



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
Secretaria de Infra-estrutura Hídrica

**Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias
Hidrográficas do Nordeste Setentrional**

Projeto Executivo do Lote C - Eixo Leste

MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL DO SISTEMA DE DRENAGEM

TOMO I

1230-MMO-2701-30-05-001-R00
RECIFE-PE

C O N S Ó R C I O

TECHNE • PROJETEC • BRLi

Julho - 2011



PROJETEC





MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

**Projeto de Integração do Rio São Francisco com
Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional**

Projeto Executivo do Lote C – Eixo Leste

MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL DO SISTEMA DE DRENAGEM

TOMO I

1230-MMO-2701-30-05-001-R00

RECIFE-PE

C O N S Ó R C I O


TECHNE • PROJETEC • BRLi

Julho - 2011



1230-MMO-2701-30-05-001-R00

1230-MMO-2701-30-05-001-R00

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	III
1. OBJETIVO.....	1
2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	2
3. MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL.....	14
3.1 SEGMENTO DE CANAL EBV-1 / RESERVATÓRIO AREIAS - OBRAS DE DRENAGEM.....	14
3.1.1 2705 - Obra 01 (BSTC-1,00) - Est. 386+9,86m - Lote 09.....	14
3.1.2 2705 - Obra 02 (BSCC-1,00 X 1,50) - Est. 428+1,86m - Lote 09.....	21
3.1.3 2705 - Obra 03 (BSCC - 1,00 X 1,50) - Est. 468+0,52m - Lote 09.....	29
3.1.4 2705 - Obra 04 (BSCC-1,00 X 1,50) - Est. 493+15,00m - Lote 09.....	35
3.1.5 2705 - Obra 05 (BSCC-1,00 X 1,50) - Est. 538+15,30m - Lote 09.....	43
3.1.6 2705 - Obra 06 (BSCC-2,00 X 2,00) - Est. 567+18,54m - Lote 09.....	50
3.2 SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO BRAÚNAS / RESERVATÓRIO MANDANTES - OBRAS DE DRENAGEM.....	59
3.2.1 2708 - Obra 01 (BSTC-1,20) - Est. 1097+11,91m - Lote 09.....	59
3.2.2 Obra 03 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1251+13,47m - Lote 09.....	64
3.2.3 2708 - Obra 04 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1275+7,01m - Lote 09.....	71
3.2.4 2708 - Obra 05 (BSTC-1,20) - Est. 1299+17,71m - Lote 09.....	78
3.2.5 2708 - Obra 06 (BSTC-1,20) - Est. 1311+3,02m - Lote 09.....	83
3.2.6 2708 - Obra 07 (BSTC-1,20) - Est. 1335+9,48m - Lote 09.....	88
3.2.7 Obra 08 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1362+2,98m - Lote 09.....	93
3.2.8 2708 - Obra 09 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1392+10,89m - Lote 09.....	100
3.2.9 2708 - Obra 10 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1433+10,59m - Lote 09.....	107
3.2.10 2708 - Obra 11 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1450+19,95m - Lote 09.....	114
3.2.11 2708 - Obra 13 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1475+13,75m - Lote 09.....	121
3.2.12 2708 - Obra 14 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1497+10,51m - Lote 09.....	128
3.2.13 2708 - Obra 15 (BSTC-1,20) - Est. 1527+2,19m - Lote 09.....	135
3.2.14 2708 - Obra 16 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1546+11,96m - Lote 09.....	140
3.2.15 2708 - Obra 17 (BSTC-1,20) - Est. 1575+3,55m - Lote 09.....	147
3.2.16 2708 - Obra 18 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1593+10,58m - Lote 09.....	152
3.3 SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO SALGUEIRO / RESERVATÓRIO MUQUÉM - OBRAS DE DRENAGEM.....	159
3.3.1 2711 - Obra 01 (BTCC-3,00 x 3,00) - Est. 2115+11,39m - Lote 09.....	159
3.3.2 2711 - Obra 02 (BDCC-3,00 x 3,00) - Est. 2150+18,05m - Lote 09.....	166
3.3.3 2711 - Obra 03 (BSCC-2,50 x 2,50) - Est. 2311+0,00m - Lote 09.....	172
3.3.4 2711 - Obra 04 (BDCC-3,00 x 3,00) - Est. 2398+0,00m - Lote 09.....	179
3.3.5 2711 - Obra 05 (BDTC-1,20) - Est. 2411+0,00m - Lote 09.....	185
3.3.6 2711 - Obra 06 (BDCC-3,00 x 3,00) - Est. 2661+7,01m - Lote 09.....	190
3.3.7 2711 - Obra 07 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 2736+2,04m - Lote 09.....	196
3.3.8 2711 - Obra 08 (BDCC-3,00 x 3,00) - Est. 2766+5,15m - Lote 09.....	203
3.3.9 2711 - Obra 09 (BDCC-2,50 x 2,50) - Est. 2865+17,97m - Lote 09.....	210
3.3.10 2711 - Obra 10 (BSextuploCC-3,00 x 3,00) - Est. 2879+15,47m - Lote 09.....	213
3.3.11 2711 - Obra 11 (BDCC-3,00 x 3,00) - Est. 2995+17,07m - Lote 09.....	219
3.3.12 2711 - Obra 12 (BSCC-2,50 x 2,50) - Est. 3111+1,69m - Lote 09.....	226
3.3.13 2711 - Obra 13 (BSCC-3,00 x 3,00) - Est. 3190+10,32m - Lote 09.....	233
3.3.14 2711 - Obra 14 (BSCC-2,50 x 2,50) - Est. 3248+14,91m - Lote 09.....	240

3.3.15	2711 - Obra 15 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 3312+9,81m - Lote 09	247
3.3.16	2711 - Obra 17 (BSTC-1,20) - Est. 3360+18,95m - Lote 09	254
3.3.17	2711 - Obra 18 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 3389+7,16m - Lote 09	259
3.4	SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO MUQUÉM / AQUEDUTO JACARÉ - OBRAS DE DRENAGEM	267
3.4.1	2712 - Obra 01 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 3587+10,43m - Lote 10	267
3.4.2	2712 - Obra 02 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 3618+8,05m - Lote 10	274
3.4.3	2712 - Obra 03 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 3635+0,00m - Lote 10	281
3.4.4	2712 - Obra 04 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 3688+17,23m - Lote 10	288
3.4.5	2712 - Obra 05 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 3756+8,73m - Lote 10	295
3.4.6	2712 - Obra 06 (BSTC-1,20) - Est. 3774+2,91m - Lote 10	302
3.4.7	2712 - Obra 07 (BSTC-1,20) - Est. 3790+18,88m - Lote 10	307
3.4.8	2712 - Obra 08 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 3807+12,33m - Lote 10	311
3.4.9	2712 - Obra 10 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 3855+14,00m - Lote 10	317
3.4.10	2712 - Obra 11 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 3908+11,61m - Lote 10	324
3.5	SEGMENTO DE CANAL AQUEDUTO JACARÉ / RESERVATÓRIO CACIMBA NOVA - OBRAS DE DRENAGEM ...	331
3.5.1	2713 - Obra 01 (BSTC-1,20) - Est. 4084+7,12m - Lote 10	331
3.5.2	2713 - Obra 02 (BDTC-1,20) - Est. 4136+6,68m - Lote 10	337
3.5.3	2713 - Obra 03 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 4150+16,14m - Lote 10	341
3.5.4	2713 - Obra 04 (BSTC-1,20) - Est. 4184+4,43m - Lote 10	346
3.5.5	2713 - Obra 05 (BSTC-1,20) - Est. 4210+17,28m - Lote 10	351
3.5.6	2713 - Obra 07 (BSTC-1,20) - Est. 4287+11,03m - Lote 10	356
3.5.7	2713 - Obra 08 (BSTC-1,20) - Est. 4301+12,41m - Lote 10	361
3.6	SEGMENTO DE CANAL EBV-4 / RESERVATÓRIO BAGRES - OBRAS DE DRENAGEM	366
3.6.1	2715 - Obra 01 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 4879+0,00m - Lote 10	366
3.6.2	2715 - Obra 02 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 4911+4,54m - Lote 10	373
3.6.3	2715 - Obra 03 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 4925+16,06m - Lote 10	380
3.6.4	2715 - Obra 06 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 4987+1,54m - Lote 10	387
3.6.5	2715 - Obra 07 (BSTC-1,20) - Est. 5019+12,95m - Lote 10	394
3.6.6	2715 - Obra 08 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5063+5,39m - Lote 10	399
3.6.7	2715 - Obra 10 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5090+16,93m - Lote 10	406
3.7	SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO BAGRES / AQUEDUTO CAETITU - OBRAS DE DRENAGEM	413
3.7.1	2716 - Obra 01 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 5272+8,82m - Lote 10	413
3.7.2	2716 - Obra 02 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 5281+10,77m - Lote 10	420
3.7.3	2716 - Obra 03 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5317+18,32m - Lote 10	427
3.7.4	2716 - Obra 04 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 5331+2,75m - Lote 10	434
3.7.5	2716 - Obra 05 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5368+10,94m - Lote 10	441
3.7.6	2716 - Obra 06 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 5390+14,14m - Lote 10	448
3.7.7	2716 - Obra 07 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5447+16,29m - Lote 10	455
3.7.8	2716 - Obra 08 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5485+17,46m - Lote 10	462
3.7.9	2716 - Obra 09 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5511+1,18m - Lote 10	469
3.7.10	2716 - Obra 11 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 5584+4,63m - Lote 10	476
3.7.11	2716 - Obra 12 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5676+9,81m - Lote 10	483
3.8	SEGMENTO DE CANAL AQUEDUTO CAETITU / RESERVATÓRIO COPITI – OBRAS DE DRENAGEM	490
3.8.1	2717 - Obra 01 (BSTC-1,20) - Est. 5774+7,05m - Lote 10	490
3.8.2	2717 - Obra 02 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5798+11,02m - Lote 10	495

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - LISTA DE DOCUMENTOS E DESENHOS DO PROJETO EXECUTIVO - LOTE 9 DE OBRAS.....	2
TABELA 2.2 - LISTA DE DOCUMENTOS E DESENHOS DO PROJETO EXECUTIVO - LOTE 10 DE OBRAS.....	7
TABELA 2.3 - LISTA DE DOCUMENTOS E DESENHOS DO PROJETO EXECUTIVO - LOTE 13 DE OBRAS.....	12

1. OBJETIVO

No presente documento o Consórcio Techne-Projetec-BRLi apresenta ao Ministério da Integração Nacional a Memória de Cálculo Estrutural dos Projetos dos Sistemas de Drenagem do Lote C, do Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF).

2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

O projeto estrutural do sistema de drenagem lateral e transversal dos segmentos de canal e das Estações de Bombeamento (EBs) são apresentados nos seguintes desenhos:

Tabela 2.1 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 9 de Obras

SEGMENTO DE CANAL EBV-1 - RESERVATÓRIO AREIAS	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2705-30-38-001	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 01 (BSTC-1,00) - Est.386+9,86m - Forma - Seção Longitudinal - Galeria, Caixa de Entrada e Saída
1230-DEP-2705-30-38-002	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 02 (BSCC-1,00x1,50) - Est.428+1.86m - Forma - Seção Longitudinal - Galeria, Caixa de Entrada e Saída
1230-DEP-2705-30-38-003	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 03 (BSCC-1,00x1,50) - Est.468+0,52m - Forma - Seção Longitudinal - Galeria, Caixa de Entrada e Saída
1230-DEP-2705-30-38-004	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 04 (BSCC-1,00x1,50) - Est.493+15.00m - Forma - Seção Longitudinal - Galeria, Caixa de Entrada e Saída
1230-DEP-2705-30-38-005	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 05 (BSCC-1,00x1,50) - Est.538+15.30m - Forma - Seção Longitudinal - Galeria, Caixa de Entrada e Saída
1230-DEP-2705-30-38-006	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 06 (BSCC-2,00x2,00) - Est.567+18.54m - Forma - Seção Longitudinal Galeria, Caixa de Entrada e Saída
1230-DEP-2705-30-82-001	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 01 (BSTC - 1,00) - Est.386+9.86m - Armação - Galeria, Caixa de Entrada e Caixa de Saída
1230-DEP-2705-30-82-002	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 02 (BSCC-1,00x1,50) - Est.428+1.86m - Armação - Galeria, Caixa de Entrada e Caixa de Saída
1230-DEP-2705-30-82-003	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 03 (BSCC-1,00x1,50) - Est.468+0,52m - Armação - Galeria, Caixa de Entrada e Caixa de Saída
1230-DEP-2705-30-82-004	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 04 (BSCC-1,00x1,50) - Est.493+1.50m - Armação - Galeria, Caixa de Entrada e Caixa de Saída
1230-DEP-2705-30-82-005	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 05 (BSCC-1,00x1,50) - Est.493+1.50m - Armação - Galeria, Caixa de Entrada e Caixa de Saída
1230-DEP-2705-30-82-006	Segmento de Canal EBV-1 / Reserv. Areias - Sistema de Drenagem - Obra 06 (BSCC-2,00x2,00) - Est.567+18.54m - Armação - Galeria, Caixa de Entrada e de Saída

Tabela 2.1 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 9 de Obras (Continuação)

SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO - BRAÚNAS / MANDANTES	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2708-30-78-001	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 01 (BSTC-1.20) Est.1097+11.91m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-002	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 02 (Overchute) - Est.1226+1.76m - Forma (FL.01/02 A FL. FL.02/02)
1230-DEP-2708-30-78-003	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 03 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1251+13.47m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-004	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 04 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1275+7.11m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-005	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 05 (BSTC-1.20) - Est.1299+17.71m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-006	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 06 (BSTC-1.20) - Est.1311+3.02m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-007	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 07 (BSTC-1.20) - Est.1335+9.48m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-008	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 08 (BSCC-1.50x1.50) - EST1362+2.98m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-009	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 09 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1392+10.89m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-010	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 10 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1433+10.57m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-011	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 11 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1450+19.95m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-012	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 12 (BSTC-1.20) Est.1462+10.08m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-013	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 13 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1477+13.75m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-014	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 14 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1497+10.51m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-015	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 15 (BSTC-1.20) Est.1527+2.19m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-016	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 16 (BSCC-1.50x1.50) Est.1546+11.98m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-017	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 17 (BSTC-1.20) Est.1575+3.55m - Forma
1230-DEP-2708-30-78-018	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 18 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1593+10.58m - Forma
1230-DEP-2708-30-82-001	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 01 (BSTC-1.20) Est.1097+11.91m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-002	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 02 (Overchute) - Est.1226+1.76m - Armação (FL.01/02 A FL. FL.02/02)

Tabela 2.1 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 9 de Obras (Continuação)

SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO - BRAÚNAS / MANDANTES	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2708-30-82-003	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 01 (BSTC-1.20) Est.1097+11.91m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-004	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 04 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1275+7.11m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-005	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 05 (BSTC-1.20m) - Est.1299+17.71m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-006	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 06 (BSTC-1.20) - Est.1311+3.02m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-007	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 07 (BSTC-1.20) - Est.1335+9.48m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-008	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 08 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1362+2.98m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-009	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 09 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1392+10.89m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-010	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 10 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1433+10.57m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-011	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 11 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1450+19.95m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-012	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 12 (BSTC-1.20) - Est.1462+10.08m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-013	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 13 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1477+13.75m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-014	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 14 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1497+10.51m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-015	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 15 (BSTC-1.20) Est.1527+2.19m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-016	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 16 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1546+11.98m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-017	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 17 (BSTC-1.20) Est.1575+3.55m - Armação
1230-DEP-2708-30-82-018	Segmento de Canal Reserv. Braúnas / Reserv. Mandantes - Sistema de Drenagem - 2708 - Obra 18 (BSCC-1.50x1.50) - Est.1593+10.58m - Armação

Tabela 2.1 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 9 de Obras (Continuação)

SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO SALGUEIRO/ RESERVATÓRIO MUQUÉM	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2711-30-78-001	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 01 (BTCC-3.00x3.00) - Est.2115+11.39m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-002	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 02 (BDCC-3.00x3.00) - Est.2150+18.05m
1230-DEP-2711-30-78-003	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 03 (BSCC-2.50x2.50) - Est.2311+0.00m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-004	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 04 (BDCC-3.0x3.0) - Est.2398+0.00m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-005	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 05 (BDTC-1.20) - Est.2411+0.00m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-006	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 06 (BDCC-3.00x3.00) - Est.2661+7.01m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-007	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 07 (BSCC-2.00x2.00) Est.2736+2.04m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-008	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 08 (BDCC-3.00x3.00) - Est.2776+5.15m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-009	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 09 (BDCC-2.5x2.5) - Est.2865+17.97m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-010	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 10 (BSextuploCC-3.00x3.00) / Est.:2879+15.47m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-011	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 11 (BDCC-3.00x3.00) - Est.2995+17.07m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-012	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro/Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 12 (BSCC-2.50x2.50) - Est.3111+1.69m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-013	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 13 (BSCC-3.00x3.00) - Est.3190+10.32m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-014	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 14 (BSCC-2.50x2.50) - Est.3248+14.91m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-015	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 15 (BSCC-1.50x1.50) - Est.3312+9.81m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-016	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 16 (BDTC-1.20m) - Est.3347+14.70m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-017	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 17 (BSTC-1.20m) Est.3360+18.95m - Forma
1230-DEP-2711-30-78-018	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 18 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3389+7.16m - Forma
1230-DEP-2711-30-82-001	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 01 (BTCC-3.00x3.00) - Est.2115+11.39m - Armação

Tabela 2.1 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 9 de Obras (Continuação)

SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO SALGUEIRO/ RESERVATÓRIO MUQUÉM	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2711-30-82-002	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 02 (BDCC-3.00x3.00) - Est.2150+18.05m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-003	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 03 (BSCC-2.50x2.50) - Est.2311+0.00m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-004	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 04 (BDCC-3.00x3.00) - Est.2398+0.00m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-005	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 05 (BDTC-1.20) - Est.2411+0.00m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-006	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 06 (BDCC-3.00x3.00) - Est.2661+7.01m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-007	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 07 (BSCC-2.00x2.00) - Est.2736+2.04m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-008	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 08 (BDCC-3.00x3.00) - Est.2776+5.15m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-009	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 09 (BDCC-2.50x2.50) - Est.2865+17.97m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-010	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro/Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 10 (BSextuploCC-3.00x3.00) / Est.2879+15.47m - Armação (FL.01/03 A FL. FL.03/03)
1230-DEP-2711-30-82-011	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 11 (BDCC-3.00x3.00) - Est.2995+17.07m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-012	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 12 (BSCC-2.50x2.50) - Est.3111+1.69m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-013	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 13 (BSCC-3.00x3.00) - Est.3190+10.32m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-014	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 14 (BSCC-2.50x2.50) - Est.3248+14.91m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-015	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 15 (BSCC-1.50x1.50) - Est.3312+9.81m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-016	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 16 (BDTC-1.20m) - Est.3347+14.70m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-017	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 17 (BSTC-1.20m) Est.3360+18.95m - Armação
1230-DEP-2711-30-82-018	Segmento de Canal Reserv. Salgueiro / Reserv. Muquém - Sistema de Drenagem - 2711 - Obra 18 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3389+7.16m - Armação

Tabela 2.2 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 10 de Obras

SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO MUQUÉM / AQUEDUTO JACARÉ	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2712-30-78-001	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 01 (BSCC-1.50x1.50) - Est.3587+10.43m - Forma
1230-DEP-2712-30-78-002	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - Obra 02 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3618+8.05m - Forma
1230-DEP-2712-30-78-003	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 03 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3635+0.00m - Forma
1230-DEP-2712-30-78-004	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 04 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3688+17.23m - Forma
1230-DEP-2712-30-78-005	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 05 (BSCC-1.50x1.50) - Est.3756+8.73m - Forma
1230-DEP-2712-30-78-006	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 06 (BSTC-1.20) - Est.3774+2.91m - Forma
1230-DEP-2712-30-78-007	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 07 (BSTC-1.20) - Est.3790+18.88m - Forma
1230-DEP-2712-30-78-008	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 08 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3807+12.33m - Forma
1230-DEP-2712-30-78-009	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 09 (BSCC-3.00x3.00) - Est.3813+12.00m - Forma
1230-DEP-2712-30-78-010	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 10 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3855+14.00m - Forma
1230-DEP-2712-30-78-011	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 11 (BSCC-1.50x1.50) - Est.3908+11.61m - Forma
1230-DEP-2712-30-82-001	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 01 (BSCC-1.50x1.50) - Est.3587+10.43m - Armação
1230-DEP-2712-30-82-002	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - Obra 02 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3618+8.05m - Armação
1230-DEP-2712-30-82-003	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 03 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3635+0.00m - Armação
1230-DEP-2712-30-82-004	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 04 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3688+17.23m - Armação
1230-DEP-2712-30-82-005	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 05 (BSCC-1.50x1.50) - Est.3756+8.73m - Armação
1230-DEP-2712-30-82-006	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 06 (BSTC-1.20) - Est.3774+2.91m - Armação
1230-DEP-2712-30-82-007	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 07 (BSTC-1.20) - Est.3790+18.88m - Armação
1230-DEP-2712-30-82-008	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 08 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3807+12.33m - Armação

Tabela 2.2 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 10 de Obras (Continuação)

SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO MUQUÉM / AQUEDUTO JACARÉ	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2712-30-82-009	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 09 (BTCC-3.00x3.00) - Est.3813+12.00m - Armação
1230-DEP-2712-30-82-010	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 10 (BSCC-2.00x2.00) - Est.3855+14.00m - Armação
1230-DEP-2712-30-82-011	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2712 - Obra 11 (BSCC-1.50x1.50) - Est.3908+11.61m - Armação
SEGMENTO DE CANAL AQUEDUTO JACARÉ / RESERVATÓRIO CACIMBA NOVA	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2713-30-78-001	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 01 (BSTC-1.20) - Est.4084+7.12m - Forma
1230-DEP-2713-30-78-002	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 02 (BDTC-1.20) - Est.4136+6.68m - Forma
1230-DEP-2713-30-78-003	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 03 (BSCC-1.50x1.50) - Est.4150+16.14m - Forma
1230-DEP-2713-30-78-004	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 04 (BSTC-1.20) - Est.4184+4.43m - Forma
1230-DEP-2713-30-78-005	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 05 (BSTC-1.20) - Est.4210+17.28m - Forma
1230-DEP-2713-30-78-007	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 07 (BSTC-1.20) - Est.4287+11.03m - Forma
1230-DEP-2713-30-78-008	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 08 (BSTC-1.20) - Est.4301+12.41m - Forma
1230-DEP-2713-30-78-009	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 09 (BDCC-1.50x1.50) - Est.4395+9.62m - Forma
1230-DEP-2713-30-78-010	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 10 (BDCC-2,00x2,00) - Est.4448+18,36m - Forma
1230-DEP-2713-30-78-012	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 12 (BTCC-2,00x2,00) - Est.4545+4,69m - Forma
1230-DEP-2713-30-82-001	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 01 (BSTC-1.20) - Est.4084+7.12m - Armação
1230-DEP-2713-30-82-002	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 02 (BDTC-1.20) - Est.4136+6.68m - Armação

