente (g) nas diversas seções

Seção	M_{g1} (tf/m)	M_{g2} (tf/m)	M_g (tf/m)
S1	-0,012	-0,189	-0,201
S2	-0,058	-0,411	-0,469
S3	-0,112	-0,567	-0,679
S4	-0,137	-0,624	-0,761
S5	-0,184	-0,722	-0,906

Carga Móvel

a) Coeficiente de impacto (TB-450 kN)

CIV = 1,35 CIA = 1,25

l é a distancia da roda do veículo tipo ao engaste: $l_x' = 0,350$

Logo o valor do coeficiente de impacto é igual a:

$\varphi = \text{CIV} \times \text{CIA}$

$\varphi = 1,688$

b) Cálculo dos esforços devidos à Carga Móvel

$$M = \varphi \times [P \times K1 + p \times (K2 + K3)]$$

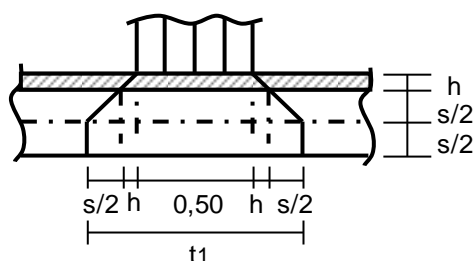
$$P \text{ (tf)} = 7,50$$

$$p \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,50$$

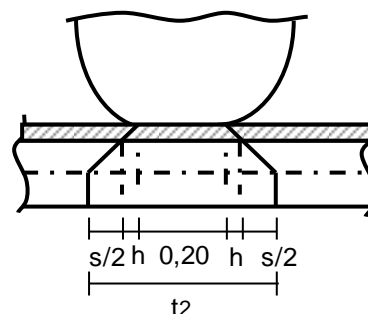
Parâmetros de entrada da Tabela de Rüsch

$$\begin{cases} l_x / a \\ t / a \end{cases} \quad a \text{ (m)} = 2,000 \quad (\text{entre eixos do veículo tipo})$$

Cálculo de t



$$t1 \text{ (m)} = 0,870$$



$$t2 \text{ (m)} = 0,570$$

$$t = (t1 \times t2)^{0,50}$$

$$t \text{ (m)} = 0,704$$

logo:

$$l_x / a = 0,175$$

$$t / a = 0,352$$

Tabela NR-98 de Rüsch :

$$\begin{cases} M_{xe} = - \varphi \times [P \times K1 + p \times (K2 + K3)] \\ M_{yr} = \varphi \times [P \times K4 + p \times (K5 + K6)] \\ M_{xm^+} = \varphi \times [P \times K7 + p \times (K8 + K9)] \\ M_{ym} = \varphi \times [P \times K10 + p \times (K11 + K12)] \\ M_{xm^-} = \varphi \times [P \times K13 + p \times (K14 + K15)] \end{cases}$$

Cálculo dos coeficientes da tabela:

Para M_{xe}:

lx/a	K1		
	t/a		
0,125	0,250	0,352	0,500
0,175	0,100	0,100	0,100
0,250	0,230	0,147	0,200

lx/a	K2	K3
	p	p'
0,125	0,000	0,000
0,175	0,000	0,000
0,250	0,000	0,000

$$K1 = 0,147$$

$$K2 = 0,000$$

$$K3 = 0,000$$

$$M_{xe} \text{ (tf.m/m)} = -1,862$$

Para M_{yr} :

K4			
t/a			
lx/a	0,250	0,352	0,500
0,125	0,100	0,084	0,060
0,175		0,109	
0,250	0,180	0,147	0,100

$$K4 = 0,109$$

K5		K6
lx/a	p	p'
0,125	0,000	0,000
0,175	0,000	0,000
0,250	0,000	0,000

$$K5 = 0,000$$

$$K6 = 0,000$$

$$M_{yr} \text{ (tf.m/m)} = 1,381$$

Para M_{xm+} :

K7			
t/a			
lx/a	0,250	0,352	0,500
0,125	0,013	0,011	0,007
0,175		0,014	
0,250	0,024	0,020	0,015

$$K7 = 0,014$$

K8		K9
lx/a	p	p'
0,125	0,000	0,000
0,175	0,000	0,000
0,250	0,000	0,000

$$K8 = 0,000$$

$$K9 = 0,000$$

$$M_{xm+} \text{ (tf.m/m)} = 0,183$$

Para M_{ym+} :

K10			
t/a			
lx/a	0,250	0,352	0,500
0,125	0,048	0,034	0,014
0,175		0,041	
0,250	0,068	0,051	0,027

$$K10 = 0,041$$

K11		K12
lx/a	p	p'
0,125	0,000	0,000
0,175	0,000	0,000
0,250	0,000	0,000

$$K11 = 0,000$$

$$K12 = 0,000$$

$$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 0,519$$

Para M_{xm-} :

K13			
t/a			
lx/a	0,250	0,352	0,500
0,125	0,043	0,031	0,013
0,175		0,048	
0,250	0,086	0,074	0,056

K14		K15
lx/a	p	p'
0,125	0,000	0,000
0,175	0,000	0,000
0,250	0,000	0,000

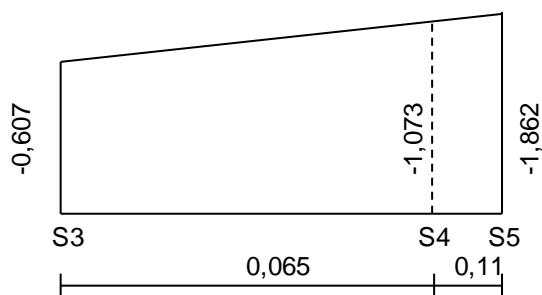
$$K_{13} = 0,048$$

$$K_{14} = 0,000$$

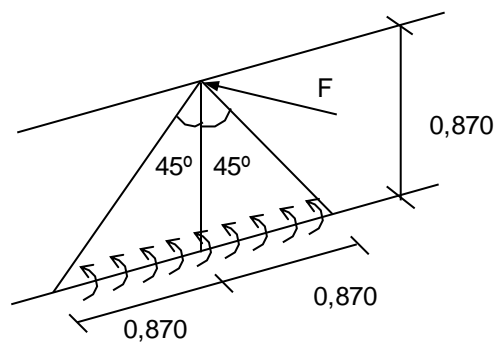
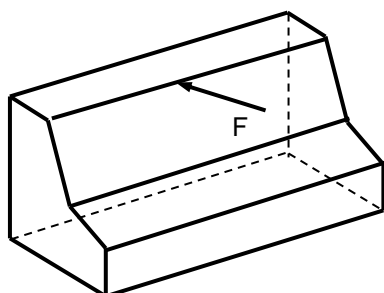
$$K_{15} = 0,000$$

$$M_{xm} \text{ (tf.m/m)} = -0,607$$

Interpolando para a seção S4, obtém-se:



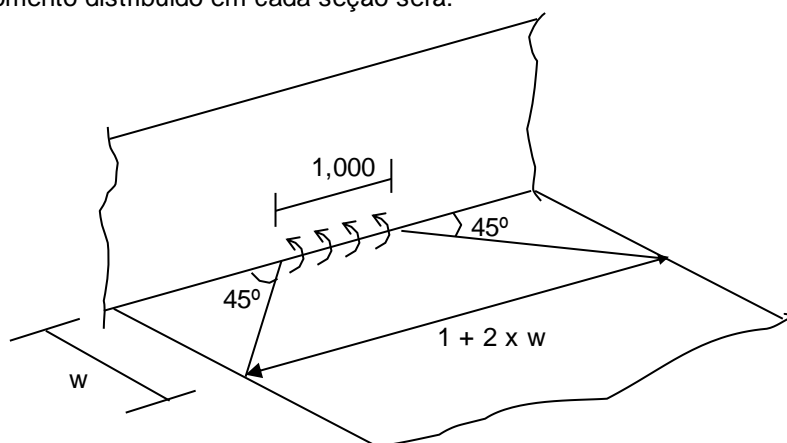
Ação da força horizontal no guarda-rodas



$$F \text{ (tf)} = 10,000$$

$$M_o = - 10,000 \times 0,870 / (2 \times 0,870) = -5,000 \text{ tf.m/m}$$

O momento distribuído em cada seção será:



$$M_{Sw} = M_o / (1 + 2 \times w)$$

$$M_{S2} = -5,000 / (1 + 2 \times 0,250) = -3,333 \text{ tf.m/m}$$

$$M_{S3} = -5,000 / (1 + 2 \times 0,425) = -2,703 \text{ tf.m/m}$$

$$M_{S4} = -5,000 / (1 + 2 \times 0,490) = -2,525 \text{ tf.m/m}$$

$$M_{S5} = -5,000 / (1 + 2 \times 0,600) = -2,273 \text{ tf.m/m}$$

Momentos finais devidos à Carga Móvel

$$M_{pS1} (\text{tf.m/m}) = -5,000$$

$$M_{pS2} (\text{tf.m/m}) = -3,333$$

$$M_{pS3} (\text{tf.m/m}) = -0,607 - 2,703 = -3,310$$

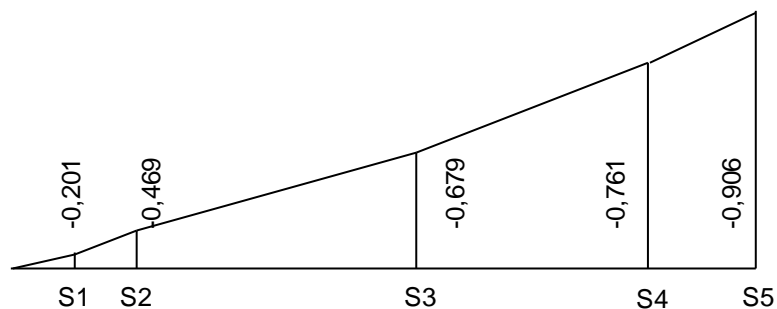
$$0,183 = 0,183$$

$$M_{pS4} (\text{tf.m/m}) = -1,073 - 2,525 = -3,598$$

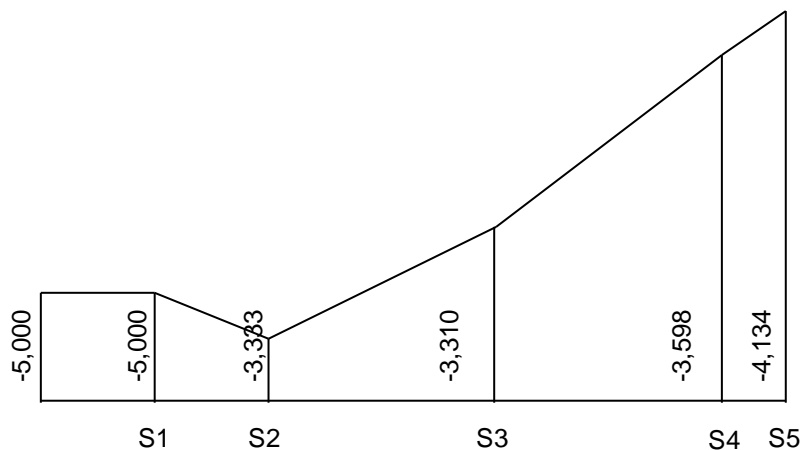
$$M_{pS5} (\text{tf.m/m}) = -1,862 - 2,273 = -4,134$$

Diagramas de Momentos no Trecho em Balanço

a) Carga Permanente



b) Carga Móvel



Dimensionamento da Laje à Flexão Simples

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\begin{aligned}\psi_1 &= 0,80 \quad (\text{para verificação de lajes}) \\ f_{yk} \text{ (MPa)} &= 500 \quad (\text{Aço CA-50}) \\ \Delta f_{sd,fad} \text{ (MPa)} &= 185 \quad (\text{para } \phi < 20,0 \text{ mm})\end{aligned}$$