Tabela 2.2 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 10 de Obras (Continuação)

SEGMENTO DE CANAL AQUEDUTO JACARÉ / RESERVATÓRIO CACIMBA NOVA	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2713-30-82-003	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 03 (BSCC-1.50x1.50) - Est.4150+16.14m - Armação
1230-DEP-2713-30-82-004	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 04 (BSTC-1.20) - Est.4184+4.43m - Armação
1230-DEP-2713-30-82-005	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 05 (BSTC-1.20) - Est.4210+17.28m - Armação
1230-DEP-2713-30-82-007	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 07 (BSTC-1.20) - Est.4287+11.03m - Armação
1230-DEP-2713-30-82-008	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 08 (BSTC-1.20) - Est.4301+12.41m - Armação
1230-DEP-2713-30-82-009	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 09 (BDCC-1.50x1.50) - Est.4395+9.62m - Armação
1230-DEP-2713-30-82-010	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 10 (BDCC-2,00x2,00) - Est.4448+18,36m - Armação
1230-DEP-2713-30-82-012	Segmento de Canal Aqueduto Jacaré / Reserv. Cacimba Nova - Sistema de Drenagem - 2713 - Obra 12 (BTCC-2,00x2,00) - Est.4545+4,69m - Armação
SEGMENTO DE CANAL EBV-4 / RESERVATÓRIO BAGRES	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2715-30-78-001	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 01 (BSCC-1.50x1.50) - Est.4879+0.00m - Forma
1230-DEP-2715-30-78-002	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 02 (BSCC-1.50x1.50) - Est.4911+4.54m - Forma
1230-DEP-2715-30-78-003	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 03 (BSCC-1.50x1.50) - Est.4925+16,06m - Forma
1230-DEP-2715-30-78-006	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 06 (BSCC-1.50x1.50) - Est.4987+1.54m - Forma
1230-DEP-2715-30-78-007	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 07 (BSTC-1.20) - Est.5019+12.95m - Forma
1230-DEP-2715-30-78-008	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 08 (BSCC - 1.50 x 1.50) - Est. 5048 + 11.26m - Forma
1230-DEP-2715-30-78-010	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 10 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5090+16.93m - Forma
1230-DEP-2715-30-82-001	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 01 (BSCC-1.50x1.50) - Est.4879+0.00m - Armação (FL.01/02 A FL. FL.02/02)
1230-DEP-2715-30-82-002	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 02 (BSCC-1.50x1.50) - Est.4911+4.54m - Armação (FL.01/02 A FL. FL.02/02)
1230-DEP-2715-30-82-003	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 03 (BSCC-1.50x1.50) - Est.4925+16,06m - Armação
1230-DEP-2715-30-82-006	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 06 (BSCC-1.50x1.50) - Est.4987+1.54m - Armação

Tabela 2.2 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 10 de Obras (Continuação)

SEGMENTO DE CANAL EBV-4 / RESERVATÓRIO BAGRES	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2715-30-82-007	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 07 (BSTC-1.20) - Est.5019+12.95m - Armação
1230-DEP-2715-30-82-008	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 08 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5048+11.26m - Armação
1230-DEP-2715-30-82-010	Segmento de Canal EBV-4 / Reserv. Bagres - Sistema de Drenagem - 2715 - Obra 10 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5090+16.93m - Armação
SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO BAGRES / AQUEDUTO CAETITU	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2716-30-78-001	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 01 (BSCC-2.00x2.00) - Est.5272+8.82m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-002	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 02 (BSCC-2.00x2.00) - Est.5281+10.77m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-003	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 03 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5317+18.32m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-004	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 04 (BSCC-2.00x2.00) - Est.5331+2.75m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-005	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 05 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5368+10.94m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-006	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 06 (BSCC-2.00x2.00) - Est.5390+14.14m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-007	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 07 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5447+16.29m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-008	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 08 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5485+17.46m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-009	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 09 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5511+1.18m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-010	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 10 (BDCC-2.50x2.50) - Est.5545+11.28m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-011	Segmento de Canal Reserv. Muquém / Aqueduto Jacaré - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 11 (BSCC-2.00x2.00) - Est.5584+4.63m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-012	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 12 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5676+9.81m - Forma
1230-DEP-2716-30-78-013	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 13 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5693+13.53m - Forma
1230-DEP-2716-30-82-001	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 01 (BSCC-2.00x2.00) - Est.5272+8.82m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-002	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 02 (BSCC-2.00x2.00) - Est.5281+10.77m - Armação

Tabela 2.2 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 10 de Obras (Continuação)

SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO BAGRES / AQUEDUTO CAETITU	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2716-30-82-003	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 03 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5317+18.32m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-004	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 04 (BSCC-2.00x2.00) - Est.5331+2.75m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-005	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 05 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5368+10.94m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-006	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 06 (BSCC-2.00x2.00) - Est.5390+14.14m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-007	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 07 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5447+16.29m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-008	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 08 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5485+17.46m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-009	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 09 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5511+1.18m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-010	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 10 (BDCC-2.50x2.50) - Est.5545+11.28m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-011	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 11 (BSCC-2.00x2.00) - Est.5584+4.63m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-012	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 12 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5676+9.81m - Armação
1230-DEP-2716-30-82-013	Segmento de Canal Reserv. Bagres / Aqueduto Caetitu - Sistema de Drenagem - 2716 - Obra 13 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5693+13.53m - Armação
SEGMENTO DE CANAL AQUEDUTO CAETITU / RESERVATÓRIO COPITI	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2717-30-78-001	Segmento de Canal Aqueduto Caetitu / Reserv. Copiti - Sistema de Drenagem - 2717 - Obra 01 (BSTC-Ø1.20) - Est.5774+7.05m - Forma
1230-DEP-2717-30-78-002	Segmento de Canal Aqueduto Caetitu / Reserv. Copiti - Sistema de Drenagem - 2717 - Obra 02 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5798+11.02m - Forma
1230-DEP-2717-30-82-001	Segmento de Canal Aqueduto Caetitu / Reserv. Copiti - Sistema de Drenagem - 2717 - Obra 01 (BSTC-Ø1.20) - Est.5774+7.05m - Armação
1230-DEP-2717-30-82-002	Segmento de Canal Aqueduto Caetitu / Reserv. Copiti - Sistema de Drenagem - 2717 - Obra 02 (BSCC-1.50x1.50) - Est.5798+11.02m - Armação

Tabela 2.3 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 13 de Obras

ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBV-1	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2610-30-78-001	Estação de Bombeamento EBV-1 / Sistema de Drenagem dos Taludes / Forma - Escada: E1 e E2, E3 e E4, Forma - Galeria: G1, G2 e G3, G4, G5 e G6, Forma - Escada: E5 e E6 e Galeria: G7 e G8, Forma - Escada: E7 e E8 e Galeria: G10 e G11, Forma - Galeria: G9 e G12, Forma - Canaleta: D1.2, D1.1, D2, D3.2, D3.1, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15.2, D15.1, D16, D17, D18.3, D18.2, D18.1, D19.3, D19.2, D20.2, D20.1, D21, D22, D23.2, D23.1, D24.2, D24.1, D25, D26.2, D26.1, D27.3, D27.2, D27.1, D28.3, D28.2, D29.2, D29.1, D30.2, D30.1 e Caixa: CX15, CX16, CX17, CX19, CX 25, CX18, Forma - Caixa: CX20, CX30, CX21, CX22, CX32, CX23, CX33, CX21, CX24, CX26 e CX27, CX29, CX31, CX34, CX35 (Folha 01/17 A Folha 17/17)
1230-DEP-2610-30-82-040	Estação de Bombeamento EBV-1 / Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Escada: E1=E3, E2=E4, E5=E7, E6=E8, Armação - Galeria: G1=G4 e G2=G5, G3=G6, G7=G10 e G8=G11, G9 e G12, Armação - Canaleta: D1.2, D1.1, D2, D3.2, D3.1, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15.2, D15.1, D16, D17, D18.3, D18.2, D18.1, D19.3, D19.2, D20.2, D20.1, D21, D22, D23.2, D23.1, D24.2, D24.1, D25, D26.2, D26.1, D27.3, D27.2, D27.1, D28.3, D28.2, D29.2, 29.1, D30.2, D30.1, Armação - Caixa: CX15, CX16, CX17, CX19, CX25, CX28, CX18, CX20, CX30, CX21, CX22, CX32, CX23, CX33, CX24, CX26, CX27 e Caixa: CX29, CX31, CX34, CX35 (Folha 01/19 A Folha 19/19)
ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBV-2	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2620-30-78-004	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Forma - Escada: E1, Galeria: G1 e Caixa: CX1 e CX4, Forma - Escada: E2, Galeria: G3 e Caixa: CX9 e CX10, Forma - Galeria: G2 e G5 e Caixa: CX8, CX18, CX25 e Forma - Galeria: G4 e G6 e Caixa: CX16, CX17, CX19 e CX20 (Folha 01/04 A Folha 04/04)
1230-DEP-2620-30-78-005	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Forma-Canaleta: D1, D2, D3.1, D3.2, D4, D5.2
1230-DEP-2620-30-78-006	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Forma-Canaleta: D5.1, D7, D8, D9, D10, D11.2
1230-DEP-2620-30-78-007	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Forma-Canaleta: D11.1, D12, D13.3, D13.2, D14, D15
1230-DEP-2620-30-78-008	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Forma-Canaleta: D16, D17, D18, D19, D20.2, D20.1
1230-DEP-2620-30-78-009	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Forma-Canaleta: D21, D22, D23 e Caixa: CX2, CX3, CX5
1230-DEP-2620-30-78-010	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Forma-Caixa: CX7, CX11, CX12, CX13, CX14
1230-DEP-2620-30-78-011	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Forma-Caixa: CX15, CX21, CX22, CX23, CX24
1230-DEP-2620-30-82-040	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem Interna / Armação - Escada: E1 e Caixa: CX4
1230-DEP-2620-30-82-041	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem Interna / Armação - Escada: E2 e Caixa: CX10
1230-DEP-2620-30-82-042	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem Interna / Armação - Galeria: G1, G3 e Caixa: CX1, CX9
1230-DEP-2620-30-82-043	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem Interna / Armação - Galeria: G4 e Caixa: CX16 e CX17
1230-DEP-2620-30-82-044	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem Interna / Armação - Galeria: G2, G5 e Caixa: CX8, CX18
1230-DEP-2620-30-82-045	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem Interna / Armação - Galeria: G6 e Caixa: CX19 e CX20
1230-DEP-2620-30-82-046	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Canaleta: D1, D2, D3.1, D3.2, D4, D5.2
1230-DEP-2620-30-82-047	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Canaleta: D5.1, D7, D8, D9, D10, D11.2

Tabela 2.3 - Lista de Documentos e Desenhos do Projeto Executivo - Lote 13 de Obras (Continuação)

ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBV-2	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2620-30-82-048	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Galeria: D11.1, D12, D13.3, D13.2, D14, D15
1230-DEP-2620-30-82-049	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Canaleta: D17, D18, D19, D20.2, D20.1
1230-DEP-2620-30-82-050	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Canaleta: D21, D22, D23
1230-DEP-2620-30-82-051	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Caixa: CX2, CX3, CX5, CX6
1230-DEP-2620-30-82-052	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Caixa: CX7, CX11, CX12, CX13
1230-DEP-2620-30-82-053	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Caixa: CX14, CX15, CX21, CX22
1230-DEP-2620-30-82-054	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Caixa: CX23, CX24, CX25
1230-DEP-2620-30-38-001	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem-2620-Obra 08(BSCC-1.00x1.50) - Est.873+10,00m / Forma - Seção Longitudinal - Galeria, Caixa de Entrada e Saída
1230-DEP-2620-30-82-001	Estação de Bombeamento EBV-2 - Sistema de Drenagem-2620-Obra 08(BSCC-1.00x1.50) - Est.873+10,00m / Armação - Galeria, Caixa de Entrada e Caixa de Saída
ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBV-3	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2630-30-78-022	Estação de Bombeamento EBV-3 / Sistema de Drenagem dos Taludes / Forma - Galeria: G1, G4, G5 e G6, Caixa: CX8, CX23, CX24 e CX25, Forma-Caixa: CX1, CX2, CX3, CX6, CX7 e CX9, Forma-Caixa: CX7, CX9, CX10, CX12, CX13 e CX14, Forma-Caixa: CX16, CX17, CX20,
1230-DEP-2630-30-82-040	Estação de Bombeamento EBV-3 / Sistema de Drenagem dos Taludes / Armação - Galeria G1, Caixa CX8, Armação - Galeria G4, Caixa CX23 e CX24, Armação - Galeria G5, Armação - Galeria G6, Caixa CX25, Armação - Caixa CX1, CX2, CX3 e CX6, Armação - Caixa CX4, CX5,
ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO EBV-4	
Nº Documento	Título
1230-DEP-2640-30-78-016	Estação de Bombeamento EBV-4 / Sistema de Drenagem Interna / Forma - Galeria: G1, G2 e G3, Caixa: CX5, CX6, CX8 e CX17, Forma-Caixa: CX3, CX 4, CX7, CX 9, CX10 e CX11, CX1, CX2, CX12, CX13, CX14, CX15, CX16 e CX18, Forma-Caixa: CX19 e Canaleta: D1, D1.2, D2, D3, D4 e D13, Forma-Canaleta: D5, D6, D7, D8, D9 e D10, Forma-Canaleta: D11, D12, D13.2, D14, D15 e D16 e D17, D18, D19, D20 e D21 (Folha 01/07 A Folha 07/07)
1230-DEP-2640-30-82-040	Estação de Bombeamento EBV-4 / Sistema de Drenagem Interna / Armação - Galeria G1 e CX5 e CX6, G2 e CX8, G3 e CX17, Armação - CX3, CX4, CX7, CX9 e CX10, CX11, CX14, CX15, CX16 e CX18, CX1, CX2, CX12, CX13, CX19 e CX20, Canaleta: D1, D1.2, D2, D3, D4, D5 e D13, D5, D6, D7, D8, D9, D10 e D11, D12, D13.2, D14, D15, D16 e D17 e D18, D19, D20 e D21 (Folha 01/10 A Folha 10/10)

3. MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL

3.1 SEGMENTO DE CANAL EBV-1 / RESERVATÓRIO AREIAS - OBRAS DE DRENAGEM

3.1.1 2705 - Obra 01 (BSTC-1,00) - Est. 386+9,86m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = $2,56 \text{ Mpa} = 25,6 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 3 cm ;
- w = abertura de fissuras $< 0,2 \text{ mm}$. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = $1,00\text{m}$;
- L = comprimento longitudinal = $1,00\text{m}$;
- $L_{TOTAL} = 48,02 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;

- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k\mu = k\mu' = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = $0,50$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $6,15\text{m}$;
- D_e = diâmetro externo do tubo = $1,20\text{m}$;
- b_v = largura da vala = $3,80\text{m}$;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,08\text{m}$.

c) Seção Sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = $6,15\text{m}$;
- $P_{vs} = 6,15 \times 1,80 = 11,07 \text{ tf/m}^2$.

Será considerado um aterro com boas condições de compactação.

Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm .

Será considerado um aterro sem boas condições de compactação.

O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção.

Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item V.

d) Seção Sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = $1,00\text{m}$;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;

- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- e_e = distância entre eixos = 1,50m;
- e_r = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (e_e - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (e_r - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

e) Pressões Verticais na Laje Superior

- $P_{vs} = 1,00 \times 1,80 + CM \text{ (Carga Móvel)} + pp$;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 1,80 + 1,14 + 0,50 = 3,44 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem muito superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($P_{vs} = 11,07 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURA DE ENTRADA

III.I ANÁLISE DA ESTABILIDADE

- $P_v = \text{Paredes} \dots\dots\dots 2 \times 1,85 \times 2,00 \times 0,20 \times 2,50 = 3,70 \text{ tf};$
Laje de fundação $0,20 \times 1,60 \times 2,20 \times 2,50 = 1,76 \text{ tf};$
Parede de entrada.. $(1,40 \times 1,85 - \pi (1,20)^2/4) \times 0,20 \times 2,50 = 0,73 \text{ tf};$
Cutoff..... $0,20 \times 0,40 \times 2,00 \times 2,50 = 0,40 \text{ tf};$
Abas frontais $2 \times 0,30 \times 1,85 \times 0,20 \times 2,50 = 0,56 \text{ tf}.$
- $P_v = 7,15 \text{ tf};$
- $\Delta h_w = 0,70 \text{ m}$ (rebaixamento rápido excepcional);
- $\Delta P_u = 1,40 \times 2,20 \times 0,70 \times 1,00 = 2,16 \text{ tf};$
- $FS_F = \text{fator de segurança à flutuação} = P_v/\Delta P_u = 7,15/2,16 = 3,31 > 1,20 \quad \text{OK}$

III.II PAREDES LATERAIS (e = 0,20m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão de vida à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times 1,85 = 1,28 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,17 \times (1,85)^2/2 + (1,28 - 0,17) \times 1,85 \times 1,85/6 = 0,92 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,00 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,20m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 1,40 \times 2,20 = 3,08 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \dots\dots\dots 2 \times 1,85 \times 2,00 \times 0,20 \times 2,50 = 3,70 \text{ tf};$
Parede de entrada. $(1,40 \times 1,85 - \pi (1,20)^2/4) \times 0,20 \times 2,50 = 0,73 \text{ tf};$
Cutoff..... $0,20 \times 0,40 \times 2,00 \times 2,50 = 0,40 \text{ tf};$
Abas frontais..... $2 \times 0,30 \times 1,85 \times 0,20 \times 2,50 = 0,56 \text{ tf}.$
- $P_v = 5,39 \text{ tf}.$
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,39/3,08 = 1,75 \text{ tf/m}^2;$
- $M = 1,75 (1,20)^2/8 = 0,32 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,00 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.IV “CUTOFF” (20/60)

- $A_{s_{\min}} = 1,65 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\sup}} = 3\Phi 10;$
 $A_{s_{\inf}} = 3\Phi 10;$
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 2\Phi 6.3;$
 $A_{s_w} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

III.V ABAS FRONTAIS (20/50)

- $As_{\min} = 1,50 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{\text{sext}} = 2\Phi 10;$
 $As_{\text{int}} = 2\Phi 10;$
 $As_{\text{pele}} = 2 \times 2\Phi 6.3;$
 $As_w = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

III.VI PAREDE FRONTAL (e = 0,20m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão de vida à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times 0,85 = 0,68 \text{ tf/m}^2;$
- Flexão lateral (viga superior 20/75): $q = (0,17 + 0,68)/2 = 0,43 \text{ tf/m}^2;$
- $M = 0,43 \times (1,20)^2/8 = 0,08 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{\min} = 3,00 \text{ cm}^2/\text{m}.$

IV. ESTRUTURA DE SAÍDA

IV.I ANÁLISE DA ESTABILIDADE

- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 2,15 \times 2,00 \times 0,20 \times 2,50 = 4,30 \text{ tf};$
 $\text{Laje de fundação} \quad 0,20 \times 1,73 \times 2,20 \times 2,50 = 1,90 \text{ tf};$
 $\text{Parede de entrada} \quad (1,40 \times 2,15 - \pi (1,20)^2/4) \times 0,20 \times 2,50 = 0,94 \text{ tf};$
 $\text{Cutoff} \quad 0,20 \times 0,40 \times 2,05 \times 2,50 = 0,41 \text{ tf}.$
- $P_v = 7,55 \text{ tf};$
- $\Delta h_w = 0,70 \text{ m}$ (rebaixamento rápido excepcional);
- $\Delta P_u = 1,73 \times 2,20 \times 0,70 \times 1,00 = 2,66 \text{ tf};$
- $FS_F = \text{fator de segurança à flutuação} = P_v/\Delta P_u = 7,55/2,66 = 2,84 > 1,20. \quad \text{OK}$

IV.II PAREDES LATERAIS (e = 0,20m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão de vida à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times 2,15 = 1,46 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,17 \times (2,15)^2/2 + (1,46 - 0,17) \times 2,15 \times 2,15/6 = 1,38 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{\text{fiss}} = 3,28 \text{ cm}^2/\text{m}.$

IV.III LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,20m)

- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = 1,73 \times 2,20 = 3,81 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \dots \dots \dots 2 \times 2,15 \times 2,00 \times 0,20 \times 2,50 = 4,30 \text{ tf};$
 $\text{Parede de entrada. } (1,40 \times 1,85 - \pi (1,20)^2/4) \times 0,20 \times 2,50 = 0,73 \text{ tf};$
 $\text{Cutoff} \dots \dots \dots 0,20 \times 0,40 \times 2,05 \times 2,50 = 0,41 \text{ tf}.$

- $P_v = 5,44 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v/S_F = 5,44/3,81 = 1,43 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 1,43 (1,53)^2/8 = 0,42 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,00 \text{ cm}^2/\text{m}$.

IV.IV “CUTOFF” (20/60)

- $A_{s_{\min}} = 1,80 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\sup}} = 3\Phi 10$;
 $A_{s_{\inf}} = 3\Phi 10$;
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{s_w} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

IV.V ABAS FRONTAIS (20/50)

- $A_{s_{\min}} = 1,50 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\text{ext}}} = 2\Phi 10$;
 $A_{s_{\text{int}}} = 2\Phi 10$;
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{s_w} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

IV.VI PAREDE FRONTAL (e = 0,20m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão de vida à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times 1,15 = 0,86 \text{ tf/m}^2$;
- Flexão lateral (viga superior 20/105): $q = (0,17 + 0,86)/2 = 0,52 \text{ tf/m}^2$;
 $M = 0,52 \times (1,20)^2/8 = 0,09 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,00 \text{ cm}^2/\text{m}$.

V. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

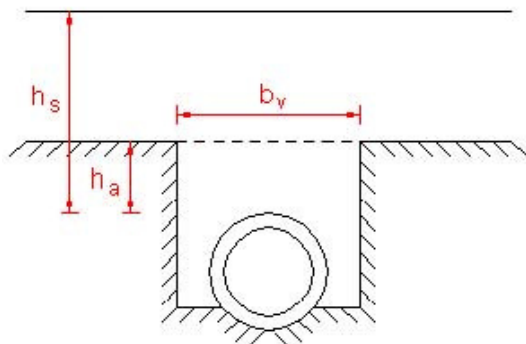
V.I DADOS DA GEOMETRIA

- Diâmetro interno = 1000 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

V.II DADOS DA INSTALAÇÃO

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;

- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = $-0,4$;
- Altura de terra (h_s): 6,15 m;
- Largura da vala (b_v) = 3,80 m;
- Altura (h_a) = 0,25 m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



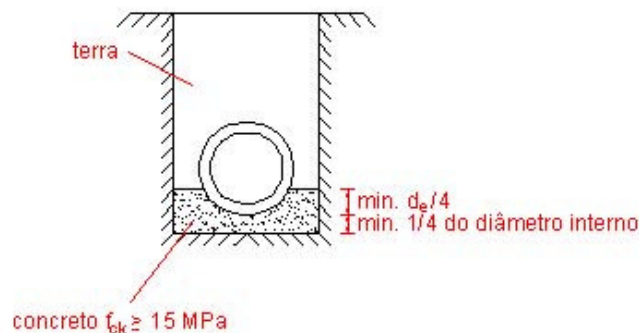
V.III DADOS DA SOBRECARGA

- Valor = 5,00 kN/m;

V.IV DADOS DA BASE

- Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

V.V RESULTADOS - CLASSE

- Resistência necessária (calculada) = 156,85 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 180,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.1.2 2705 - Obra 02 (BSCC-1,00 X 1,50) - Est. 428+1,86m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,00m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 42,58m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção Sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 5,35m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50$ tf/m².

c.1) Cálculo das Pressões (Tubulação sem água)

Pressões Verticais na Laje Superior:

- P_{vs} = pressão vertical na laje superior;
- $P_{vs_{máx}} = 5,35 \times 1,80 + 0,50 = 10,13 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs_{mín}} = 5,35 \times 1,80 = 9,63 \text{ tf/m}^2$.

Pressões Horizontais nas Paredes Laterais:

Considera-se o empuxo ativo quando a pressão vertical for máxima e o empuxo em repouso quando a pressão vertical for mínima.

- $Ph_{1máx} = 0,50 \times 5,35 \times 1,80 = 4,82 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{2máx} = 0,50 \times (5,35 + 2,10) \times 1,80 = 6,71 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{médio,máx} = 5,77 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{1mín} = 0,33 \times 5,35 \times 1,80 = 3,18 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{2mín} = 0,33 \times (5,35 + 2,10) \times 1,80 = 4,43 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{médio,mín} = 3,81 \text{ tf/m}^2$.

Pressões Verticais na Laje Inferior (Fundação):

- P_{pp} = peso próprio da laje superior e das paredes laterais;
- $P_{pp} = 0,30 \times 1,60 \times 2,50 + 2 \times 0,30 \times 1,50 \times 2,50 = 3,45 \text{ tf/m}$;
- P_{vi} = pressão vertical na laje inferior;
- $P_{vi_{máx}} = P_{pp}/(1,00 \times 1,60) + P_{vs_{máx}} = 2,16 + 10,13 = 12,29 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vi_{mín}} = P_{pp}/(1,00 \times 1,60) + P_{vs_{mín}} = 2,16 + 9,63 = 11,79 \text{ tf/m}^2$.

c.2) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver item V)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese** : Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese** : Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese** : Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,00m;

- Carga Móvel: Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- e_e = distância entre eixos = 1,50m;
- e_r = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (e_e - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (e_r - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 1,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 1,80 + 1,14 + 0,50 = 3,44 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem muito superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,03 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,00 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 6,58 \text{ tf/m} \rightarrow T_{\text{wd}} = 1,4 \times 6580 / (100 \times 25) = 3,68 \text{ Kg/cm}^2 < T_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2.$
OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -1,03 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -1,15 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,41 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 5,18 \text{ tf/m.} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -1,15 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,13 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 7,01 \text{ tf/m} \rightarrow T_{\text{wd}} = 1,4 \times 7010 / (100 \times 25) = 3,92 \text{ Kg/cm}^2 < T_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2.$ **OK**

III. ESTRUTURA DE ENTRADA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times (1,00 + 2,00) / 2 = 0,16 + 0,90 = 1,06 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,50)^2 / 2 + (1,06 - 0,16) \times (1,50)^2 / 6 = 0,16 + 0,34 = 0,50 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = (1,00 + 6,70) / 2 \times 2,85 = 10,97 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \times 2 \times (1,00 + 2,00) / 2 \times 2,85 \times 0,25 \times 2,50 = 5,34 \text{ tf};$
- $P_v = 5,34 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes}) / S_F - p_p(\text{laje}) = 5,34 / 10,97 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,50 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (25/60)

- $As_{\min} = 2,25 \text{ cm}^2 \rightarrow Assup = 3\Phi 10;$
 $As_{\inf} = 3\Phi 10;$
 $As_{pele} = 2x2\Phi 6.3;$
 $Asw = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESTRUTURA DE SAÍDA

IV.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times (0,50+2,00)/2 = 0,16 + 0,75 = 0,91 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,25)^2/2 + (0,91 - 0,16) \times (1,25)^2/6 = 0,13 + 0,20 = 0,33 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{\min} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}.$

IV.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

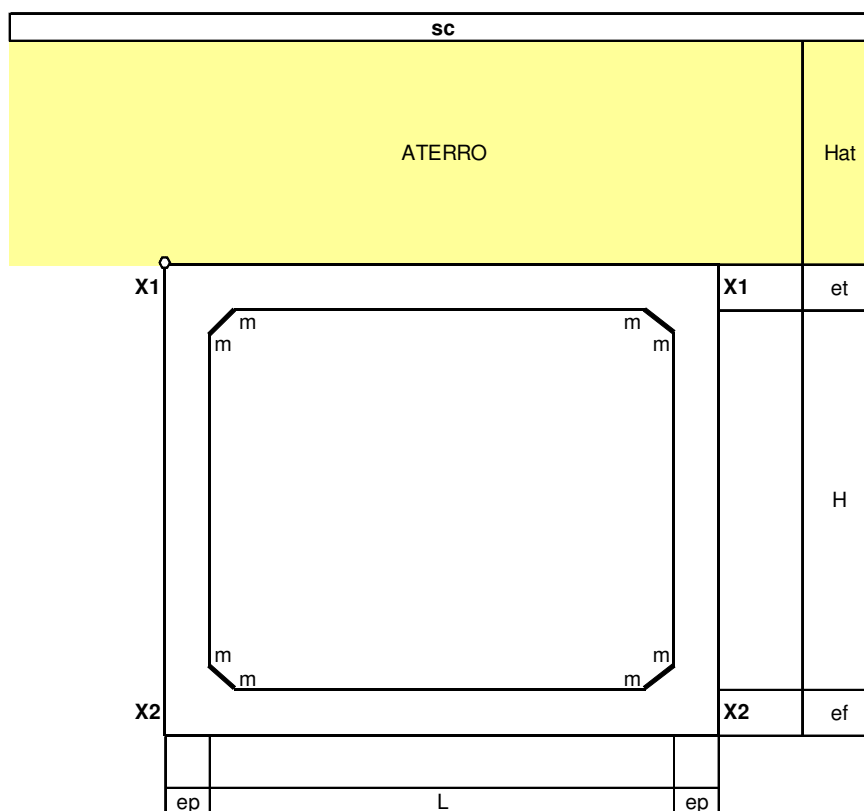
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 1,00 \times 2,80 = 2,80 \text{ m}^2;$
- $Pv = \text{Paredes } 2 \times (0,50+2,00)/2 \times 2,80 \times 0,25 \times 2,50 = 4,38 \text{ tf};$
- $Pv = 4,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P(\text{paredes})/S_F = 4,38/2,80 = 1,56 \text{ tf/m}^2;$
- $M = 1,56 (1,00)^2/8 = 0,20 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{\min} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}.$

IV.III “CUTOFF” (25/60)

- $As_{\min} = 2,25 \text{ cm}^2 \rightarrow As_{\sup} = 3\Phi 10;$
 $As_{\inf} = 3\Phi 10;$
 $As_{pele} = 2x2\Phi 6.3;$
 $Asw = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

V. ESFORÇOS SOLICITANTES

V.I CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	5,35	m
L = largura interna da galeria =	1,00	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,15	m

V.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,5 t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,8 t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,5 t/m³;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,5.

V.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 1,30m L't = comp. elástico da tampa = 1,30 m;
- L'p = comp. elástico das paredes = 1,80 m ... L'p = comp. elástico das paredes = 1,80m;

- L_f = comprimento do fundo = 1,30m L'_f = comp. elástico do fundo = 1,30 m.

V.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa = MÁX 10,13 tf/m²;
MÍN 9,63 tf/m²;
- q_p = carga uniforme média nos lados = MÁX 5,76 tf/m² Ko;
MÍN 3,80 tf/m² Ka;
- q_f = carga uniforme no fundo = MÁX 10,79 tf/m²;
MÍN 10,29 tf/m².

V.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

V.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = 0,13tf/m²;
- q_p (MÍN) = 3,80tf/m²;
- q_f (MÁX) = 10,79tf/m²;
- L'_t = 1,30m;
- L'_p = 1,80m;
- L'_f = 1,30m;
- S_1 = 4,53;
- S_2 = 4,93.

b) Momentos nos Nós

- m_1 = 4,17;
- m_2 = 4,17;
- $m_1 \cdot m_2 - 1$ = 16,36;
- X_1 = -0,85tfm/m;
- X_2 = -0,98tfm/m.

V.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- q_t (MÍN) = 9,63 tf/m²;
- q_p (MÁX) = 5,76 tf/m²;
- q_f (MÍN) = 10,29 tf/m²;
- $L't = 1,30\text{m}$;
- $L'p = 1,80\text{ m}$;
- $L'f = 1,30\text{m}$;
- $S1 = 5,12$;
- $S2 = 4,44$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 4,17$;
- $m2 = 4,17$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 16,36$;
- $X1 = -1,03\text{tfm/m}$;
- $X2 = -0,82\text{tfm/m}$.

V.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = 10,13tf/m²;
- q_p (MÁX) = 5,76tf/m²;
- q_f (MÁX) = 10,79tf/m²;
- $L't = 1,30\text{m}$;
- $L'p = 1,80\text{m}$;
- $L'f = 1,30\text{m}$.
- $S1 = 5,27$;
- $S2 = 5,78$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 4,17;$
- $m2 = 4,17;$
- $m1*m2 - 1 = 16,36;$
- $X1 = -0,99\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,15\text{tfm/m}.$

V.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,03\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,15\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 1,00\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 1,41\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 1,13\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 6,58\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 5,18\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 7,01\text{tf/m}.$

3.1.3 2705 - Obra 03 (BSCC - 1,00 X 1,50) - Est. 468+0,52m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- $Bi = \text{largura interna} = 1,00\text{m};$
- $Li = \text{altura interna} = 1,50\text{m};$

- L = comprimento longitudinal = 53,12m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção Sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 6,90m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo das Pressões (Tubulação sem Água)

Pressões Verticais na Laje Superior:

- P_{vs} = pressão vertical na laje superior;
- $P_{vs_{\text{máx}}} = 6,90 \times 1,80 + 0,50 = 12,92 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs_{\text{mín}}} = 7,25 \times 1,80 = 12,42 \text{ tf/m}^2$.

Pressões Horizontais nas Paredes Laterais:

Considera-se o empuxo ativo quando a pressão vertical for máxima e o empuxo em repouso quando a pressão vertical for mínima.

- $Ph_{1\text{máx}} = 0,50 \times 6,90 \times 1,80 = 6,21 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{2\text{máx}} = 0,50 \times (6,90 + 2,10) \times 1,80 = 8,10 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{\text{médio,máx}} = 7,16 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{1\text{mín}} = 0,33 \times 6,90 \times 1,80 = 4,10 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{2\text{mín}} = 0,33 \times (6,90 + 2,10) \times 1,80 = 5,35 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{\text{médio,mín}} = 4,73 \text{ tf/m}^2$.

Pressões Verticais na Laje Inferior (Fundação)

- P_{pp} = peso próprio da laje superior e das paredes laterais;
- $P_{pp} = 0,25 \times 1,60 \times 2,50 + 2 \times 0,25 \times 1,50 \times 2,50 = 2,88 \text{ tf/m}$;
- P_{vi} = pressão vertical na laje inferior;

- $P_{vi_{m\acute{a}x}} = P_{pp}/(1,00 \times 1,60) + P_{vs_{m\acute{a}x}} = 1,80 + 12,92 = 14,72 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vi_{m\acute{i}n}} = P_{pp}/(1,00 \times 1,60) + P_{vs_{m\acute{i}n}} = 1,80 + 12,42 = 14,22 \text{ tf/m}^2$.

c.2) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item V)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção Sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,25m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- e_e = distância entre eixos = 1,50m;
- e_r = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (e_e - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (e_r - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,25 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 4,05 + 1,14 + 0,50 = 5,69 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem muito superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,31 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 1,31 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 8,40 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8400/(100 \times 25) = 4,70 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2$
OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -1,31 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -1,44 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 1,53 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 6,44 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -1,44 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 1,43 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 8,82 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8820/(100 \times 25) = 4,94 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2$
OK

III. ESTRUTURA DE ENTRADA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times (0,65+2,00)/2 = 0,16 + 0,80 = 0,96 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,16 \times (1,325)^2/2 + (0,96 - 0,16) \times (1,325)^2/6 = 0,14 + 0,23 = 0,37 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = (1,00 + 6,70)/2 \times 2,85 = 10,97 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times (0,65+2,00)/2 \times 2,85 \times 0,25 \times 2,50 = 4,72 \text{ tf}$;
- $P_v = 4,72 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/S_F - p_p(\text{laje}) = 4,72/10,97 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 0 \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (25/40)

- $A_{s_{\min}} = 1,50 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{\text{sup}} = 3\Phi 10$;
 $A_{s_{\inf}} = 3\Phi 10$;
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{s_w} = \Phi 6.3 \text{ c. 20}$.

IV. ESTRUTURA DE SAÍDA

IV.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times (0,25+2,50)/2 = 0,16 + 0,83 = 0,99 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,16 \times (1,375)^2/2 + (0,99 - 0,16) \times (1,375)^2/6 = 0,15 + 0,20 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

IV.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = (1,00 + 1,50)/2 \times 2,85 = 3,56 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times (0,25+2,50)/2 \times 2,85 \times 0,25 \times 2,50 = 4,90 \text{ tf}$;
- $P_v = 4,90 \text{ tf}$;

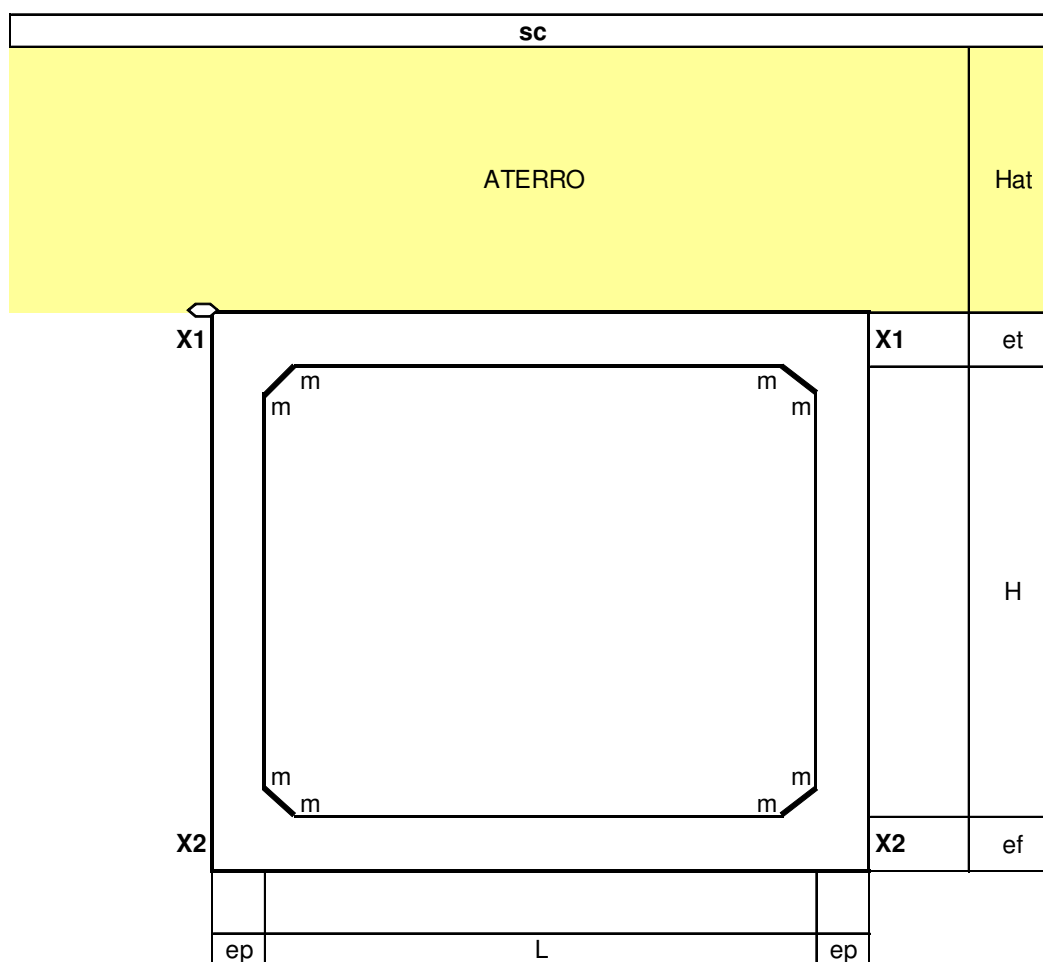
- $q = \sigma_s = P(\text{paredes})/S_F = 4,90/3,56 = 1,38 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 1,38 (1,25)^2/8 = 0,27 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

IV.III "CUTOFF" (25/40)

- $A_{s_{\min}} = 2,25 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\sup}} = 3\Phi 10$;
 $A_{s_{\inf}} = 3\Phi 10$;
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{s_w} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

V. ESFORÇOS SOLICITANTES

V.I CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	6,90	m
L = largura interna da galeria =	1,00	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,15	m

V.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,5$.

V.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,30m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,30m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$. L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,30m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,30m$.

3.1.4 2705 - Obra 04 (BSCC-1,00 X 1,50) - Est. 493+15,00m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50\text{ tf}/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80\text{ tf}/m^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40\text{ tf}/m^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50\text{ tf}/m^3$;
- f_{ck} = 25 MPa .

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,00m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 61,54m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção Sob o Aterro Principal (Ver Item V)

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 7,90m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo das Pressões (Tubulação sem água)

- PRESSÕES VERTICAIS NA LAJE SUPERIOR;
- PRESSÕES HORIZONTAIS NAS PAREDES LATERAIS;
- Considera-se o empuxo ativo quando a pressão vertical for máxima e o empuxo em repouso quando a pressão vertical for mínima;
- *PRESSÕES HORIZONTAIS NA LAJE INFERIOR (FUNDAÇÃO).

c.2) Cálculo dos Esforços Solicitantes

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção Sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,00m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- e_e = distância entre eixos = 1,50m;
- e_r = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (e_e - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (e_r - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 1,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 1,80 + 1,14 + 0,50 = 3,44 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem muito superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,49 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,52 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 9,57 \text{ tf/m} \rightarrow T_{wd} = 1,4 \times 9570 / (100 \times 25) = 5,36 \text{ Kg/cm}^2 < T_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X = -1,56 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,70 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 7,25 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -1,62 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,63 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 9,99 \text{ tf/m} \rightarrow T_{wd} = 1,4 \times 9990 / (100 \times 25) = 5,59 \text{ Kg/cm}^2 < T_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURA DE ENTRADA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times (1,00 + 2,00) / 2 = 0,16 + 0,90 = 1,06 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,50)^2 / 2 + (1,06 - 0,16) \times (1,50)^2 / 6 = 0,18 + 0,34 = 0,52 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (1,00 + 6,70) / 2 \times 2,85 = 10,97 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times (1,00 + 2,00) / 2 \times 2,85 \times 0,25 \times 2,50 = 5,34 \text{ tf};$
- $P_v = 5,34 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes}) / SF - p_p(\text{laje}) = 5,34 / 10,97 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$

- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (25/50)

- $A_{smin} = 1,88 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 10;$
 $A_{inf} = 3\Phi 10;$
 $A_{pele} = 2 \times 2\Phi 6.3;$
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESTRUTURA DE SAÍDA

IV.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times (0,25+2,50)/2 = 0,16 + 0,83 = 0,99 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,375)^2/2 + (0,99 - 0,16) \times (1,375)^2/6 = 0,15 + 0,20 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

IV.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

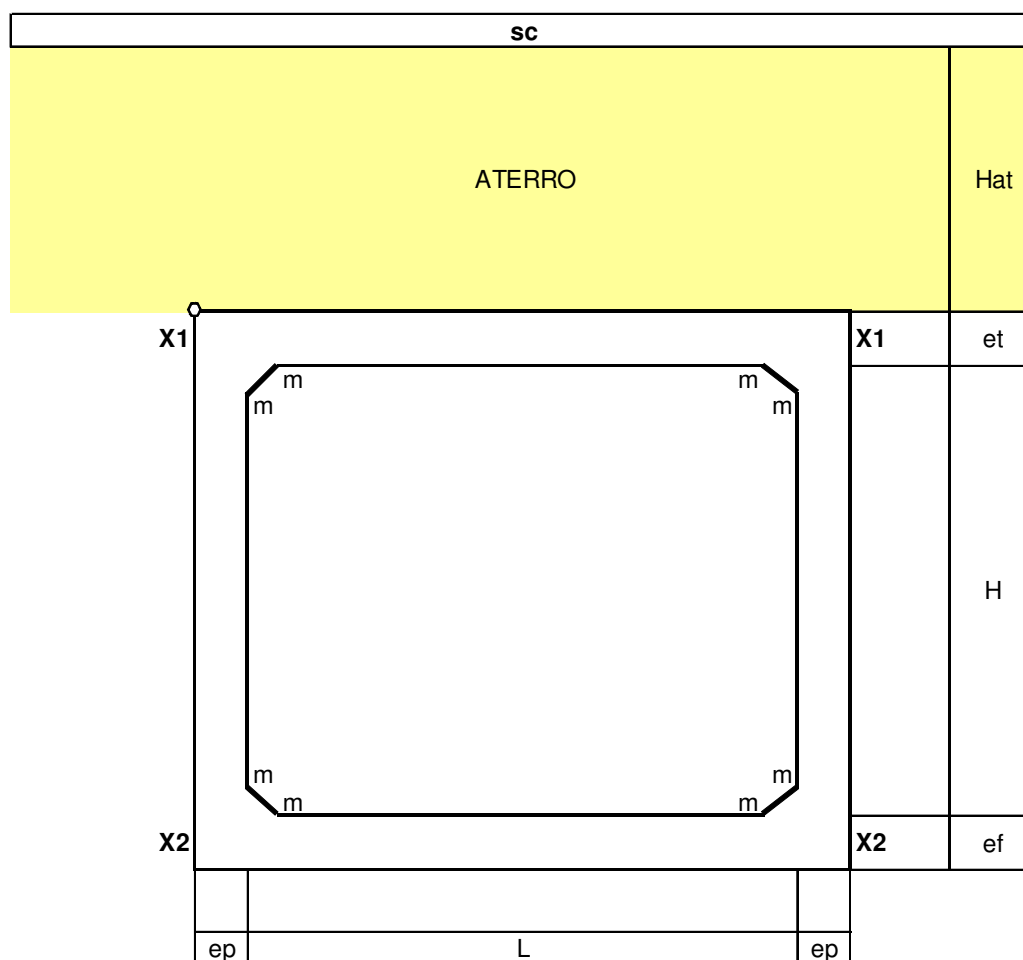
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (1,00 + 1,50)/2 \times 2,85 = 3,56 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times (0,25+2,50)/2 \times 2,85 \times 0,25 \times 2,50 = 4,90 \text{ tf};$
- $P_v = 4,90 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P(\text{paredes})/SF = 4,90/3,56 = 1,38 \text{ tf/m}^2;$
- $M = 1,38 (1,25)^2/8 = 0,27 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

IV.III “CUTOFF” (25/50)

- $A_{smin} = 1,88 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 10;$
 $A_{inf} = 3\Phi 10;$
 $A_{pele} = 2 \times 2\Phi 6.3;$
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

V. ESFORÇOS SOLICITANTES

V.I CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	7,90	m
L = largura interna da galeria =	1,00	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,15	m

V.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,5$.