Seção	Mg (tf.m/m)	Mp_máx (tf.m/m)	Mp_mín (tf.m/m)	Mmáx (tf.m/m)	Mmín (tf.m/m)	fator fadiga
S1	-0,201		-5,000	-0,201	-0,201	1,000
S2	-0,469		-3,333	-0,469	-3,136	1,427
S3	-0,679	0,183	-3,310	-0,533	-3,327	1,410
S4	-0,761		-3,598	-0,761	-3,640	1,328
S5	-0,906		-4,134	-0,906	-4,214	1,318
Myr		1,381		1,105	0,000	1,679
Mym		0,519		0,415	0,000	1,679

$$\begin{aligned}M_{\text{máx}} &= Mg + \psi_1 \times Mp^{\text{máx}} \\ M_{\text{mín}} &= Mg + \psi_1 \times Mp^{\text{mín}}\end{aligned}$$

$$\gamma_{\text{aço}} = 1,15$$

$$\gamma_s = 1,40$$

$$\text{sendo: } |M_1| > |M_2|$$

$$\text{se } M_1 \times M_2 > 0 \quad \longrightarrow \quad f.f = ((|M_1| - |M_2|) / (|M_1|)) \times (f_{yk} / (\Delta f_{sd,fad} \times \gamma_s \times \gamma_{\text{aço}}))$$

$$\text{se } M_1 \times M_2 < 0 \quad \longrightarrow \quad f.f = ((|M_1| + 0,5 \times |M_2|) / (|M_1|)) \times (f_{yk} / (\Delta f_{sd,fad} \times \gamma_s \times \gamma_{\text{aço}}))$$

Envoltória de momentos para dimensionamento à flexão

$$M_d = \left\{ \begin{array}{c} 1,35 \\ 1,00 \end{array} \right\} \times M_g + \left\{ \begin{array}{c} 1,50 \\ 0,00 \end{array} \right\} \times M_p$$

Seção	Mg (tf.m/m)	Mp_max (tf.m/m)	Mp_min (tf.m/m)	Md ⁺ (tf.m/m)	Md ⁻ (tf.m/m)
S1	-0,201	0,000	-5,000	0,000	-7,771
S2	-0,469	0,000	-3,333	0,000	-5,634
S3	-0,679	0,183	-3,310	0,000	-5,881
S4	-0,761	0,000	-3,598	0,000	-6,425
S5	-0,906	0,000	-4,134	0,000	-7,425
Myr	0,000	1,381	0,000	2,072	0,000
Mym	0,000	0,519	0,000	0,778	0,000

Dimensionamento à Flexão

Concreto: f_{ck} (MPa) = 35

Aço: f_{yk} (MPa) = 500

$$k_{md} = M_d / (b \times d^2 \times f_{cd})$$


$$A_s = M_d / (k_z \times d \times f_{yd})$$

Direção Transversal (armadura negativa)

Seção	Md (tf.m/m)	d (m)	kmd	kz	As (cm ² /m)	As x f.f. (cm ² /m)
S1	7,771	0,195	0,082	0,949	9,65	9,65
S2	5,634	0,195	0,059	0,964	6,89	9,84
S3	5,881	0,195	0,062	0,962	7,21	10,16
S4	6,425	0,395	0,016	0,990	3,78	5,02
S5	7,425	0,395	0,019	0,989	4,37	5,76

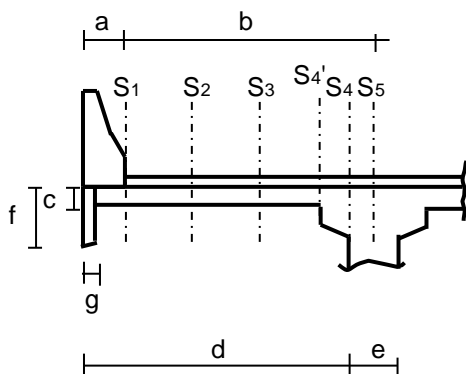
Direção Longitudinal (armadura positiva)

Seção	Md (tf.m/m)	d (m)	kmd	kz	As (cm ² /m)	As x f.f. (cm ² /m)
Myr	2,072	0,195	0,022	0,987	2,48	4,16
Mym	0,778	0,195	0,008	0,995	0,92	1,55

	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 486/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

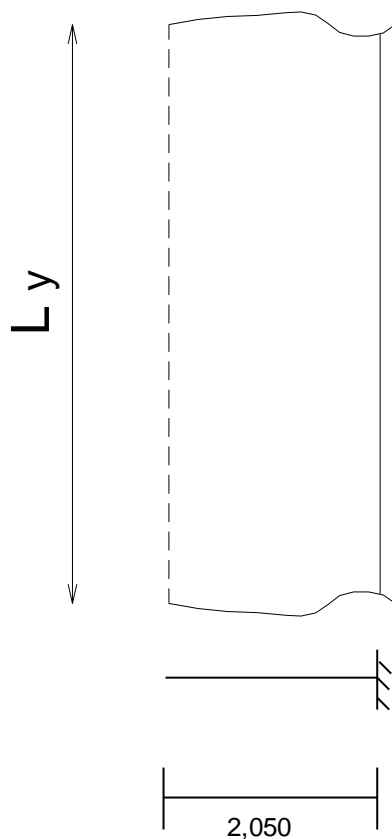
6.4 BALANÇOS DE LAJE DE 2,05m (TRECHO CURVO)

Seção Transversal

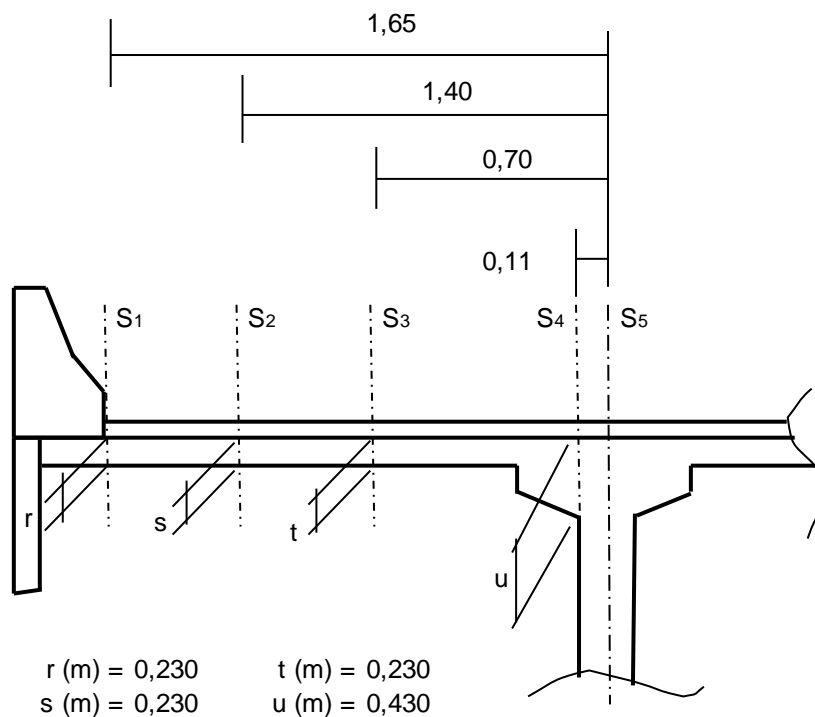


$a \text{ (m)} = 0,400$
 $b \text{ (m)} = 1,650$
 $c \text{ (m)} = 0,230$
 $d \text{ (m)} = 1,940$
 $e \text{ (m)} = 0,220$
 $f \text{ (m)} = 0,280$
 $g \text{ (m)} = 0,200$
 $h_{pav} \text{ (m)} = 0,070$

Esquema Estrutural

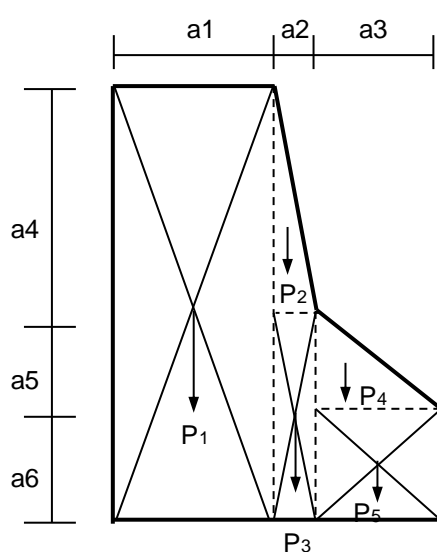


Cálculo dos Momentos no Trecho em Balanço



Cargas Permanentes


a) Peso do guarda-rodas



a ₁ (m) = 0,175	a ₄ (m) = 0,470
a ₂ (m) = 0,050	a ₅ (m) = 0,250
a ₃ (m) = 0,175	a ₆ (m) = 0,150

TRECHO	A (m ²)	x _i (m)	ΣAx _i
1	0,1523	0,0875	0,0133
2	0,0118	0,1917	0,0023
3	0,0200	0,2000	0,0040
4	0,0219	0,2833	0,0062
5	0,0263	0,3125	0,0082
Σ	0,2321	-	0,0340

$$x_{cg} = 0,0340 / 0,2321 = 0,146 \text{ m}$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 488/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

peso do guarda rodas $g = 0,2321 \times 2,50 \text{ tf/m}^3 = 0,58 \text{ tf/m}$

peso da pingadeira $g = 0,2800 \times 0,2000 \times 2,50 \text{ tf/m}^3 = 0,14 \text{ tf/m}$

b) Momento devido ao peso da laje (g1) nas diversas seções

Seção	M (tf.m/m)
S1	-0,012
S2	-0,058
S3	-0,380
S4	-0,870
S5	-0,984

c) Momento devido à pavimentação + guarda-rodas + pingadeira (g2) nas diversas seções

Seção	M (tf.m/m)
S1	-0,189
S2	-0,411
S3	-1,033
S4	-1,557
S5	-1,655

d) Momento total devido à carga permanente (g) nas diversas seções

Seção	M_{g1} (tf/m)	M_{g2} (tf/m)	M_g (tf/m)
S1	-0,012	-0,189	-0,201
S2	-0,058	-0,411	-0,469
S3	-0,380	-1,033	-1,413
S4	-0,870	-1,557	-2,428
S5	-0,984	-1,655	-2,639

Carga Móvel

a) Coeficiente de impacto (TB-450 kN)

CIV = 1,35 CIA = 1,0

l é a distancia da roda do veículo tipo ao engaste: $l_x' = 1,400$

Logo o valor do coeficiente de impacto é igual a:

$\varphi = \text{CIV} \times \text{CIA}$ $\varphi = 1,350$

b) Cálculo dos esforços devidos à Carga Móvel

$$M = \varphi \times [P \times K1 + p \times (K2 + K3)]$$

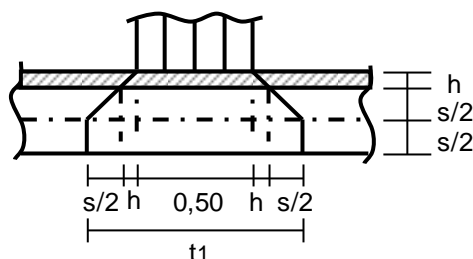
$$P \text{ (tf)} = 7,50$$

$$p \text{ (tf/m}^2\text{)} = 0,50$$

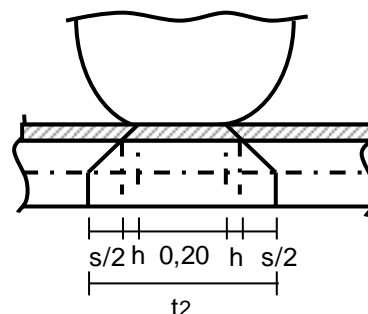
Parâmetros de entrada da Tabela de Rüsch

$$\begin{cases} l_x / a \\ t / a \end{cases} \quad a \text{ (m)} = 2,000 \quad (\text{entre eixos do veículo tipo})$$

Cálculo de t



$$t1 \text{ (m)} = 0,870$$



$$t2 \text{ (m)} = 0,570$$

$$t = (t1 \times t2)^{0,50}$$

$$t \text{ (m)} = 0,704$$

logo:

$$l_x / a = 0,700$$

$$t / a = 0,352$$

Tabela NR-98 de Rüsch :

$$\begin{cases} M_{xe} = - \varphi \times [P \times K1 + p \times (K2 + K3)] \\ M_{yr} = \varphi \times [P \times K4 + p \times (K5 + K6)] \\ M_{xm^+} = \varphi \times [P \times K7 + p \times (K8 + K9)] \\ M_{ym} = \varphi \times [P \times K10 + p \times (K11 + K12)] \\ M_{xm^-} = \varphi \times [P \times K13 + p \times (K14 + K15)] \end{cases}$$