V.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,30m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,30m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$. L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,30m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,30m$.

V.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$14,72tf/m^2$;
MÍN	$14,22tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$8,055tf/m^2$	K_o
MÍN	$5,32tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$15,38tf/m^2$;
MÍN	$14,88tf/m^2$.

V.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

V.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $14,72tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $5,32tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $15,38tf/m^2$;
- L'_t = $1,30m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,30m$;
- S_1 = $6,50$;
- S_2 = $6,99$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 4,17;$
- $m2 = 4,17;$
- $m1*m2 - 1 = 16,36;$
- $X1 = -1,23\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,38\text{tfm/m}.$

V.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 14,22\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,06\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 14,88\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,30\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,30\text{m};$
- $S1 = 7,39;$
- $S2 = 6,35.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 4,17;$
- $m2 = 4,17;$
- $m1*m2 - 1 = 16,36;$
- $X1 = -1,49\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,17\text{tfm/m}.$

V.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 14,72\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,06\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 15,38\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,30\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,30\text{m};$
- $S1 = 7,54;$
- $S2 = 8,17.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 4,17;$
- $m2 = 4,17;$
- $m1*m2 - 1 = 16,36;$
- $X1 = -1,42\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,62\text{tfm/m}.$

V.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,49\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,62\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 1,51\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 1,93\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 1,63\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 9,57\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 7,25\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 9,99\text{tf/m}.$

3.1.5 2705 - Obra 05 (BSCC-1,00 X 1,50) - Est. 538+15,30m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,00m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 56,02m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50

c) Seção sob o Aterro Principal (Ver Item V)

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 9,00m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação.
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$

c.1) Cálculo das Pressões (Tubulação sem água)

- * PRESSÕES VERTICAIS NA LAJE SUPERIOR;
- * PRESSÕES HORIZONTAIS NAS PAREDES LATERAIS;
- Considera-se o empuxo ativo quando a pressão vertical for máxima e o empuxo em repouso quando a pressão vertical for mínima.
- *PRESSÕES HORIZONTAIS NA LAJE INFERIOR (FUNDAÇÃO).

c.2) Cálculo dos Esforços Solicitantes

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

c.3) Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,69 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,73 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 10,86 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 10860 / (100 \times 25) = 6,08 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X = -1,76 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,91 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,14 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -1,82 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,85 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 11,28 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 11280 / (100 \times 25) = 6,32 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURA DE ENTRADA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times (1,00 + 2,00) / 2 = 0,16 + 0,90 = 1,06 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,50)^2 / 2 + (1,06 - 0,16) \times (1,50)^2 / 6 = 0,18 + 0,34 = 0,52 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (1,00 + 6,70) / 2 \times 2,85 = 10,97 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times (1,00 + 2,00) / 2 \times 2,85 \times 0,25 \times 2,50 = 5,34 \text{ tf};$
- $P_v = 5,34 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes}) / SF - p_p(\text{laje}) = 5,34 / 10,97 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (25/40)

- $A_{s\min} = 1,50 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s\sup} = 3\Phi 10;$

$$A_{s\inf} = 3\Phi 10;$$

$$A_{s\text{pele}} = 2 \times 2\Phi 6.3;$$

$$A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$$

IV. ESTRUTURA DE SAÍDA

IV.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times (0,50+2,50)/2 = 0,16 + 0,90 = 1,06 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,50)^2/2 + (1,06 - 0,16) \times (1,50)^2/6 = 0,18 + 0,34 = 0,52 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s\min} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

IV.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (1,00 + 1,65)/2 \times 3,85 = 5,10 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times (0,50+2,50)/2 \times 3,85 \times 0,25 \times 2,50 = 7,22 \text{ tf};$
- $P_v = 7,22 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P(\text{paredes})/SF = 7,22/5,10 = 1,42 \text{ tf/m}^2;$
- $M = 1,42 (1,33)^2/8 = 0,31 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s\min} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

IV.III “CUTOFF” (25/40)

- $A_{s\min} = 1,50 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s\sup} = 3\Phi 10;$

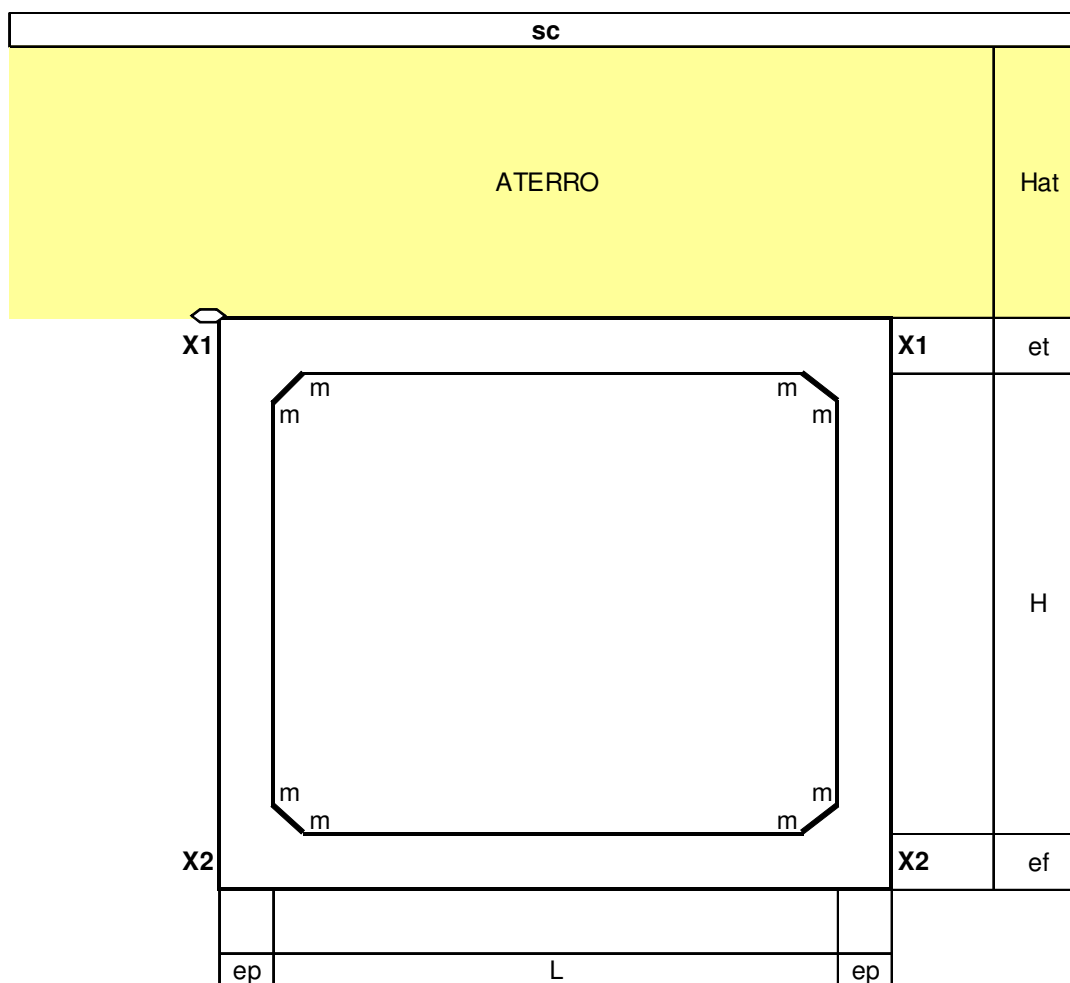
$$A_{s\inf} = 3\Phi 10;$$

$$A_{s\text{pele}} = 2 \times 2\Phi 6.3;$$

$$A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$$

V. ESFORÇOS SOLICITANTES

V.I CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	9,00	m
L = largura interna da galeria =	1,00	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,15	m

V.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,5$.

V.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,30m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,30m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$. L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,30m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,30m$.

V.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa = MÁX $16,7 \text{ tf/m}^2$;
MÍN $16,2 \text{ tf/m}^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados = MÁX $9,045 \text{ tf/m}^2$ K_o
MÍN $5,97 \text{ tf/m}^2$ K_a
- q_f = carga uniforme no fundo = MÁX $17,36 \text{ tf/m}^2$;
MÍN $16,86 \text{ tf/m}^2$.

V.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

V.V.I Hipótese 1: Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $16,70t/m^2$;
- q_p (MÍN) = $5,97t/m^2$;
- q_f (MÁX) = $17,36t/m^2$;
- L'_t = $1,30m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,30m$;
- S_1 = $7,36$;

- $S2 = 7,87$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 4,17$;
- $m2 = 4,17$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 16,36$;
- $X1 = -1,39 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -1,56 \text{tfm/m}$.

V.V.II Hipótese 2: Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 16,20 \text{tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 9,05 \text{tf/m}^2$;
- $qf \text{ (MÍN)} = 16,86 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,30 \text{m}$;
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,30 \text{m}$;
- $S1 = 8,37$;
- $S2 = 7,18$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 4,17$;
- $m2 = 4,17$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 16,36$;
- $X1 = -1,69 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -1,32 \text{tfm/m}$.

V.V.III Hipótese 3: Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 16,70 \text{tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 9,05 \text{tf/m}^2$;

- $q_f (\text{MÁX}) = 17,36 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 1,30 \text{ m}$;
- $L'p = 1,80 \text{ m}$;
- $L'f = 1,30 \text{ m}$;
- $S1 = 8,52$;
- $S2 = 9,20$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 4,17$;
- $m2 = 4,17$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 16,36$;
- $X1 = -1,61 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -1,82 \text{ tfm/m}$.

V.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,69 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -1,82 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{tampa}} = 1,73 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{parede}} = 2,16 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{fundo}} = 1,84 \text{ tfm/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 10,86 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 8,14 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 11,28 \text{ tf/m}$.

3.1.6 2705 - Obra 06 (BSCC-2,00 X 2,00) - Est. 567+18,54m - Lote 09)

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3$;

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.1 TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- $B_i = \text{largura interna} = 2,00\text{m}$;
- $L_i = \text{altura interna} = 2,00\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 62,12\text{m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- $k_a = \text{coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine)} = 0,33$;
- $k_0 = \text{coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine)} = 0,50$.

c) Seção Sob o Aterro Principal

- $h_s = \text{altura de terra acima da laje superior do tubo} = 9,70\text{m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo das Pressões (Tubulação sem Água)

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = \text{pressão vertical na laje superior}$;
- $P_{vs_{\text{máx}}} = 9,70 \times 1,80 + 0,50 = 17,96 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs_{\text{mín}}} = 9,70 \times 1,80 = 17,46 \text{ tf/m}^2$.

Pressões Horizontais nas Paredes Laterais:

- Considera-se o empuxo ativo quando a pressão vertical for máxima e o empuxo em repouso quando a pressão vertical for mínima;
- $Ph1_{\text{máx}} = 0,50 (9,70 \times 1,80 + 0,50) = 8,98 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph2_{\text{máx}} = 0,50 [(9,70 + 2,60) \times 1,80 + 0,50] = 11,32 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{\text{médio,máx}} = 10,15 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph1_{\text{mín}} = 0,33 \times 9,70 \times 1,80 = 5,76 \text{ tf/m}^2$;

- $Ph_{2\text{mín}} = 0,33 \times (9,70 + 2,60) \times 1,80 = 7,31 \text{ tf/m}^2$;
- $Ph_{\text{médio,mín}} = 6,54 \text{ tf/m}^2$.

Pressões Verticais na Laje Inferior (Fundação)

- P_{pp} = peso próprio da laje superior e das paredes laterais;
- $P_{pp} = 0,45 \times 2,90 \times 2,50 + 2 \times 0,45 \times 2,00 \times 2,50 = 3,26 + 4,50 = 7,76 \text{ tf/m}$;
- P_{ppf} = peso próprio da laje de fundo = $0,45 \times 2,50 = 1,13 \text{ tf/m}^2$;
- P_{vi} = pressão vertical na laje inferior;
- $P_{vi\text{máx}} = P_{pp}/(1,00 \times 2,90) + P_{vs\text{máx}} - P_{ppf} = 2,68 + 17,96 - 1,13 = 19,51 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vi\text{mín}} = P_{pp}/(1,00 \times 2,90) + P_{vs\text{mín}} - P_{ppf} = 2,68 + 17,46 - 1,13 = 17,89 \text{ tf/m}^2$.

c.2) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item V)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese** : Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese** : Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese** : Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

c.3) Seção Sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,00m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- e_e = distância entre eixos = 1,50m;
- e_r = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;

- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (e_e - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (e_r - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior

- $P_{vs} = 1,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + sc ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/((3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00)) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 1,80 + 1,14 + 0,50 = 3,44 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem muito superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

c.4) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -5,55 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 8,33 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,87 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 17,96 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 17960/(100 \times 40) = 6,29 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2$. **OK**

Paredes Laterais:

- $X_s = -5,55 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -6,39 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,01 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 10,29 \text{ tf/m} \rightarrow$ **OK**

Laje Inferior:

- $X = -6,39 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 8,75 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,23 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 19,51 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 19510 / (100 \times 40) = 6,82 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURA DE ENTRADA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,50/2 = 0,16 + 0,75 = 0,91 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,25)^2/2 + (0,91 - 0,16) \times (1,25)^2/6 = 0,13 + 0,20 = 0,33 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = (2,90 + 6,58)/2 \times 4,05 = 19,12 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 2,50/2 \times 4,05 \times 0,25 \times 2,50 = 6,33 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/S_F - p_p(\text{laje}) = 6,33/19,12 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,33 = \text{tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{s_{\min}} = 2,80 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\text{sup}}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s_{\text{inf}}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $A_{s_w} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESTRUTURA DE SAÍDA

IV.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,50/2 = 0,16 + 0,75 = 0,91 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,25)^2/2 + (0,91 - 0,16) \times (1,25)^2/6 = 0,13 + 0,20 = 0,33 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

IV.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

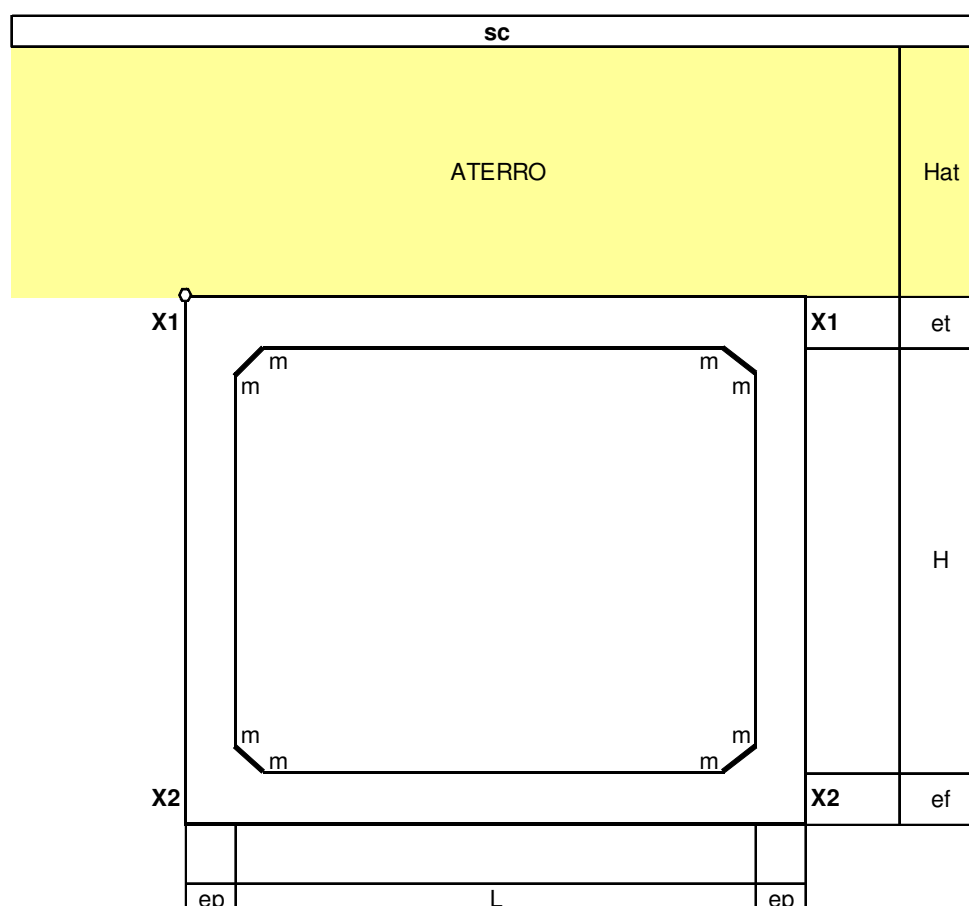
- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = (2,90 + 6,54)/2 \times 4,05 = 19,12 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 2,50/2 \times 4,05 \times 0,25 \times 2,50 = 6,33 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P(\text{paredes})/S_F = 6,33/19,12 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,33 \text{ tfm/m} \quad \rightarrow \quad A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 0 \quad \rightarrow \quad A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

IV.III “CUTOFF” (25/80)

- $A_{s_{\min}} = 2,80 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\sup}} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{s_{\inf}} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 4\Phi 6.3$;
 $A_{s_w} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

V. ESFORÇOS SOLICITANTES

V.I CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	9,70	m
L = largura interna da galeria =	2,00	m
H = altura interna da galeria =	2,00	m
et = espessura da laje de tampa =	0,45	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,45	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,45	m
m = extensão da mísula =	0,15	m

V.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,5t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,8t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,5t/m³;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

V.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 2,4m..... L't = comp. elástico da tampa = 2,45m;
- Lp = comprimento das paredes = 2,45m . L'p = comp. elástico das paredes = 2,45m;
- Lf = comprimento do fundo = 2,45m..... L'f = comp. elástico do fundo = 2,45m.

V.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa = MÁX 17,96 tf/m²;
MÍN 17,46 tf/m².
- qp = carga uniforme média nos lados = MÁX 10,29 tf/m² Ko
MÍN 6,62 tf/m² Ka
- qf = carga uniforme no fundo = MÁX 19,51 tf/m²;
MÍN 17,89 tf/m².

V.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

V.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÁX)} = 17,96 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÍN)} = 6,62 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÁX)} = 19,51 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 2,45 \text{ m}$;
- $L'p = 2,45 \text{ m}$;
- $L'f = 2,45 \text{ m}$;
- $S1 = 31,60$;
- $S2 = 34,58$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 * m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -5,14 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -5,89 \text{ tfm/m}$.

V.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÍN)} = 17,46 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÁX)} = 10,29 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÍN)} = 17,89 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 2,45 \text{ m}$;
- $L'p = 2,45 \text{ m}$;
- $L'f = 2,45 \text{ m}$;
- $S1 = 33,41$;
- $S2 = 35,07$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -5,50\text{tfm/m};$
- $X2 = -5,91\text{tfm/m}.$

V.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 17,96\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 10,29\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 19,51\text{tf/m}^2;$
- $L't = 2,45\text{m};$
- $L'p = 2,45\text{m};$
- $L'f = 2,45\text{m};$
- $S1 = 34,16;$
- $S2 = 37,51.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -5,55\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,39\text{tfm/m}.$

V.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -5,55\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,39\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 8,33\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 2,01\text{tfm/m};$

- $M_{\text{fundo}} = 8,75 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 17,96 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 10,29 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 19,51 \text{ tf/m}$.

3.2 SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO BRAÚNAS / RESERVATÓRIO MANDANTES - OBRAS DE DRENAGEM

3.2.1 2708 - Obra 01 (BSTC-1,20) - Est. 1097+11,91m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = $2,56 \text{ Mpa} = 25,6 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 5 cm ;
- w = abertura de fissuras $< 0,2 \text{ mm}$. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = $1,20 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $1,00 \text{ m}$;
- $L_{\text{TOTAL}} = 80,14 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k\mu = k\mu' = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala;
- ρ = razão de recalque = $-0,40$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $5,70\text{m}$;
- D_e = diâmetro externo do tubo = $1,40\text{m}$;
- b_v = largura da vala = $2,65\text{m}$;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,26\text{m}$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $5,70\text{m}$;
- $P_{vs} = 5,70 \times 1,80 = 10,26 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação.

Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$ Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm .

Será considerado um aterro sem boas condições de compactação.

O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção.

Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,25m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = 0,5 tf/m²;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20m \times 0,40m$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 1,25 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21$ tf;
- $Q_{vs} = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64$ tf/m²;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14$ tf/m²;

- $P_{vs} = 2,25 + 1,14 + 0,25 = 3,64 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($P_{vs} = 10,26 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 A 0,40m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s\text{mín}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,20m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes}$

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,76 \text{ tf};$
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,51 \text{ tf};$
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	$= 1,30 \text{ tf};$
Viga superior $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$	$= 0,52 \text{ tf}.$
- $P_v = 5,09 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s\text{min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{s\text{mín}} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s\text{sup}} = 3\Phi 10$;
 $A_{s\text{inf}} = 3\Phi 10$;
 $A_{s\text{pele}} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{s\text{w}} = \Phi 6.3 \text{ c. 20}.$

IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

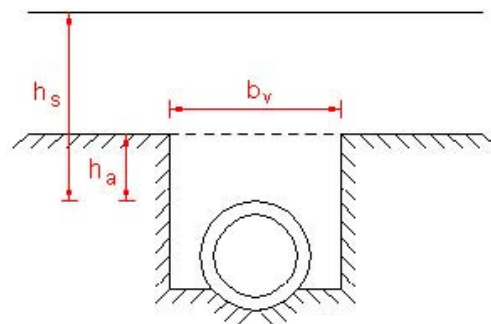
IV.I DADOS DA GEOMETRIA

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;

- Tipo: Ponta e bolsa.

IV.II DADOS DA INSTALAÇÃO

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = $-0,4$;
- Altura de terra (h_s): $5,70 \text{ m}$;
- Largura da vala (b_v) = $2,65 \text{ m}$;
- Altura (h_a) = $0,25 \text{ m}$;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



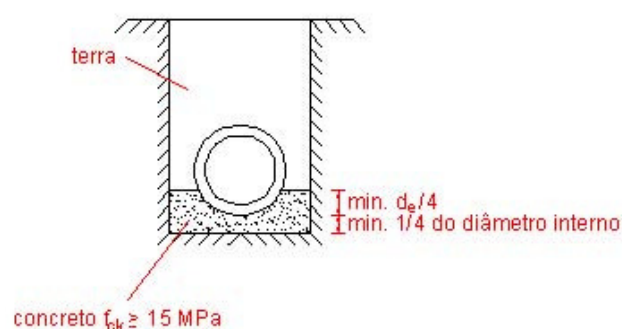
IV.III DADOS DA SOBRECARGA

- Valor = $5,00 \text{ kN/m}$.

IV.IV DADOS DA BASE

- Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo $1/4$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até $1/4$ do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

IV.V RESULTADOS - CLASSE

- Resistência necessária (calculada) = 170,26 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.2.2 Obra 03 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1251+13,47m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 49,34 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção Sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 5,60m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;

- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção Sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,70m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- e_e = distância entre eixos = 1,50m;
- e_r = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (e_e - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (e_r - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;

- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,77 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,65 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 7,94 \text{ tf/m} \rightarrow T_{wd} = 1,4 \times 7940/(100 \times 25) = 4,45 \text{ Kg/cm}^2 < T_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2$
OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -1,77 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -2,07 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 0,72 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 4,68 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,07 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,82 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 8,74 \text{ tf/m} \rightarrow T_{wd} = 1,4 \times 8740/(100 \times 25) = 4,89 \text{ Kg/cm}^2 < T_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2$
OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2$;

- $X = 0,16 \times (1,00)^2 / 2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2 / 6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

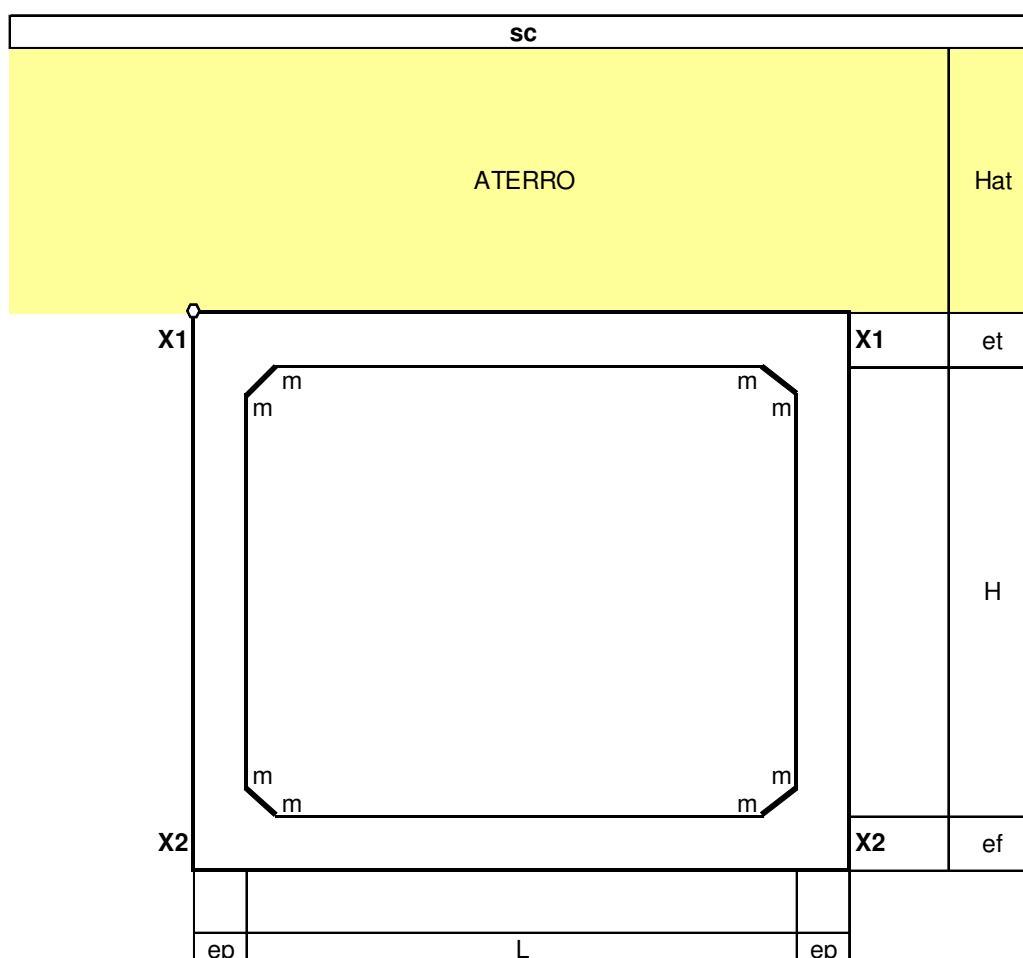
- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40) / 2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00 / 2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes}) / S_F - p_{p_f}(\text{laje}) = 5,38 / 12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (25/80)

- $A_{s_{\min}} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\sup}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s_{\inf}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $A_{s_w} = \Phi 6.3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	5,60	m
L = largura interna da galeria =	1,50	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,10	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,50t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,80 t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,50t/m³;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 1,80m..... L't = comp. elástico da tampa = 1,80m;
- Lp = comprimento das paredes = 1,80m . L'p = comp. elástico das paredes = 1,80m;
- Lf = comprimento do fundo = 1,80m..... L'f = comp. elástico do fundo = 1,80m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa = MÁX 10,58 tf/m²;
 MÍN 10,08 tf/m².
- qp = carga uniforme média nos lados = MÁX 6,24 tf/m² Ko
 MÍN 3,95 tf/m² Ka
- qf = carga uniforme no fundo = MÁX 11,65 tf/m²;
 MÍN 10,40 tf/m².

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1: Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 10,58 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 3,95 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 11,65 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{m}$;
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{m}$;
- $S1 = 10,06$;
- $S2 = 11,14$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -1,63 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -1,90 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2: Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 10,08 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 6,24 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 10,40 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{m}$;
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{m}$;
- $S1 = 10,52$;
- $S2 = 11,12$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,73\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,88\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3: Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 10,58\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,24\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 11,65\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 10,93;$
- $S2 = 12,13.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,77\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,07\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,77\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,07\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 2,65\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 0,72\text{tfm/m};$

- $M_{\text{fundo}} = 2,82 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 7,94 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 4,68 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 8,74 \text{ tf/m}$.

3.2.3 2708 - Obra 04 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1275+7,01m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = $1,50 \text{ m}$;
- L_i = altura interna = $1,50 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $75,57 \text{ m}$;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = $0,33$;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = $0,50$.

c) Seção Sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = $6,40 \text{ m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção Sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,90m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = 0,5 tf/m²;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- e_e = distância entre eixos = 1,50m;
- e_r = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r$ = 0,20m x 0,40m;
- $h_{cl} = (e_e - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $h_{ct} = (e_r - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 1,90 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + p_p ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;

- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00) (6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,42 + 1,14 + 0,75 = 5,31 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

e.1) Laje Superior

- $X = -2,01 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,01 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 9,02 \text{ tf/m} \rightarrow T_{wd} = 1,4 \times 9020 / (100 \times 25) = 5,05 \text{ Kgf/cm}^2 < T_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2$. **OK**

e.2) Paredes Laterais

- $X_s = -2,01 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -2,32 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 0,77 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 5,22 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,32 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,17 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 9,82 \text{ tf/m} \rightarrow T_{wd} = 1,4 \times 9820 / (100 \times 25) = 5,50 \text{ Kgf/cm}^2 < T_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2$ **OK**

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

$$p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$$

$$p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$$

$$X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

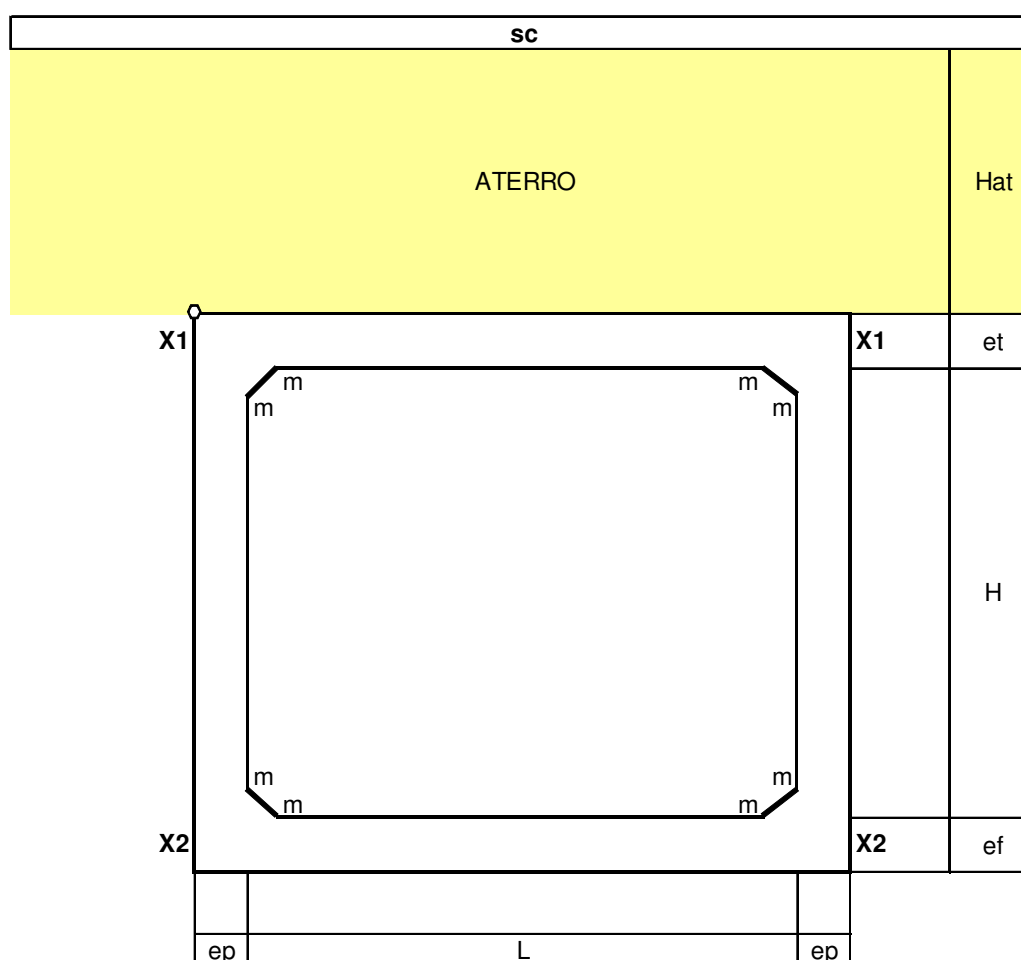
- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/S_F - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 0 \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (25/80)

- $A_{s_{\min}} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\sup}} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{s_{\inf}} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 4\Phi 6.3$;
 $A_{s_w} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	6,40	m
L = largura interna da galeria =	1,50	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,10	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 1,80m..... L't = comp. elástico da tampa = 1,80m;
- Lp = comprimento das paredes = 1,80m . L'p = comp. elástico das paredes = 1,80m;
- Lf = comprimento do fundo = 1,80m..... L'f = comp. elástico do fundo = 1,80m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa = MÁX 12,02 tf/m²;
 MÍN 11,52 tf/m².
- qp = carga uniforme média nos lados = MÁX 6,96 tf/m² Ko
 MÍN 4,43 tf/m² Ka
- qf = carga uniforme no fundo = MÁX 13,09 tf/m²;
 ■MÍN 11,84 tf/m².

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1: Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 12,02 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 4,43 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 13,09 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{m}$;
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{m}$;
- $S1 = 11,41$;
- $S2 = 12,52$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -1,86 \quad \text{tfm/m}$;
- $X2 = -2,13 \quad \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 11,52 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 6,96 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 11,84 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{m}$;
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{m}$;
- $S1 = 11,96$;
- $S2 = 12,60$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,97 \quad \text{tfm/m};$
- $X2 = -2,13 \quad \text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 12,02\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,96\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 13,09\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 12,37;$
- $S2 = 13,61.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,01\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,32\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,01\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,32\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 3,01\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 0,77\text{tfm/m};$

- $M_{\text{fundo}} = 3,17 \text{ tfm/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 9,02 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 5,22 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 9,82 \text{ tf/m}$.

3.2.4 2708 - Obra 05 (BSTC-1,20) - Est. 1299+17,71m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = $2,56 \text{ Mpa} = 25,6 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 3 cm ;
- w = abertura de fissuras $< 0,2 \text{ mm}$. ($n = 2$)
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = $1,20 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $1,00 \text{ m}$;
- $L_{\text{TOTAL}} = 60,43 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k\mu = k\mu' = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = $0,50$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $5,80\text{m}$;
- D_e = diâmetro externo do tubo = $1,40\text{m}$;
- b_v = largura da vala = $2,65\text{m}$;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,26\text{m}$;

c) Seção Sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $6,70\text{m}$;
- $P_{vs} = 6,70 \times 1,80 = 12,06 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm .

Será considerado um aterro sem boas condições de compactação.

O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção.

Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção Sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,85m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- e_e = distância entre eixos = 1,50m;
- e_r = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (e_e - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (e_r - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 1,85 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,33 + 1,14 + 0,50 = 4,97 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($P_{vs} = 12,06 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 A 0,40m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão de vida à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,20m)

- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$
- $P_v = \text{Paredes}$

$$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50 = 1,76 \text{ tf};$$

$$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50 = 1,51 \text{ tf};$$

$$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50 = 1,30 \text{ tf};$$
- Viga superior

$$0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50 = 0,52 \text{ tf}.$$
- $P_v = 5,09 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v/S_F = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 \times (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.I “CUTOFF” (28/66)

- $A_{s_{\min}} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\sup}} = 3\Phi 10$;
 $A_{s_{\inf}} = 3\Phi 10$;
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{s_w} = \Phi 6.3 \text{ c. 20}.$

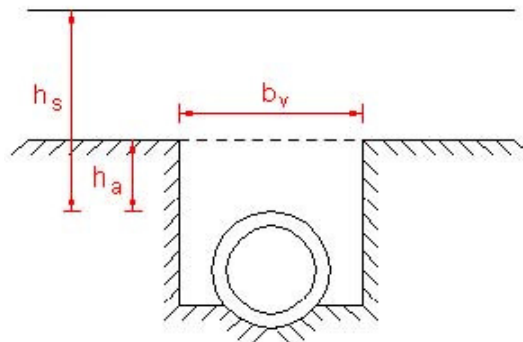
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

IV.I DADOS DA GEOMETRIA

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

IV.II DADOS DA INSTALAÇÃO

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = $-0,4$;
- Altura de terra (h_s): $6,70\text{m}$;
- Largura da vala (b_v) = $2,65\text{m}$;
- Altura (h_a) = $0,25\text{m}$;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



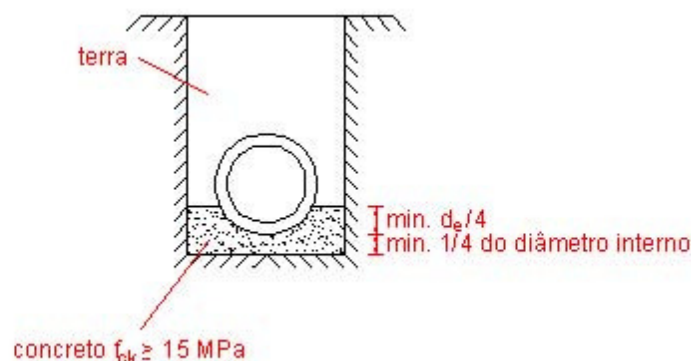
IV.III DADOS DA SOBRECARGA

- Valor = $5,00 \text{ kN/m}$

IV.IV DADOS DA BASE

- Tipo: Base de concreto (Classe A)

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo $1/4$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até $1/4$ do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

IV.V RESULTADOS - CLASSE

- Resistência necessária (calculada) = 202,37 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo = PA4.

3.2.5 2708 - Obra 06 (BSTC-1,20) - Est. 1311+3,02m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = 2,56 Mpa = 25,6 Kgf/cm²;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 5 cm;
- w = abertura de fissuras < 0,2 mm. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = 1,20m;
- L = comprimento longitudinal = 1,00m;
- $L_{TOTAL} = 70,49$ m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
- k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
- μ = coeficiente de atrito interno do solo;
- μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala;
- ρ = razão de recalque = 0,50 (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 5,60m;
- D_e = diâmetro externo do tubo = 1,46m;
- b_v = largura da vala = 2,65m;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,31$ m.

c) Seção Sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 5,80m;
- $P_{vs} = 5,60 \times 1,80 = 10,08 \text{ tf/m}^2$.

Será considerado um aterro com boas condições de compactação.

Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$ Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á "BASES DE CONCRETO OU CLASSE A", ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm.

Será considerado um aterro sem boas condições de compactação.

O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção.

Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção Sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 3,16m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = 0,5 tf/m²;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r$ = 0,20m x 0,40m;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 4,93 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;

- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 8,87 + 1,14 + 0,50 = 10,51 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($P_{vs} = 10,08 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 A 0,40m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,20m)

- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$
- $P_v = \text{Paredes}$

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	= 1,76 tf;
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	= 1,51 tf;
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	= 1,30 tf;
- Viga superior - $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50 = 0,52 \text{ tf}$;
- $P_v = 5,09 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v/S_F = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III "CUTOFF" (28/66)

- $A_{smín} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 10$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 10$;
 $A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

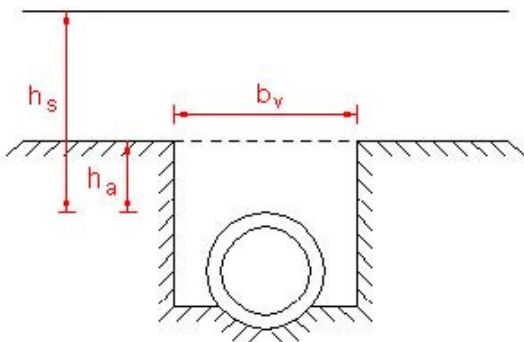
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

IV.I DADOS DA GEOMETRIA

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

IV.II DADOS DA INSTALAÇÃO

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = 18,00 kN/m³;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = -0,4;
- Altura de terra (h_s): 5,60 m;
- Largura da vala (b_v) = 2,65 m;
- Altura (h_a) = 0,25 m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



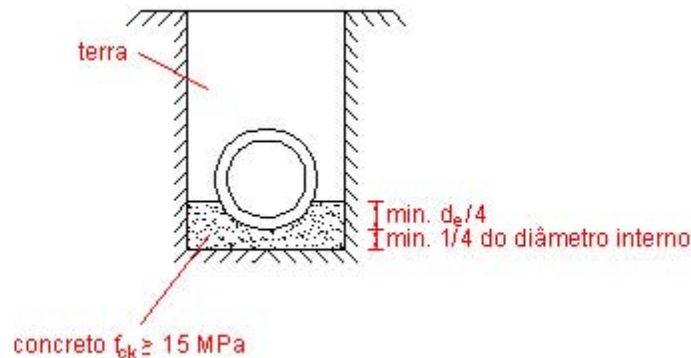
IV.III DADOS DA SOBRECARGA

- Valor = 5,00 kN/m;

IV.IV DADOS DA BASE

- Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

IV.V RESULTADOS - CLASSE

- Resistência necessária (calculada) = 168,70 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.2.6 2708 - Obra 07 (BSTC-1,20) - Est. 1335+9,48m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- S_c = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = 2,56 Mpa = 25,6 Kgf/cm²;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;

- e = cobrimento da armadura = 5 cm;
- w = abertura de fissuras < 0,2 mm. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk}/(1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = 1,20m;
- L = comprimento longitudinal = 1,00m;
- $L_{TOTAL} = 62,86 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = 0,50 (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 7,30m;
- D_e = diâmetro externo do tubo = 1,40m;
- b_v = largura da vala = 2,65m;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,26\text{m}$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 7,30m;
- $P_{vs} = 7,30 \times 1,80 = 13,14 \text{ tf/m}^2$.

Será considerado um aterro com boas condições de compactação.

Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$ Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm.

Será considerado um aterro sem boas condições de compactação.

O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção.

Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,60m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;

- Dimensões das rodas = ar x br = 0,20m x 0,40m;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para $hequiv$ maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,60 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 4,68 + 1,14 + 0,25 = 6,07 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 13,14 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 A 0,40m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,20m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- $Pv = \text{Paredes}$

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,76 \text{ tf}$;
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,51 \text{ tf}$;
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	$= 1,30 \text{ tf}$;
Viga superior $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$	$= 0,52 \text{ tf}$.
- $Pv = 5,09 \text{ tf}$;

- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{smin} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 10$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 10$;
 $A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

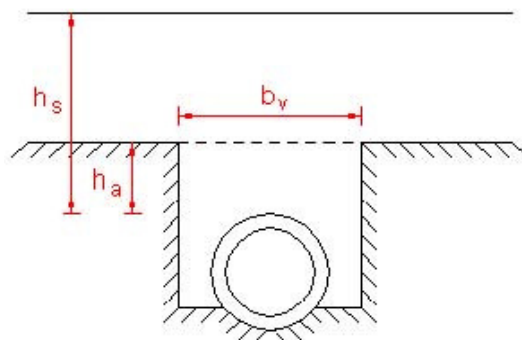
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

IV.I DADOS DA GEOMETRIA

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

IV.II DADOS DA INSTALAÇÃO

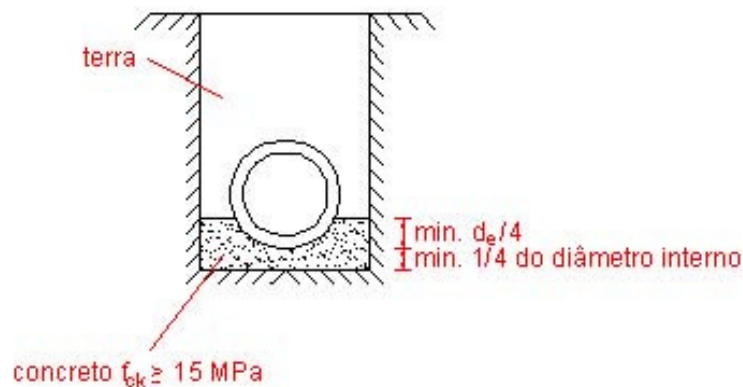
- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = $-0,4$;
- Altura de terra (h_s): 7,30 m;
- Largura da vala (b_v) = 2,65 m;
- Altura (h_a) = 0,25 m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



IV.III DADOS DA SOBRECARGA

- Valor = 5,00 kN/m;
- Dados da Base:
 - Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = $2,0\gamma_f = 1,50$

IV.IV RESULTADOS - CLASSE

- Resistência necessária (calculada) = 178,89 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.2.7 Obra 08 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1362+2,98m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 67,72m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 9,85m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,55m;
- Carga Móvel: Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- e_e = distância entre eixos = 1,50m;
- e_r = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (e_e - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (e_r - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + p_p ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -3,21 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 4,82 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 5,31 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 13,67 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 13670/(100 \times 30) = 6,37 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -3,21 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;

- $X_i = -3,60 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,05 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 7,58 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -3,60 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 4,99 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 5,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 14,57 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 14570 / (100 \times 30) = 6,79 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

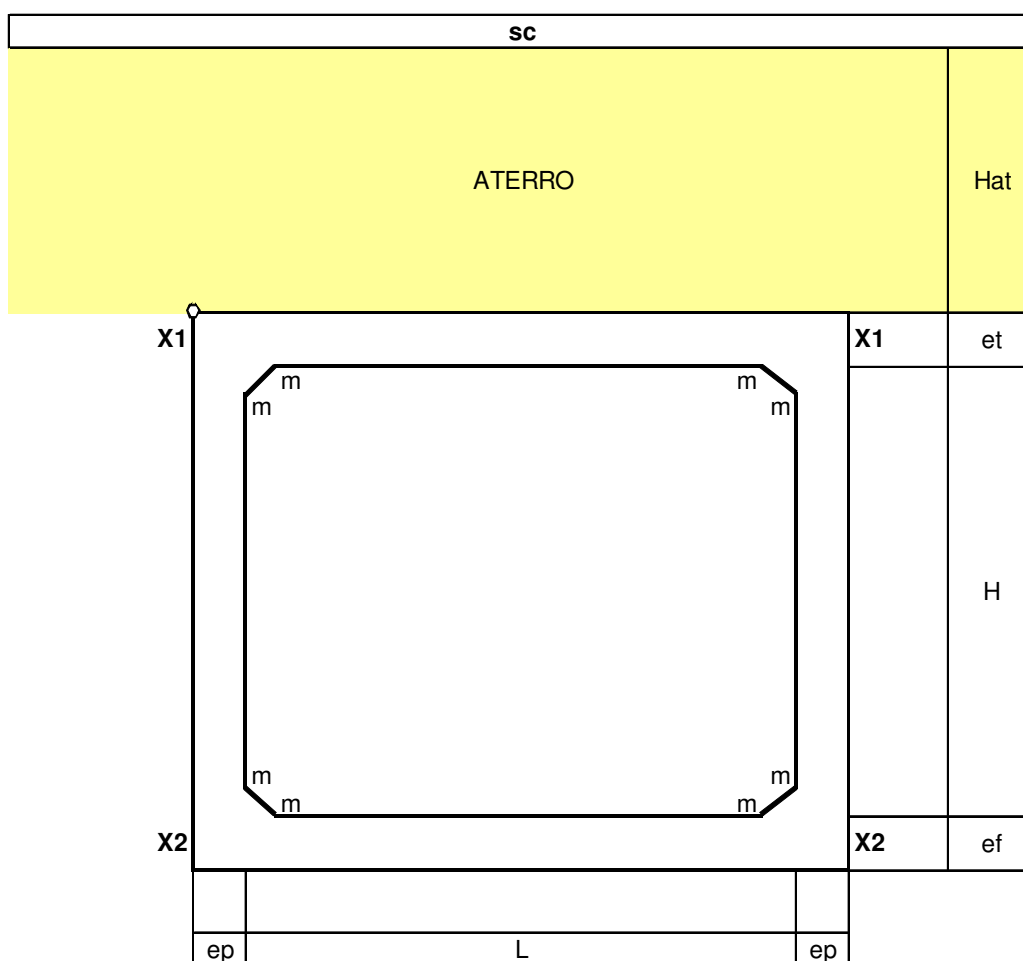
- $S_F = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/S_F - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (25/80)

- $A_{s_{\min}} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\text{sup}}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s_{\text{inf}}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $A_{s_w} = \Phi 6.3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 9,85 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,35 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,35 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,35 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5\text{t/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8\text{t/m}^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5\text{t/m}^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,85\text{m}$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,85\text{m}$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,85\text{m}$. L'_p = comp. elástico das paredes = $1,85\text{m}$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,85\text{m}$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,85\text{m}$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa = MÁX $18,23\text{tf/m}^2$;
MÍN $17,73\text{tf/m}^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados = MÁX $10,11\text{tf/m}^2$ K_o
MÍN $6,50\text{tf/m}^2$ K_a
- q_f = carga uniforme no fundo = MÁX $19,42\text{tf/m}^2$;
MÍN $18,05\text{tf/m}^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1: Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $18,23\text{tf/m}^2$;
- q_p (MÍN) = $6,50\text{tf/m}^2$;
- q_f (MÁX) = $19,42\text{tf/m}^2$;
- L'_t = $1,85\text{m}$;
- L'_p = $1,85\text{m}$;
- L'_f = $1,85\text{m}$;
- S_1 = $18,20$;
- S_2 = $19,59$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,98\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,32\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2: Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 17,73\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 10,11\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 18,05\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,85\text{m};$
- $L'p = 1,85\text{m};$
- $L'f = 1,85\text{m};$
- $S1 = 19,21;$
- $S2 = 20,05.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,17\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,38\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 18,23\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 10,11\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 19,42\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,85\text{m};$
- $L'p = 1,85\text{m};$
- $L'f = 1,85\text{m};$
- $S1 = 19,63827301;$
- $S2 = 21,23020828.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,21\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,60\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -3,21\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,60\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 4,82\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 1,05\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 4,99\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 13,67\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 7,58\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 14,57\text{tf/m}.$

3.2.8 2708 - Obra 09 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1392+10,89m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.1 TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- $B_i = \text{largura interna} = 1,50\text{m}$;
- $L_i = \text{altura interna} = 1,50\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 106,10 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- $k_a = \text{coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine)} = 0,33$;
- $k_0 = \text{coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine)} = 0,50$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- $h_s = \text{altura de terra acima da laje superior do tubo} = 17,20\text{m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

c.2) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- $h_s = \text{aterro sobre a galeria} = 0,60\text{m}$;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- $Q = \text{peso total do veículo} = 30 \text{ tf}$;
- $q = \text{carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados} = 0,5 \text{ tf/m}^2$;

- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- e_e = distância entre eixos = 1,50m;
- e_r = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (e_e - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (e_r - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para h_{equiv} maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

d) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -6,45 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 9,73 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 23,60 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 23600/(100 \times 45) = 7,34 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -6,45 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -7,10 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,84 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 12,64 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -7,10 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 9,92 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 24,72 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 24720 / (100 \times 45) = 7,69 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

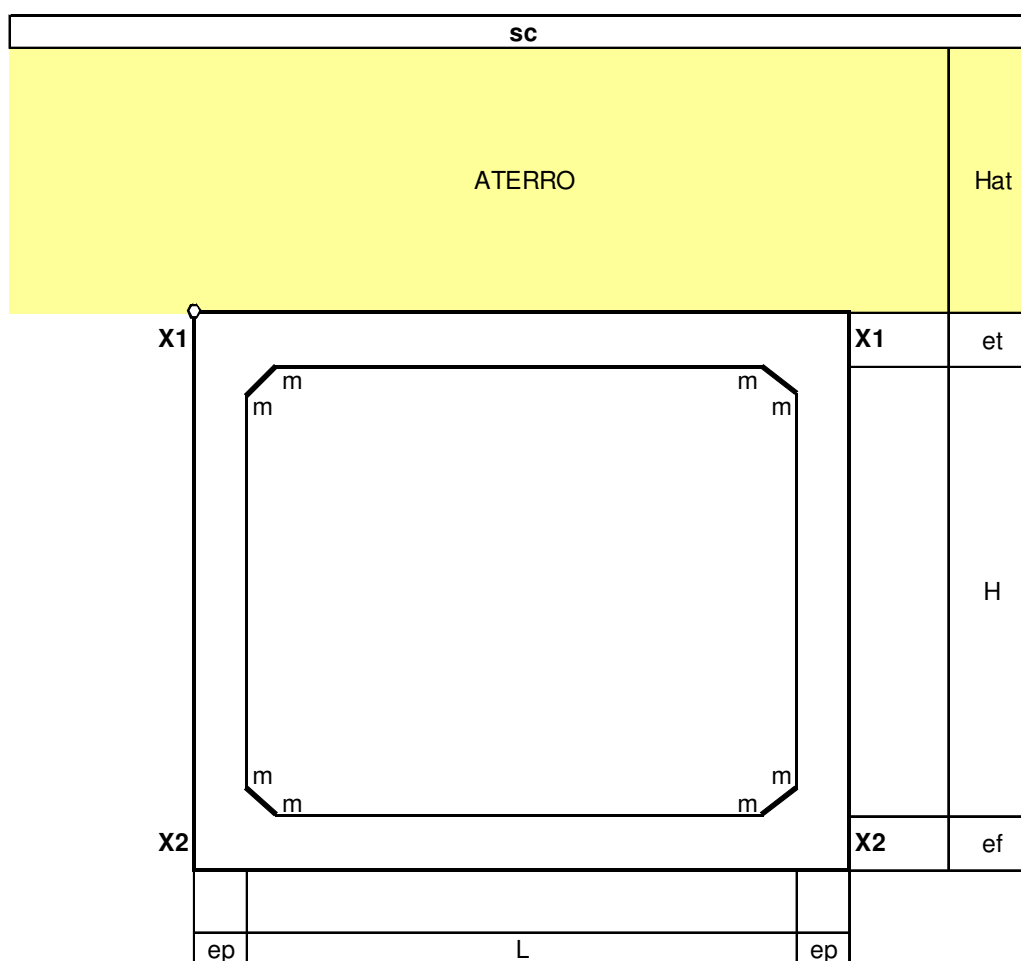
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes } 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow A_{s_{\min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{s_{\min}} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s_{\text{sup}}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s_{\text{inf}}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s_{\text{pele}}} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $A_{s_w} = \Phi 6,3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 17,20 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,50 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,50 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,50 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $2,00m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $2,00m$;
- L_p = comprimento das paredes = $2,00m$. L'_p = comp. elástico das paredes = $2,00m$;
- L_f = comprimento do fundo = $2,00m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $2,00m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa = MÁX $31,46tf/m^2$;
MÍN $30,96tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados = MÁX $16,86tf/m^2$ K_o
MÍN $10,96tf/m^2$ K_a
- q_f = carga uniforme no fundo = MÁX $32,96tf/m^2$;
MÍN $31,21tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1: Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $31,46tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $10,96tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $32,96tf/m^2$;
- L'_t = $2,00m$;
- L'_p = $2,00m$;
- L'_f = $2,00m$;
- S_1 = $36,58$;
- S_2 = $38,80$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -6,00\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,56\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 30,96\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 16,86\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 31,21\text{tf/m}^2;$
- $L't = 2,00\text{m};$
- $L'p = 2,00\text{m};$
- $L'f = 2,00\text{m};$
- $S1 = 38,84;$
- $S2 = 40,20.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -6,42\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,76\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 31,46\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 16,86\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 32,96\text{tf/m}^2;$

- $L't = 2,00\text{m};$
- $L'p = 2,00\text{m};$
- $L'f = 2,00\text{m};$
- $S1 = 39,34;$
- $S2 = 41,95.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -6,45\text{tfm/m};$
- $X2 = -7,10\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -6,45\text{tfm/m};$
- $X2 = -7,10\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 9,73\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 1,84\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 9,92\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 23,60\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 12,64\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 24,72\text{tf/m}.$

3.2.9 2708 - Obra 10 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1433+10,59m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 65,49 m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 7,15m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese** : Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese** : Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese** : Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,55m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred / (a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,23 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 10,03 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 10030 / (100 \times 25) = 5,61 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,23 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,55 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,82 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 5,72 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,55 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 3,50 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 4,63 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 10,83 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 10830 / (100 \times 25) = 6,06 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

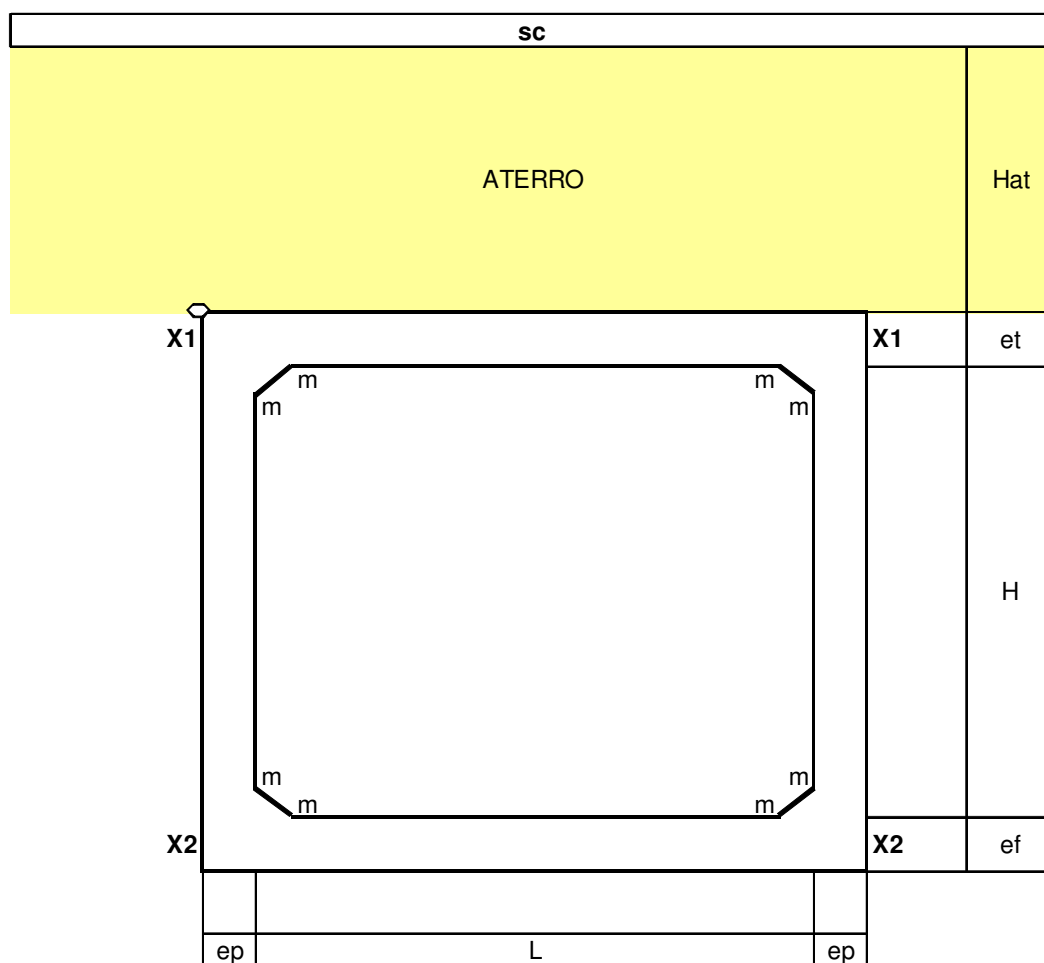
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 7,15 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$. L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$13,37tf/m^2$;
MÍN	$12,87tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$7,63tf/m^2$	K_o
MÍN	$4,87tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$14,44tf/m^2$;
MÍN	$13,19tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $13,37tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $4,87tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $14,44tf/m^2$;
- L'_t = $1,80m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,80m$;
- S_1 = $12,67$;
- S_2 = $13,80$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,07\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,35\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 12,87\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,63\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 13,19\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 13,31;$
- $S2 = 13,98.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,19\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,36\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 13,37\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,63 \text{ tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 14,44\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 13,72;$
- $S2 = 14,99.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,23\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,55\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,23\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,55\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 3,35\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 0,82\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 3,50\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 10,03\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 5,72\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 10,83\text{tf/m}.$

3.2.10 2708 - Obra 11 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1450+19,95m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 61,60 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 6,95m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,20m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred / (a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,17 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,26 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 9,76 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 9760 / (100 \times 25) = 5,46 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,17 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,49 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,80 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 5,59 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,49 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 3,41 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 4,51 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 10,56 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 10560 / (100 \times 25) = 5,91 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (E = 0,25M)

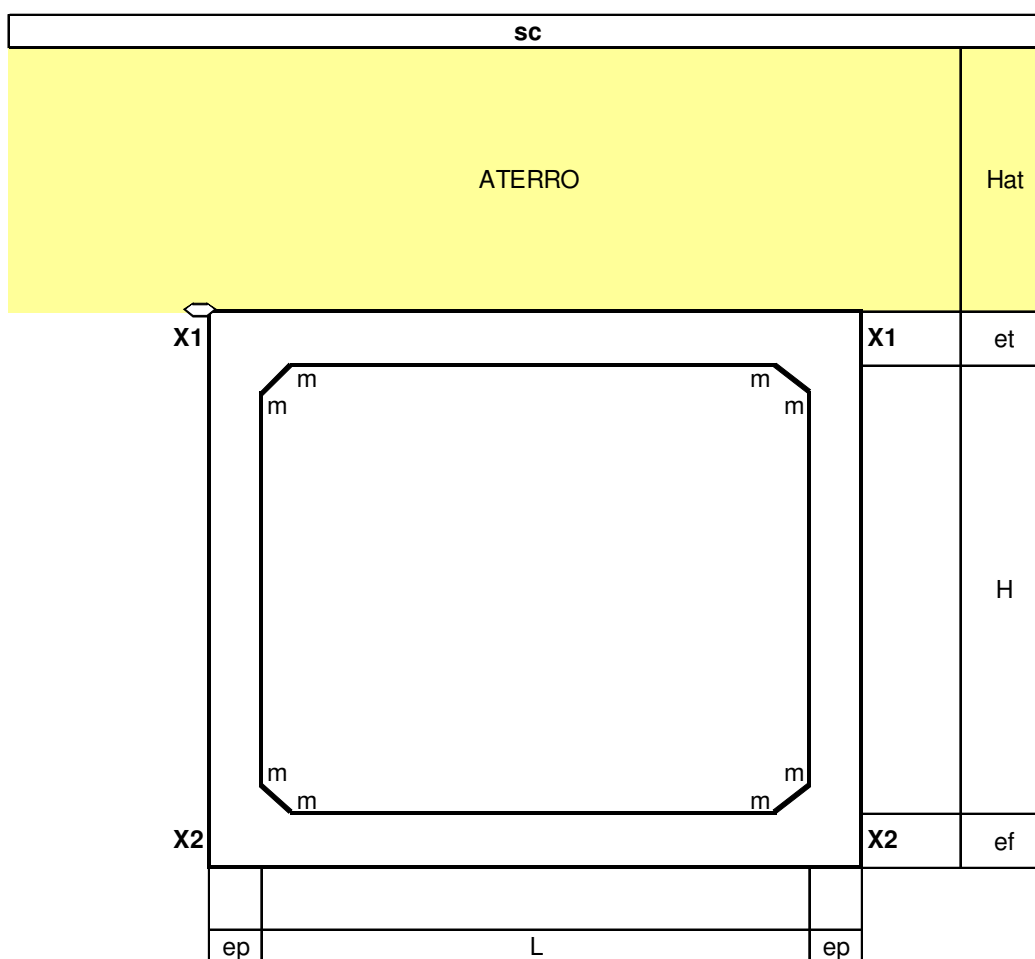
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	6,95	m
L = largura interna da galeria =	1,50	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,10	m

- $S2 = 13,46$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -2,01 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -2,29 \text{ tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 12,51 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 7,45 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 12,83 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{ m}$;
- $L'p = 1,80 \text{ m}$;
- $L'f = 1,80 \text{ m}$;
- $S1 = 12,95$;
- $S2 = 13,61$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -2,13 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -2,30 \text{ tfm/m}$.