Cálculo dos coeficientes da tabela:

Para M_{xe} :

	K1		
	t/a		
lx/a	0,250	0,352	0,500
0,625	0,670	0,641	0,600
0,700		0,761	
0,750	0,870	0,841	0,800

	K2	K3
lx/a	p	p'
0,625	0,000	0,000
0,700	0,000	0,000
0,750	0,000	0,000

$$K1 = 0,761$$

$$K2 = 0,000$$

$$K3 = 0,000$$

$$M_{xe} \text{ (tf.m/m)} = -7,709$$

Para M_{yr} :

K4			
t/a			
lx/a	0,250	0,352	0,500
0,625	0,287	0,235	0,160
0,700		0,240	
0,750	0,300	0,243	0,160

$$K4 = 0,240$$

K5		K6
lx/a	p	p'
0,625	0,000	0,000
0,700	0,000	0,000
0,750	0,000	0,000

$$K5 = 0,000$$

$$K6 = 0,000$$

$$M_{yr} \text{ (tf.m/m)} = 2,427$$

Para M_{xm+} :

K7			
t/a			
lx/a	0,250	0,352	0,500
0,625	0,061	0,050	0,033
0,700		0,056	
0,750	0,075	0,060	0,038

$$K7 = 0,056$$

K8		K9
lx/a	p	p'
0,625	0,000	0,000
0,700	0,000	0,000
0,750	0,000	0,000

$$K8 = 0,000$$

$$K9 = 0,000$$

$$M_{xm+} \text{ (tf.m/m)} = 0,565$$

Para M_{ym+} :

K10			
t/a			
lx/a	0,250	0,352	0,500
0,625	0,097	0,079	0,052
0,700		0,083	
0,750	0,103	0,085	0,060

$$K10 = 0,083$$

K11		K12
lx/a	p	p'
0,625	0,000	0,000
0,700	0,000	0,000
0,750	0,000	0,000

$$K11 = 0,000$$

$$K12 = 0,000$$

$$M_{ym} \text{ (tf.m/m)} = 0,837$$

Para M_{xm} :

lx/a	K13		
	t/a		
0,250	0,250	0,352	0,500
0,625	0,218	0,192	0,154
0,700		0,219	
0,750	0,263	0,237	0,200

lx/a	K14	K15
	p	p'
0,625	0,000	0,000
0,700	0,000	0,000
0,750	0,000	0,000

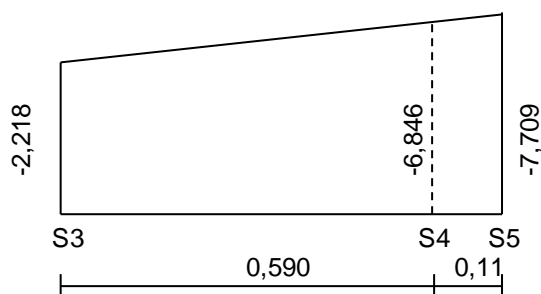
$$K13 = 0,219$$

$$K14 = 0,000$$

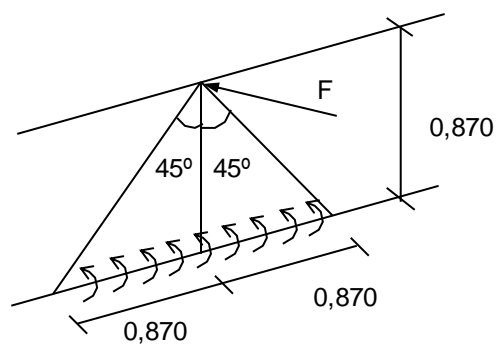
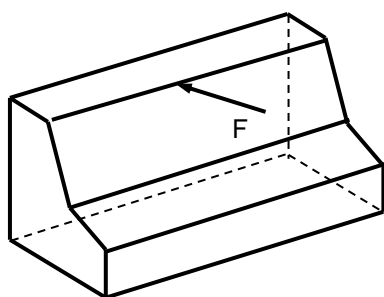
$$K15 = 0,000$$

$$M_{xm} \text{ (tf.m/m)} = -2,218$$

Interpolando para a seção S4, obtém-se:



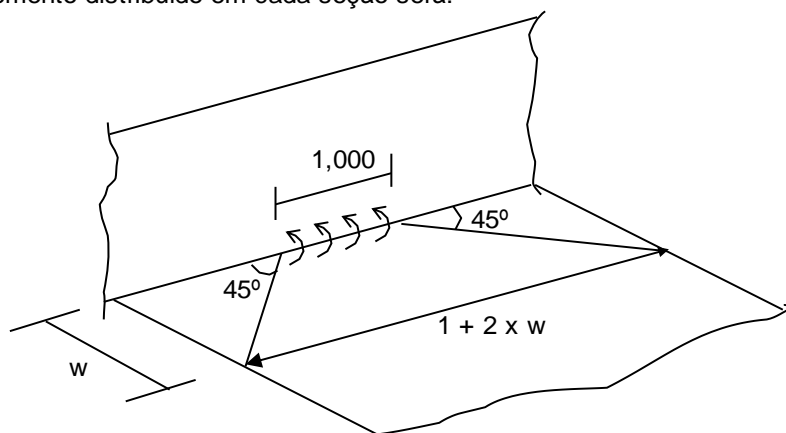
Ação da força horizontal no guarda-rodas



$$F \text{ (tf)} = 10,000$$

$$M_o = - 10,000 \times 0,870 / (2 \times 0,870) = -5,000 \text{ tf.m/m}$$

O momento distribuído em cada seção será:



$$M_{Sw} = M_o / (1 + 2 \times w)$$

$$M_{S2} = -5,000 / (1 + 2 \times 0,250) = -3,333 \text{ tf.m/m}$$

$$M_{S3} = -5,000 / (1 + 2 \times 0,950) = -1,724 \text{ tf.m/m}$$

$$M_{S4} = -5,000 / (1 + 2 \times 1,540) = -1,225 \text{ tf.m/m}$$

$$M_{S5} = -5,000 / (1 + 2 \times 1,650) = -1,163 \text{ tf.m/m}$$

Momentos finais devidos à Carga Móvel

$$M_{pS1} (\text{tf.m/m}) = -5,000$$

$$M_{pS2} (\text{tf.m/m}) = -3,333$$

$$M_{pS3} (\text{tf.m/m}) = -2,218 - 1,724 = -3,943$$

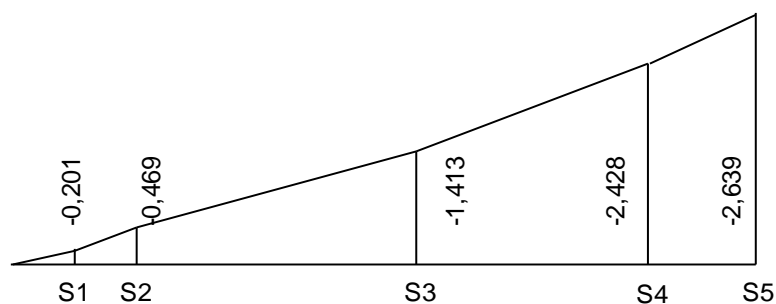
$$0,565 = 0,565$$

$$M_{pS4} (\text{tf.m/m}) = -6,846 - 1,225 = -8,072$$

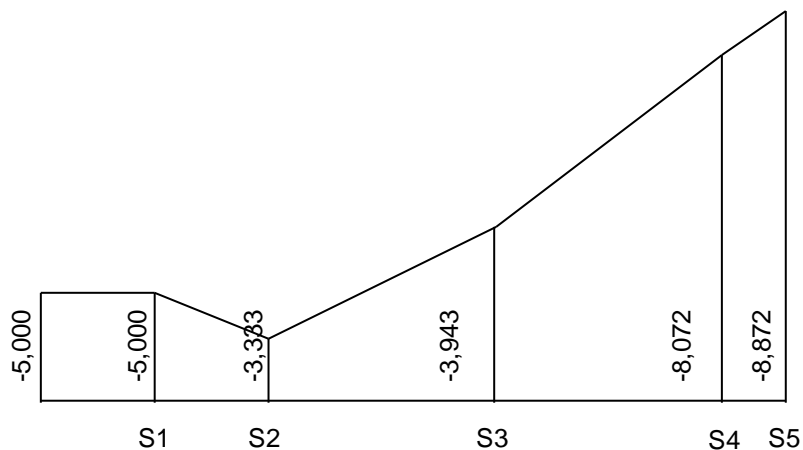
$$M_{pS5} (\text{tf.m/m}) = -7,709 - 1,163 = -8,872$$

Diagramas de Momentos no Trecho em Balanço

a) Carga Permanente



b) Carga Móvel



Dimensionamento da Laje à Flexão Simples

Cálculo do Fator de Fadiga

$$\begin{aligned}\psi_1 &= 0,80 \quad (\text{para verificação de lajes}) \\ f_{yk} \text{ (MPa)} &= 500 \quad (\text{Aço CA-50}) \\ \Delta f_{sd,fad} \text{ (MPa)} &= 185 \quad (\text{para } \phi < 20,0 \text{ mm})\end{aligned}$$

Seção	Mg (tf.m/m)	Mp_máx (tf.m/m)	Mp_mín (tf.m/m)	Mmáx (tf.m/m)	Mmín (tf.m/m)	fator fadiga
S1	-0,201		-5,000	-0,201	-0,201	1,000
S2	-0,469		-3,333	-0,469	-3,136	1,427
S3	-1,413	0,565	-3,943	-0,962	-4,567	1,325
S4	-2,428		-8,072	-2,428	-8,885	1,220
S5	-2,639		-8,872	-2,639	-9,737	1,224
Myr		2,427		1,942	0,000	1,679
Mym		0,837		0,670	0,000	1,679

$$\begin{aligned}M_{\text{máx}} &= Mg + \psi_1 \times Mp^{\text{máx}} & \gamma_{\text{aço}} &= 1,15 \\ M_{\text{mín}} &= Mg + \psi_1 \times Mp^{\text{mín}} & \gamma_s &= 1,40\end{aligned}$$

sendo: $|M_1| > |M_2|$

$$\begin{aligned}\text{se } M_1 \times M_2 > 0 & \longrightarrow f.f = ((|M_1| - |M_2|) / (|M_1|)) \times (f_{yk} / (\Delta f_{sd,fad} \times \gamma_s \times \gamma_{\text{aço}})) \\ \text{se } M_1 \times M_2 < 0 & \longrightarrow f.f = ((|M_1| + 0,5 \times |M_2|) / (|M_1|)) \times (f_{yk} / (\Delta f_{sd,fad} \times \gamma_s \times \gamma_{\text{aço}}))\end{aligned}$$

Envoltória de momentos para dimensionamento à flexão

$$M_d = \left\{ \begin{array}{c} 1,35 \\ 1,00 \end{array} \right\} \times M_g + \left\{ \begin{array}{c} 1,50 \\ 0,00 \end{array} \right\} \times M_p$$

Seção	Mg (tf.m/m)	Mp_max (tf.m/m)	Mp_min (tf.m/m)	Md ⁺ (tf.m/m)	Md ⁻ (tf.m/m)
S1	-0,201	0,000	-5,000	0,000	-7,771
S2	-0,469	0,000	-3,333	0,000	-5,634
S3	-1,413	0,565	-3,943	0,000	-7,822
S4	-2,428	0,000	-8,072	0,000	-15,385
S5	-2,639	0,000	-8,872	0,000	-16,871
Myr	0,000	2,427	0,000	3,641	0,000
Mym	0,000	0,837	0,000	1,256	0,000

Dimensionamento à Flexão

Concreto: f_{ck} (MPa) = 35

Aço: f_{yk} (MPa) = 500

$$k_{md} = M_d / (b \times d^2 \times f_{cd})$$


$$A_s = M_d / (k_z \times d \times f_{yd})$$

Direção Transversal (armadura negativa)

Seção	Md (tf.m/m)	d (m)	kmd	kz	As (cm ² /m)	As x f.f. (cm ² /m)
S1	7,771	0,195	0,082	0,949	9,65	9,65
S2	5,634	0,195	0,059	0,964	6,89	9,84
S3	7,822	0,195	0,082	0,949	9,72	12,88
S4	15,385	0,395	0,039	0,976	9,18	11,20
S5	16,871	0,395	0,043	0,974	10,09	12,34

Direção Longitudinal (armadura positiva)

Seção	Md (tf.m/m)	d (m)	kmd	kz	As (cm ² /m)	As x f.f. (cm ² /m)
Myr	3,641	0,195	0,038	0,977	4,40	7,38
Mym	1,256	0,195	0,013	0,992	1,49	2,51

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 495/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

7. MEMÓRIA DE CÁLCULO DOS APARELHOS DE APOIO

Cálculo da Rotação do Apoio da Viga

$$E \times I \times \delta = \int_0^L M_0 \times M_1 \times dx$$

Vão teórico (m) = 43,10

Δx (m) = 4,31

Integrando por Simpson:

1ª Protensão

t (dias) = 3

E_{cs} (tf.m²) = 2157179

$I_{corrente}$ (m⁴) = 0,376

	$M_0^{1^{a}prot}$ (tf.m)	$M_1^{virtual}$ (tf.m)	$M_0 \times M_1$ (tf.m)
S0	0,0	1,00	0,0
S1	-91,7	0,90	-82,6
S2	-285,9	0,80	-228,7
S3	-388,7	0,70	-272,1
S4	-403,5	0,60	-242,1
S5	-400,0	0,50	-200,0
S6	-403,5	0,40	-161,4
S7	-388,7	0,30	-116,6
S8	-285,9	0,20	-57,2
S9	-91,7	0,10	-9,2
S10	0,0	0,00	0,0

$$\int_0^L M_0 \times M_1 \times dx = \Sigma M_0 \times M_1 \times \Delta x = -5891,3$$

α (rad) = -0,0073


Peso próprio da viga isolada

t (dias) = 3

E_{cs} (tf.m²) = 2157179

$I_{corrente}$ (m⁴) = 0,376

	M_0^{g1}	$M_1^{virtual}$	$M_0 \times M_1$ (tf.m)
S0	0,0	1,00	0,0
S1	153,8	0,90	138,4
S2	272,6	0,80	218,1
S3	357,5	0,70	250,2
S4	408,4	0,60	245,0
S5	425,4	0,50	212,7
S6	408,4	0,40	163,4
S7	357,5	0,30	107,2
S8	272,6	0,20	54,5
S9	153,8	0,10	15,4
S10	0,0	0,00	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 496/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

$$\int_0^L M_0 \times M_1 \times dx = \Sigma M_0 \times M_1 \times \Delta x = 6117,2$$

$$\alpha \text{ (rad)} = 0,0075$$

Rotação após a 1ª protensão

$$\alpha \text{ (rad)} = 0,0003$$

2ª Protensão

$$t \text{ (dias)} = 18$$

$$E_{cs} \text{ (tf.m}^2\text{)} = 3041312$$

$$I_{corrente} \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

	$M_0^{1ªprot}$	$M_1^{virtual}$	$M_0 \times M_1 \text{ (tf.m)}$
S0	0,0	1,0	0,0
S1	-270,8	0,9	-243,7
S2	-318,4	0,8	-254,7
S3	-328,9	0,7	-230,3
S4	-331,8	0,6	-199,1
S5	-331,4	0,5	-165,7
S6	-331,8	0,4	-132,7
S7	-328,9	0,3	-98,7
S8	-318,4	0,2	-63,7
S9	-270,8	0,1	-27,1
S10	0,0	0,0	0,0

$$\int_0^L M_0 \times M_1 \times dx = \Sigma M_0 \times M_1 \times \Delta x = -6266,8$$

$$\alpha \text{ (rad)} = -0,0055$$

Rotação após a 2ª protensão

$$\alpha \text{ (rad)} = -0,0052$$


Peso próprio da laje e transversinas

$$t \text{ (dias)} = 28$$

$$E_{cs} \text{ (tf.m}^2\text{)} = 3187576$$

$$I_{corrente} \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

	$M_0^{g^2}$	$M_1^{virtual}$	$M_0 \times M_1 \text{ (tf.m)}$
S0	0,0	1,00	0,0
S1	100,9	0,90	90,8
S2	179,4	0,80	143,6
S3	235,5	0,70	164,9
S4	269,2	0,60	161,5
S5	280,4	0,50	140,2
S6	269,2	0,40	107,7
S7	235,5	0,30	70,7
S8	179,4	0,20	35,9
S9	100,9	0,10	10,1
S10	0,0	0,00	0,0

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 497/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

$$\int_0^L M_0 \times M_1 \times dx = \Sigma M_0 \times M_1 \times \Delta x = 4028,2$$

$$\alpha \text{ (rad)} = 0,0034$$

Rotação após a concretagem de lajes e transversinas

$$\alpha \text{ (rad)} = -0,0018$$

Sobrecarga permanente

$$t \text{ (dias)} = 28$$

$$E_{cs} \text{ (tf.m}^2\text{)} = 3187576$$

$$I_{corrente} \text{ (m}^4\text{)} = 0,727$$

	M_0^{g3}	$M_1^{virtual}$	$M_0 \times M_1 \text{ (tf.m)}$
S0	0,0	1,00	0,0
S1	80,7	0,90	72,6
S2	143,5	0,80	114,8
S3	188,3	0,70	131,8
S4	215,2	0,60	129,1
S5	224,2	0,50	112,1
S6	215,2	0,40	86,1
S7	188,3	0,30	56,5
S8	143,5	0,20	28,7
S9	80,7	0,10	8,1
S10	0,0	0,00	0,0

$$\int_0^L M_0 \times M_1 \times dx = \Sigma M_0 \times M_1 \times \Delta x = 3221,2$$

$$\alpha \text{ (rad)} = 0,0014$$

Rotação total para a ponte descarregada

$$\alpha \text{ (rad)} = -0,0005$$

Cálculo aproximado da rotação do apoio da viga após estocagem


$$\varphi_{(t1,t0)} = 1,513$$

Rotação no apoio da viga após estocagem

$$\alpha \text{ (rad)} = -0,0131$$

Rotação total para a ponte descarregada

$$\alpha \text{ (rad)} = -0,0083$$

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 498/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Rotação devido à carga móvel:

$$\alpha_{CM} = q \cdot L^3 / (24 \cdot E \cdot J_{viga}^{conj}) + 4 \cdot P \cdot L^2 / (16 \cdot E \cdot J_{viga}^{conj})$$

$$q \text{ (tf/m)} = 1,50$$

$$E \text{ (tf.m}^2\text{)} = 3187576$$

$$L \text{ (m)} = 43,10$$

$$P \text{ (tf)} = 6,86$$

$$I_{corrente} \text{ (m}^4\text{)} = 0,727$$

$$\alpha_{CM} \text{ (rad)} = 0,0035$$

Verificação do Aparelho de Apoio segundo o SETRA

Será verificado o aparelho de apoio de borracha neoprene fretada da viga extrema de acordo com as prescrições do SETRA.

Dados:

$$f_{ck}^{super} \text{ (MPa)} = 40,0$$

$$E = 5600 \cdot (f_{ck})^{0,5}$$

$$E \text{ (tf/m}^2\text{)} = 3541751$$

$$E_{lento} = E / 2$$

$$E_{lento} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1770875$$

$$J_{viga}^{isol} \text{ (m}^4\text{)} = 0,376$$

$$J_{viga}^{conj} \text{ (m}^4\text{)} = 0,727$$

$$a \text{ (m)} = 0,30$$

$$b \text{ (m)} = 0,45$$

} (dimensões do aparelho de apoio)

$$h_{borr} \text{ (m)} = 0,05$$

Cargas atuantes no aparelho de apoio (retirados dos cálculos da super e infra-estruturas):

$$N_g \text{ (tf)} = 92,01$$

$$N_{CM}^{max} \text{ (tf)} = 65,14$$

$$N_{CM}^{min} \text{ (tf)} = 0,00$$

$$H_{fren} \text{ (tf)} = 5,00$$

$$H_{\Delta\theta} \text{ (tf)} = 5,00$$

$$H_{vento} \text{ (tf)} = 5,00$$

Verificação do aparelho de apoio de acordo com as prescrições do SETRA

Tensão normal

$$S \text{ (m}^2\text{)} = 0,135$$

(área do aparelho de apoio)

$$N_{max} \text{ (tf)} = 157,15$$

$$N_{min} \text{ (tf)} = 92,01$$

$$\sigma_{max} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 1164,09$$

< 1500, logo atende.

$$\sigma_{min} \text{ (tf/m}^2\text{)} = 681,57$$

> 200, logo atende.

Verificação do deslizamento

$$f = 0,10 + 60 / \sigma_{min}$$


(coeficiente de atrito)

$$f = 0,188$$

$$f \cdot N_{min} \text{ (tf)} = 17,30$$

$$H_{max} \text{ (tf)} = 11,18$$

< f . N, logo atende.

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-IV	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 499/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação das tensões cisalhantes

Tensão cisalhante devida ao esforço normal

$$\tau_N = 1,5 \cdot \frac{\sigma_m^{max}}{\beta}$$

$$\beta = \frac{a \cdot b}{2 \cdot t \cdot (a + b)}$$

t (m) = 0,012 (espessura de uma camada de elastômero)

β = 7,500 τ_N (tf/m²) = 232,82

Tensão cisalhante devida a rotação do aparelho de apoio

$$\alpha_t = \frac{\alpha_{Total} + \alpha_{construtivo}}{n^{\circ} \text{ de camadas}} \quad (\text{rotação de uma camada de elastômero})$$

α_{construtivo} (rad) = 0,010 (recomendação do SETRA para vigas pré-moldadas)

n = 4,000 (número de camadas de elastômero)

α_{total} (rad) = 0,0005 α_t (rad) = 0,0026

$$\tau_\alpha = \frac{G}{2} \cdot \left(\frac{a}{t}\right)^2 \cdot \alpha_t$$

G (tf/m²) = 100,0

τ_α (tf/m²) = 81,66

Tensão cisalhante devida aos esforços horizontais

$$\tau_{Hperm} = \frac{H_{perm}}{a \cdot b} \leq 0,5 \cdot G$$


H_{perm} (tf) = 5,00

τ_{Hperm} (tf/m²) = 37,04 < 0,5 · G, logo atende.

$$\tau_{HTotal} = \frac{H_{perm} + \frac{H_{dinamico}}{2}}{a \cdot b} \leq 0,7 \cdot G$$

H_{dinâmico} (tf) = 7,07

τ_{Htotal} (tf/m²) = 63,23 < 0,7 · G, logo atende.

 PLANAVE S.A. Estudos e Projetos de Engenharia	Nº CLIENTE: I-OAESV-X-R1/16-202-lv	REV. CLIENTE 1	FOLHA: 500/500
	Nº PLANAVE: MC-F01-B03-1002	REV. PLANAVE A	

Verificação da tensão cisalhante total

$$\tau_{Total} = \tau_{HTotal} + \tau_N + \tau_{\alpha} \leq 5 \cdot G$$

$$\tau_{total} (tf/m^2) = 377,70 < 5 \cdot G, \text{ logo atende.}$$

Verificação da flambagem do aparelho de apoio

$$n \cdot t \leq \frac{a}{5}$$

$$n \cdot t (m) = 0,048$$

$$< a / 5, \text{ logo atende.}$$

Dimensionamento das chapas de fretagem

$$t_s \geq \frac{a}{\beta} \cdot \frac{\sigma_m^{m\acute{a}x}}{f_{yd}} \cdot 1,4$$

$$f_{yd} (tf/m^2) = 24000/1,15$$

$$f_{yd} (tf/m^2) = 20869,6$$

$$t_s (m) \geq 0,00312$$

$$t_s (mm) \geq 3,12$$

Verificação do não soerguimento do aparelho de apoio

$$\alpha_t \leq \frac{3}{\beta} \times \left(\frac{t}{a}\right)^2 \times \frac{\sigma_{min}}{G}$$

$$\alpha_t (rad) = 0,0026$$

$$\alpha_{t,m\acute{a}x} (rad) = 0,0044$$

, logo atende.