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 13,01 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 7,45 \text{ tf/m}^2$;

- $q_f (\text{MÁX}) = 14,08 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{ m}$;
- $L'p = 1,80 \text{ m}$;
- $L'f = 1,80 \text{ m}$;
- $S1 = 13,36$;
- $S2 = 14,62$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -2,17 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -2,49 \text{ tfm/m}$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,17 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -2,49 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{tampa}} = 3,26 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{parede}} = 0,80 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{fundo}} = 3,41 \text{ tfm/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 9,76 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 5,59 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 10,56 \text{ tf/m}$.

3.2.11 2708 - Obra 13 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1475+13,75m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3$;

- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 93,92 m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 14,80m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,60m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados =

$0,5 \text{ tf/m}^2$;

- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $hcl = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $hct = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -5,56 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smín} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 8,39 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 20,36 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 20360/(100 \times 45) = 6,33 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$

Kgf/cm² OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -5,56 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -6,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,66 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 11,02 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -6,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 8,61 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 21,48 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 21480 / (100 \times 45) = 6,68 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK.}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^{2/2} + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^{2/6} = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

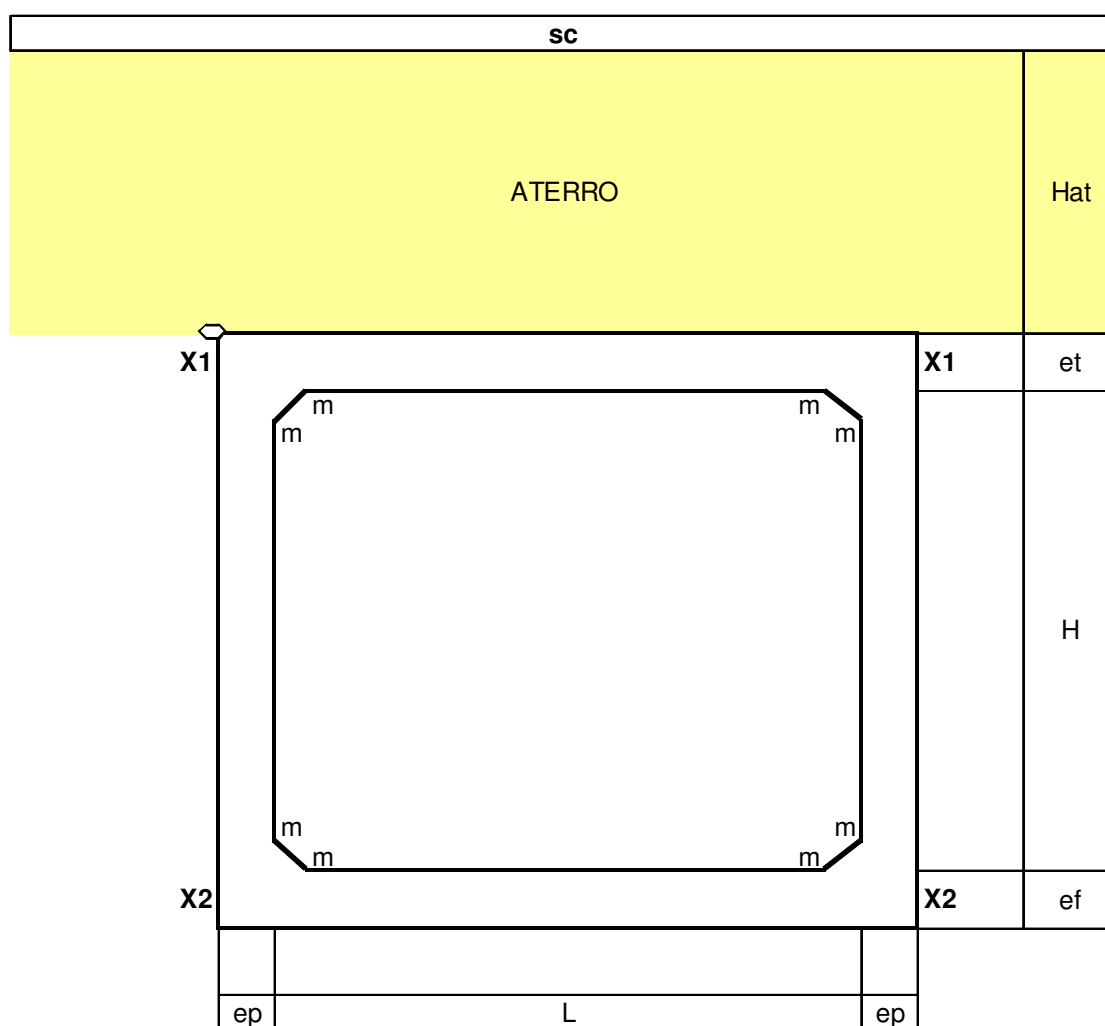
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 14,80 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,50 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,50 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,50 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $2,00m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $2,00m$;
- L_p = comprimento das paredes = $2,00m$. L'_p = comp. elástico das paredes = $2,00m$;
- L_f = comprimento do fundo = $2,00m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $2,00m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$27,14 \text{ tf/m}^2$;
MÍN	$26,64 \text{ tf/m}^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$14,70 \text{ tf/m}^2$	K_o
MÍN	$9,53 \text{ tf/m}^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$28,64 \text{ tf/m}^2$;
MÍN	$26,89 \text{ tf/m}^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

V.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $27,14 \text{ tf/m}^2$;
- q_p (MÍN) = $9,53 \text{ tf/m}^2$;
- q_f (MÁX) = $28,64 \text{ tf/m}^2$;
- L'_t = $2,00m$;
- L'_p = $2,00m$;
- L'_f = $2,00m$;
- S_1 = $31,60$;

- $S2 = 33,72$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -5,18 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -5,71 \text{ tfm/m}$.

V.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 26,64 \text{ tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 14,70 \text{ tf/m}^2$;
- $qf \text{ (MÍN)} = 26,89 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 2,00 \text{ m}$;
- $L'p = 2,00 \text{ m}$;
- $L'f = 2,00 \text{ m}$;
- $S1 = 33,51$;
- $S2 = 34,73$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -5,53 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -5,84 \text{ tfm/m}$.

V.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 27,14 \text{ tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 14,70 \text{ tf/m}^2$;

- $q_f (\text{MÁX}) = 28,64 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 2,00 \text{ m}$;
- $L'p = 2,00 \text{ m}$;
- $L'f = 2,00 \text{ m}$;
- $S1 = 34,01$;
- $S2 = 36,48$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -5,56 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -6,18 \text{ tfm/m}$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -5,56 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -6,18 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{tampa}} = 8,39 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{parede}} = 1,66 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{fundo}} = 8,61 \text{ tfm/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 20,36 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 11,02 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 21,48 \text{ tf/m}$.

3.2.12 2708 - Obra 14 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1497+10,51m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3$;

- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.1 TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 80,72 m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 11,60m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- 1ª HIPÓTESE : Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- 2ª HIPÓTESE : Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- 3ª HIPÓTESE : Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 5,65m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados =

0,5 tf/m²;

- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = ar x br = 0,20m x 0,40m
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Qvs$;
- $Qvs = Qred / (a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -3,76 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 5,66 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,26 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 16,04 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 16040 / (100 \times 30) = 7,48 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$

Kgf/cm² OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -3,76 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s\text{mín}} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -4,18 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s\text{mín}} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,16 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s\text{mín}} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,76 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -4,18 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s\text{mín}} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 5,80 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,42 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 16,93 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 16930 / (100 \times 30) = 7,90 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s\text{mín}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

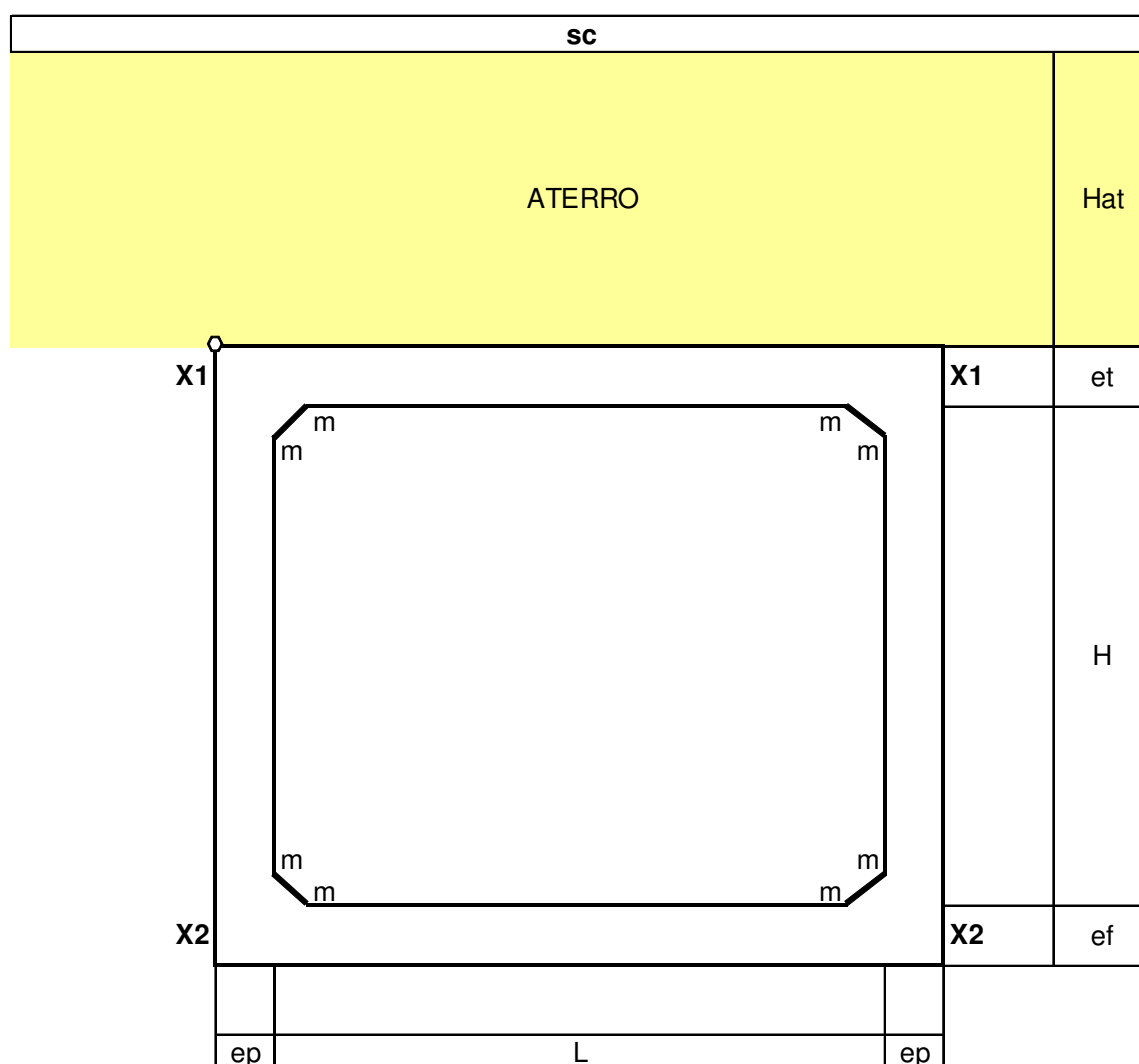
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow A_{s\text{min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow A_{s\text{min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{s\text{mín}} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s\text{sup}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s\text{inf}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s\text{pele}} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $A_{s\text{w}} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 11,60 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,35 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,35 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,35 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,5;
- t/m^2 γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,8t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,5t/m³;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = 1,85m..... L'_t = comp. elástico da tampa = 1,85m;
- L_p = comprimento das paredes = 1,85m... L'_p = comp. elástico das paredes = 1,85m;
- L_f = comprimento do fundo = 1,85m..... L'_f = comp. elástico do fundo = 1,85m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	21,38 tf/m ² ;
MÍN	20,88 tf/m ² .
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	11,68 tf/m ²	K_o
MÍN	7,54 tf/m ²	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	22,57 tf/m ² ;
MÍN	21,20 tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = 21,38tf/m²;
- q_p (MÍN) = 7,54tf/m²;
- q_f (MÁX) = 22,57tf/m²;
- L'_t = 1,85m;
- L'_p = 1,85m;
- L'_f = 1,85m;
- S_1 = 21,31;
- S_2 = 22,76.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,49\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,85\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 20,88\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 11,68\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 21,20\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,85\text{m};$
- $L'p = 1,85\text{m};$
- $L'f = 1,85\text{m};$
- $S1 = 22,54;$
- $S2 = 23,47.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,72\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,95\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 21,38\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 11,68\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 22,57\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,85\text{m};$
- $L'p = 1,85\text{m};$
- $L'f = 1,85\text{m};$
- $S1 = 22,96;$
- $S2 = 24,64.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,76\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,18\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -3,76\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,18\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 5,66\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 1,16\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 5,80\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 16,04\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 8,76\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 16,93\text{tf/m}.$

3.2.13 2708 - Obra 15 (BSTC-1,20) - Est. 1527+2,19m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3} \text{ em Mpa} = 2,56 \text{ Mpa} = 25,6 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $e = \text{cobrimento da armadura} = 5 \text{ cm}$;
- $w = \text{abertura de fissuras} < 0,2 \text{ mm. (n = 2)}$;
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- $D_i = \text{diâmetro interno} = 1,20\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 1,00\text{m}$;
- $L_{TOTAL} = 68,34 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala;
- ρ = razão de recalque = $0,50$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $7,26\text{m}$;
- D_e = diâmetro externo do tubo = $1,46\text{m}$;

- b_v = largura da vala = 2,65m;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,31\text{m}$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 7,26m;
- $P_{vs} = 7,26 \times 1,80 = 13,07 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$
Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção.
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 6,23m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;

- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = ar x br = 0,20m x 0,40m;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 6,23 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 6,23 + 1,14 + 0,50 = 7,87 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 13,07 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 a 0,40m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,23m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- $Pv = \text{Paredes}$

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	= 1,76 tf;
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	= 1,51 tf;
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	= 1,30 tf;
Viga superior $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$	= 0,52 tf.

- $P_v = 5,09 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,23 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{smin} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{ssup} = 3\Phi 10$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 10$;
 $A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

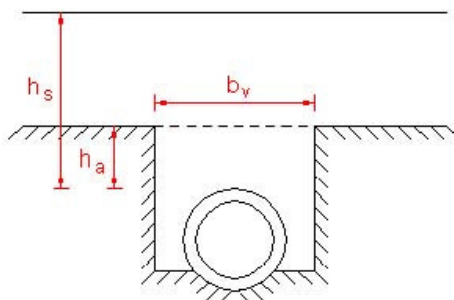
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = 18,00 kN/m³;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = -0,4;
- Altura de terra (h_s): 7 m;
- Largura da vala (b_v) = 2,65 m;
- Altura (h_a) = 0,25 m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



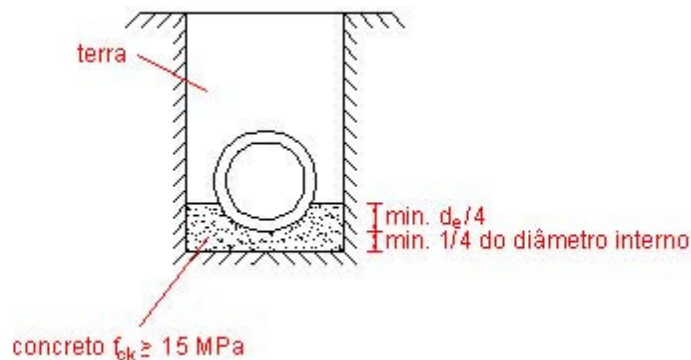
c) Dados da Sobrecarga

- Valor = 5,00 kN/m

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 213,66 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.2.14 2708 - Obra 16 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1546+11,96m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 55,12 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 6,00m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,45m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,89 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,83 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 8,48 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8480/(100 \times 25) = 4,74 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $Xs = -1,89 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;

- $X_i = -2,20 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,75 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 4,95 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,20 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 2,99 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 9,28 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 9280 / (100 \times 25) = 5,19 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2$
OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

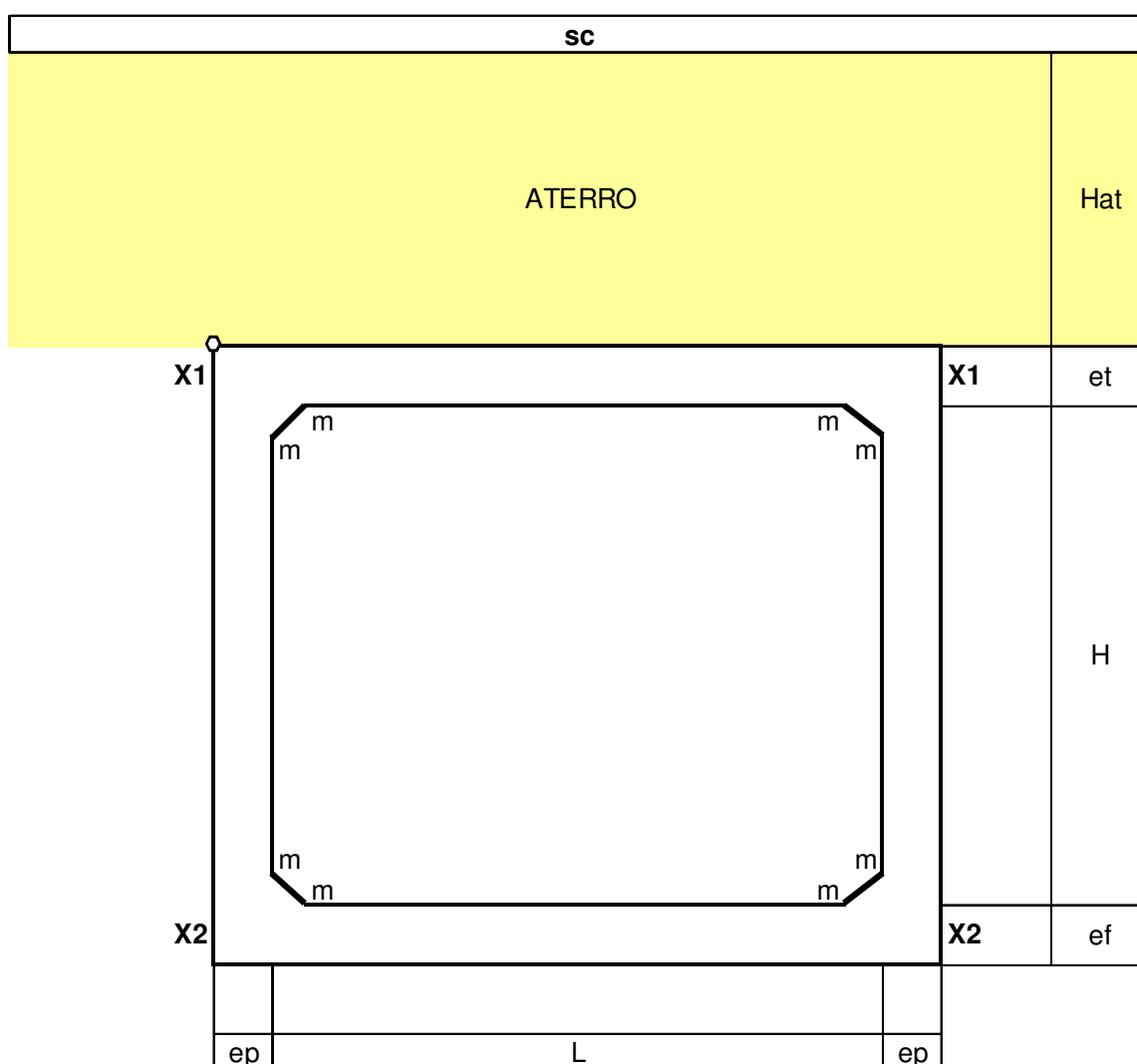
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6.3 \text{ c. 20.}$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 6,00 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$. L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$11,3tf/m^2$;
MÍN	$10,8tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$6,60tf/m^2$	K_o
MÍN	$4,19\ tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$12,37tf/m^2$;
MÍN	$11,12tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $11,30tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $4,19tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $12,37tf/m^2$;
- L'_t = $1,80m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,80m$;
- S_1 = $10,74$;
- S_2 = $11,83$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,74\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,02\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 10,80\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,60\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 11,12\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 11,24;$
- $S2 = 11,86.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,85\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,00\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 11,30\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,60\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 12,37\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 11,65;$
- $S2 = 12,87.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,89\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,20\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,89\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,20\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 2,83\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 0,75\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 2,99\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 8,48\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 4,95\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 9,28\text{tf/m}.$

3.2.15 2708 - Obra 17 (BSTC-1,20) - Est. 1575+3,55m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3} \text{ em Mpa} = 2,56 \text{ Mpa} = 25,6 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $e = \text{cobrimento da armadura} = 5 \text{ cm.}$;
- $w = \text{abertura de fissuras} < 0,2 \text{ mm. (n = 2)}$;
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

2.1 TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- $D_i = \text{diâmetro interno} = 1,20\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 1,00\text{m}$;
- $L_{\text{TOTAL}} = 108,87 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala;
- ρ = razão de recalque = $0,50$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $5,67\text{m}$;
- D_e = diâmetro externo do tubo = $1,46\text{m}$;

- $b_v = \text{largura da vala} = 2,65\text{m};$
- $h_a = \text{altura do tubo acima do fundo da vala} = 0,90 \times D_e = 1,31\text{m}.$

c) Seção sob o Aterro Principal

- $h_s = \text{altura de terra acima da geratriz superior do tubo} = 5,67\text{m};$
- $P_{vs} = 5,67 \times 1,80 = 10,21 \text{ tf/m}^2;$
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$
Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- $h_s = \text{aterro sobre a galeria} = 2,92\text{m};$
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- $Q = \text{peso total do veículo} = 30 \text{ tf};$
- $q = \text{carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados} = 0,5 \text{ tf/m}^2;$
- $h_{cl} = \text{profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada};$
- $h_{ct} = \text{profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas};$
- $ee = \text{distância entre eixos} = 1,50\text{m};$
- $er = \text{distância entre rodas} = 2,00\text{m};$

- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = ar x br = 0,20m x 0,40m;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 5,67 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Qvs$;
- $Qvs = Qred / (a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21 / (3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 5,67 + 1,14 + 0,50 = 7,31 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 10,21 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 a 0,40m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,23m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- $Pv = \text{Paredes}$

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	= 1,76 tf;
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	= 1,51 tf;
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	= 1,30 tf;
Viga superior $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$	= 0,52 tf.
- $Pv = 5,09 \text{ tf}$;

- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,23 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{smin} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 10$;
 $A_{inf} = 3\Phi 10$;
 $A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

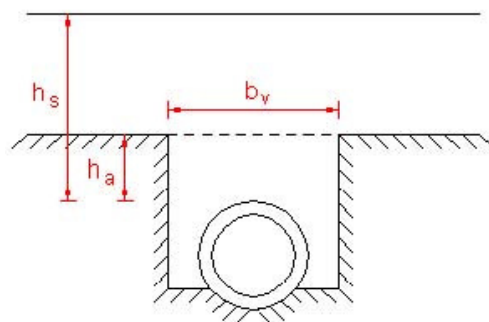
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = $-0,4$;
- Altura de terra (h_s): 5,67m;
- Largura da vala (b_v) = 2,65m;
- Altura (h_a) = 0,25m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



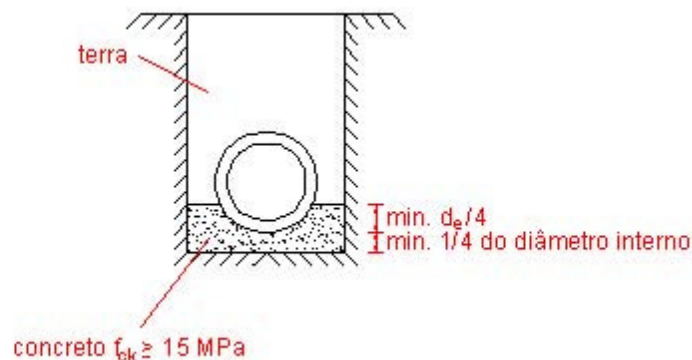
c) Dados da Sobrecarga

- Valor = 5,00 kN/m.

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 170,95 kN/m
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.2.16 2708 - Obra 18 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 1593+10,58m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- S_c = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 79,30m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 8,90m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 3,40m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred / (a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,91 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 4,37 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 12,39 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 12390 / (100 \times 30) = 5,78 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,91 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -3,29 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,99 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 6,94 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -3,29 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 4,54 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 13,28 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 13280 / (100 \times 30) = 6,19 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

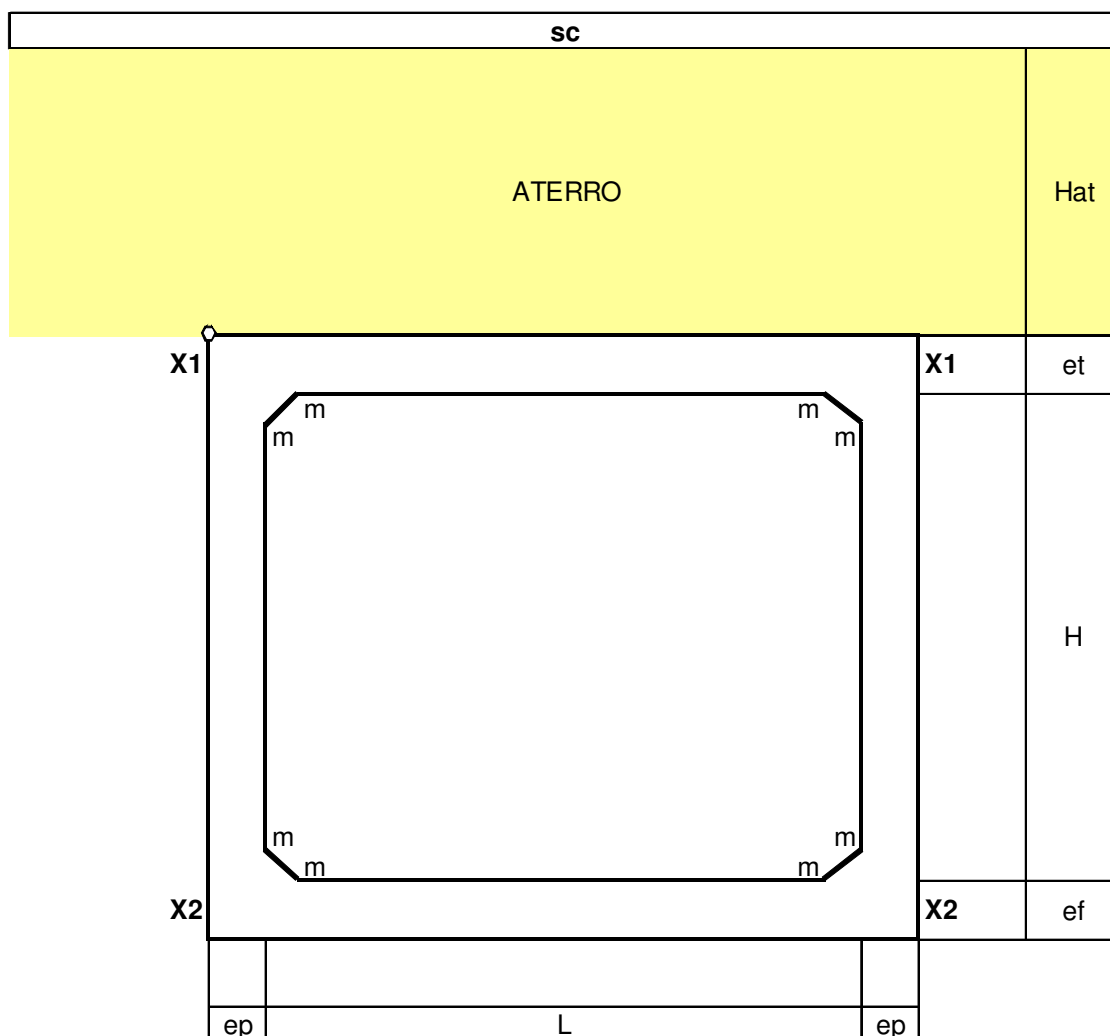
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	8,90	m
L = largura interna da galeria =	1,50	m
H = altura interna da galeria =	1,50	
et = espessura da laje de tampa =	0,35	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,35	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,35	m
m = extensão da mísula =	0,10	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,85m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,85m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,85m$ L'_p = comp. elástico das paredes = $1,85m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,85m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,85m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$16,52tf/m^2$;
MÍN	$16,02tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$9,25tf/m^2$	K_o
MÍN	$5,94tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$17,71tf/m^2$;
MÍN	$16,34tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $16,52tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $5,94tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $17,71tf/m^2$;
- L'_t = $1,85m$;
- L'_p = $1,85m$;
- L'_f = $1,85m$;
- S_1 = $16,51$;
- S_2 = $17,87$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,70\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,03\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 16,02\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 9,25\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 16,34\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,85\text{m};$
- $L'p = 1,85\text{m};$
- $L'f = 1,85\text{m};$
- $S1 = 17,41;$
- $S2 = 18,20.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,87\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,07\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 16,52\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 9,25\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 17,71\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,85\text{m};$
- $L'p = 1,85\text{m};$
- $L'f = 1,85\text{m};$
- $S1 = 17,83;$
- $S2 = 19,38.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,91\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,29\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,91\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,29\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 4,37\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 0,99\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 4,54\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 12,39\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 6,94\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 13,28\text{tf/m}.$

3.3 SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO SALGUEIRO / RESERVATÓRIO MUQUÉM - OBRAS DE DRENAGEM

3.3.1 2711 - Obra 01 (BTCC-3,00 x 3,00) - Est. 2115+11,39m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$

- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 3,00m;
- L_i = altura interna = 3,00m;
- L = comprimento longitudinal = 91,46 m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 14,15m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,95m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;

- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = $1,50\text{m}$;
- er = distância entre rodas = $2,00\text{m}$;
- Área de projeção do veículo = $3,00\text{m} \times 6,00\text{m}$;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a $1,00\text{m}$ ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 0,95 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 1,71 + 1,14 + 1,13 = 3,98 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

X1	X3	X3	X1
X2	X4	X4	X2

Laje Superior:

- $X1 = -13,61 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 10,06 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M1-3 = 14,41 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 10,67 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X3 = -17,50 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 15,36 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{crit} = 17,01 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 17010 / (100 \times 45) = 5,29 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X1 = -13,61 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 10,06 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X2 = -13,30 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,82 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M1-2 = 0,62 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{crit} = 18,48 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X2 = -13,30 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,82 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M2-4 = 19,95 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 14,99 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X4 = -17,10 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 12,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{crit} = 16,62 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 16620 / (100 \times 30) = 5,17 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p2 = 0,16 + 0,60 \times 4,50/2 = 0,16 + 1,35 = 1,51 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (2,25)^2/2 + (1,51 - 0,16) \times (2,25)^2/6 = 0,81 + 1,14 = 1,95 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (10,80 + 16,27)/2 \times 5,30 = 71,74 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,50/2 \times 5,30 \times 0,25 \times 2,50 = 14,91 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 14,91/71,74 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 1,95 = \text{tfm/m} \rightarrow As_{min} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow As_{min} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (25/80)

- $As_{mín} = 2,80 \text{ cm}^2 \rightarrow Assup = 3\Phi 12,5;$
 $As_{inf} = 3\Phi 12,5;$
 $As_{pele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $Asw = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I DADOS PARA ANÁLISE

- Hat = altura do aterro sobre a tampa = 14,15m;
- L = largura interna da galeria = 3,00m;
- H = altura interna da galeria = 3,00m;
- et = espessura da laje de tampa = 0,50m;
- ef = espessura da laje de fundo = 0,50m;
- ep = espessura das paredes laterais = 0,50m;
- m = extensão da mísula = 0,25m.

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,50t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,80t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,50t/m³;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = 3,50m..... L'_t = comp. elástico da tampa = 3,50m;
- L_p = comprimento das paredes = 3,50m... L'_p = comp. elástico das paredes = 3,50m;
- L_f = comprimento do fundo = 3,50m..... L'_f = comp. elástico do fundo = 3,50m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	25,97 tf/m ² ;
MÍN	25,47 tf/m ² .

- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	14,79 tf/m ²	Ko
MÍN	9,59 tf/m ²	Ka
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	27,85 tf/m ² ;
MÍN	26,10 tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I HIPÓTESE 1 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÍNIMA (Ka)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = 25,97tf/m²;
- q_p (MÍN) = 9,59tf/m²;
- q_f (MÁX) = 27,85tf/m²;
- $L't$ = 3,50m;
- $L'p$ = 3,50m;
- $L'f$ = 3,50m;
- $S1$ = 93,26;
- $S2$ = 100,94.

b) Momentos nos Nós

- $m1$ = 5,00;
- $m2$ = 5,00;
- $m1*m2 - 1$ = 24,00;
- $X1$ = -15,22tfm/m;
- $X2$ = -17,14tfm/m.

IV.V.II HIPÓTESE 2 : PRESSÃO VERTICAL MÍNIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)

a) Termos de Carga

- q_t (MÍN) = 25,47tf/m²;
- q_p (MÁX) = 14,79tf/m²;
- q_f (MÍN) = 26,10tf/m²;
- $L't$ = 3,50m;

- $L'p = 3,50m$;
- $L'f = 3,50m$;
- $S1 = 99,16$;
- $S2 = 104,06$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 * m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -16,32tfm/m$;
- $X2 = -17,55tfm/m$.

IV.V.III HIPÓTESE 3 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt (MÁX) = 25,97tf/m^2$;
- $qp (MÁX) = 14,79tf/m^2$;
- $qf (MÁX) = 27,85tf/m^2$;
- $L't = 3,50m$;
- $L'p = 3,50m$;
- $L'f = 3,50m$;
- $S1 = 100,69$;
- $S2 = 109,42$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 * m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -16,42tfm/m$;
- $X2 = -18,60tfm/m$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -16,42 \text{ tfm/m};$
- $X2 = -18,60 \text{ tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 24,54 \text{ tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 5,70 \text{ tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 25,49 \text{ tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 38,96 \text{ tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 22,18 \text{ tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 41,77 \text{ tf/m}.$

3.3.2 2711 - Obra 02 (BDCC-3,00 x 3,00) - Est. 2150+18,05m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- $B_i = \text{largura interna} = 3,00 \text{ m};$
- $L_i = \text{altura interna} = 3,00 \text{ m};$
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 67,64 \text{ m};$

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- $k_a = \text{coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine)} = 0,33;$
- $k_0 = \text{coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine)} = 0,50.$

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 10,00m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,20m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 1,20 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4he_{equiv})(b + 1,4he_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 2,16 + 1,14 + 1,13 = 4,43 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

X1	X3	X1
X2	X4	X2

Laje Superior:

- $X1 = -9,88 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M1-3 = 9,88 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X3 = -17,78 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 13,28 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V_{crit} = 22,22 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 22220/(100 \times 45) = 6,91 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X1 = -9,88 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X2 = -8,94 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M1-2 = 2,74 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V_{crit} = 13,50 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X2 = -8,94 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M2-4 = 8,94 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X4 = -16,09 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 11,97 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V_{crit} = 20,12 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 20120/(100 \times 45) = 6,26 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 4,50/2 = 0,16 + 1,35 = 1,51 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,16 \times (2,25)^2/2 + (1,51 - 0,16) \times (2,25)^2/6 = 0,81 + 1,14 = 1,95 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (10,80 + 16,27)/2 \times 5,30 = 71,74 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,50/2 \times 5,30 \times 0,25 \times 2,50 = 14,91 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 14,91/71,74 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 1,95 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (25/80)

- $\text{Asmín} = 2,80 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5$;
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5$;
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3$;
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}$.

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I DADOS PARA ANÁLISE

- $H_{at} = \text{altura do aterro sobre a tampa} = 10,00\text{m}$;
- $L = \text{largura interna da galeria} = 3,00\text{m}$;
- $H = \text{altura interna da galeria} = 3,00\text{m}$;
- $e_t = \text{espessura da laje de tampa} = 0,50\text{m}$;
- $e_f = \text{espessura da laje de fundo} = 0,50\text{m}$;
- $e_p = \text{espessura das paredes laterais} = 0,50\text{m}$;
- $m = \text{extensão da mísula} = 0,25\text{m}$;

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,50t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,80t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,50t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $3,50m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $3,50m$;
- L_p = comprimento das paredes = $3,50m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $3,50m$;
- L_f = comprimento do fundo = $3,50m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $3,50m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$18,5tf/m^2$;
MÍN	$18tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$10,8tf/m^2$;	K_o
MÍN	$7,13tf/m^2$.	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$19,13tf/m^2$;
MÍN	$18,63tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I HIPÓTESE 1 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÍNIMA (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $18,50tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $7,13tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $19,13tf/m^2$;
- L'_t = $3,50m$;
- L'_p = $3,50m$;
- L'_f = $3,50m$;
- S_1 = $66,86$;
- S_2 = $70,21$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -11,00\text{tfm/m};$
- $X2 = -11,84\text{tfm/m}.$

IV.V.II HIPÓTESE 2 : PRESSÃO VERTICAL MÍNIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 18,00\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 10,80\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 18,63\text{tf/m}^2;$
- $L't = 3,50\text{m};$
- $L'p = 3,50\text{m};$
- $L'f = 3,50\text{m};$
- $S1 = 70,58;$
- $S2 = 74,68.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -11,59\text{tfm/m};$
- $X2 = -12,62\text{tfm/m}.$

IV.V.III HIPÓTESE 3 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 18,50\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 10,80\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 19,13\text{tf/m}^2;$

- $L't = 3,50\text{m};$
- $L'p = 3,50\text{m};$
- $L'f = 3,50\text{m};$
- $S1 = 72,11;$
- $S2 = 76,21.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -11,85\text{tfm/m};$
- $X2 = -12,87\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -8,30\text{tfm/m};$
- $X2 = -8,82\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 15,97\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 4,43\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 16,41\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 32,38\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 18,90\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 33,47\text{tf/m}.$

3.3.3 2711 - Obra 03 (BSCC-2,50 x 2,50) - Est. 2311+0,00m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 2,50m;
- L_i = altura interna = 2,50m;
- L = comprimento longitudinal = 53,80 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 6,00m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,70m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred / (a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -4,95 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 7,33 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,94 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 14,13 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 14130 / (100 \times 35) = 5,65 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -4,95 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -6,00 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 2,38 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,92 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -6,00 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 7,97 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 7,57 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 16,02 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 16020 / (100 \times 35) = 6,40 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m);

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

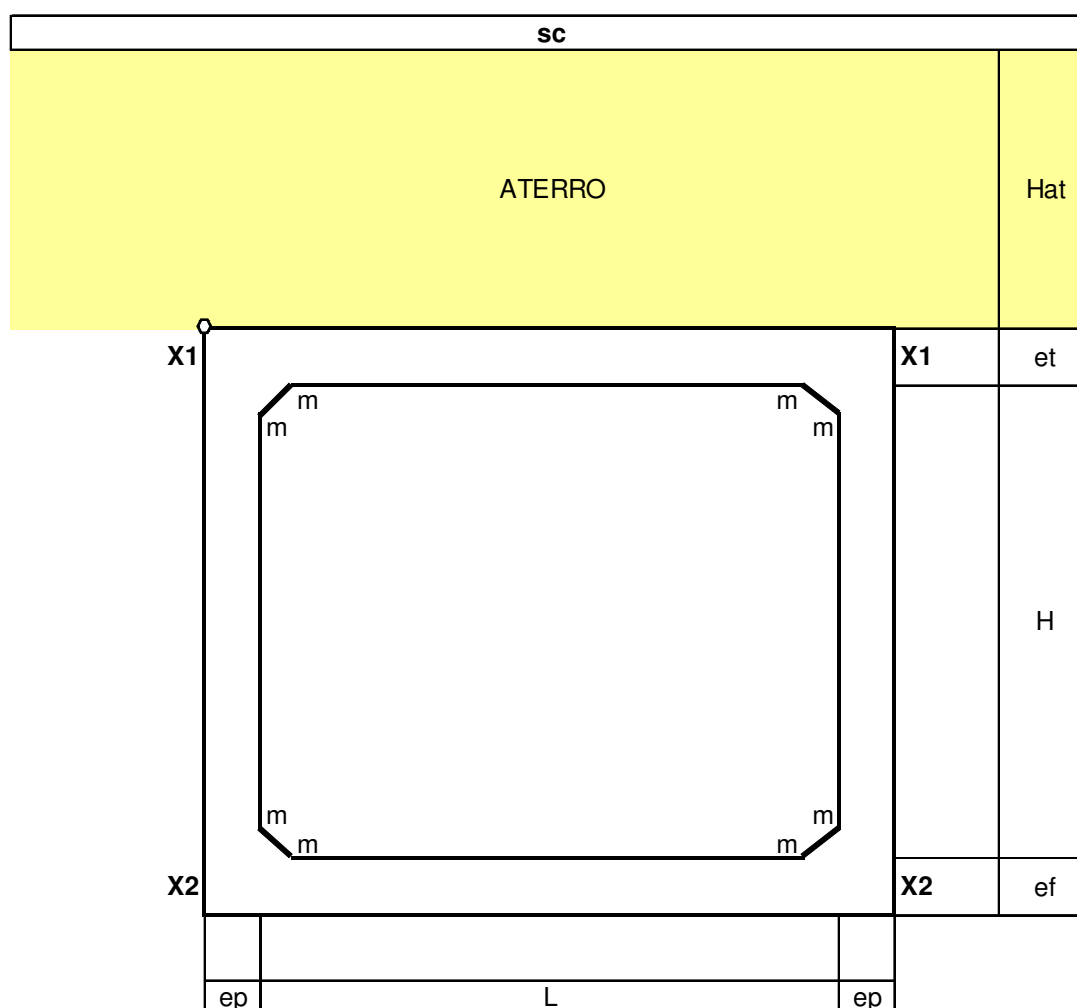
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 6,00 m

L = largura interna da galeria = 2,50 m

H = altura interna da galeria = 2,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,40 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,40 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,40 m

m = extensão da mísula = 0,15 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,50\text{t/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,80\text{t/m}^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,50\text{t/m}^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $2,90\text{m}$ L'_t = comp. elástico da tampa = $2,90\text{m}$;
- L_p = comprimento das paredes = $2,90\text{m}$... L'_p = comp. elástico das paredes = $2,90\text{m}$;
- L_f = comprimento do fundo = $2,90\text{m}$ L'_f = comp. elástico do fundo = $2,90\text{m}$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	11,3	tf/m ² ;
MÍN	10,8	tf/m ² .
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	7,14	tf/m ²	K_o
MÍN	4,54	tf/m ²	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	12,82	tf/m ² ;
MÍN	11,32	tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $11,30\text{tf/m}^2$;
- q_p (MÍN) = $4,54\text{tf/m}^2$;
- q_f (MÁX) = $12,82\text{tf/m}^2$;
- L'_t = $2,90\text{m}$;
- L'_p = $2,90\text{m}$;
- L'_f = $2,90\text{m}$;
- S_1 = $28,22$;
- S_2 = $32,04$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -4,54\text{tfm/m};$
- $X2 = -5,50\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 10,80\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,14\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 11,32\text{tf/m}^2;$
- $L't = 2,90\text{m};$
- $L'p = 2,90\text{m};$
- $L'f = 2,90\text{m};$
- $S1 = 29,72;$
- $S2 = 31,79.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -4,87\text{tfm/m};$
- $X2 = -5,38\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 11,30\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,14\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 12,82\text{tf/m}^2;$

- $L't = 2,90\text{m};$
- $L'p = 2,90\text{m};$
- $L'f = 2,90\text{m};$
- $S1 = 30,77;$
- $S2 = 34,94.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -4,95\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,00\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -4,95\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,00\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 7,33\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 2,38\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 7,97\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 14,13\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 8,92\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 16,02\text{tf/m}.$

3.3.4 2711 - Obra 04 (BDCC-3,00 x 3,00) - Est. 2398+0,00m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.1 TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 3,00m;
- L_i = altura interna = 3,00m;
- L = comprimento longitudinal = 84,10 m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 13,45m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Vide Anexo I)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,25m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 1,20 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred / (a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 2,16 + 1,14 + 1,13 = 4,43 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

X1	X3	X1
X2	X4	X2

Laje Superior:

- $X1 = -16,81 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 12,53 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M1-3 = 16,81 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 12,53 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X3 = -20,18 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 15,17 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $Vcrit = 23,22 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 23220 / (100 \times 45) = 7,22 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X1 = -16,81 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 12,53 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X2 = -17,25 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 12,87 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M1-2 = 12,17 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 18,90 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{\text{crít}} = 17,38 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X2 = -17,25 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 12,87 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M2-4 = 17,25 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 12,87 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X4 = -20,69 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 15,58 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{\text{crít}} = 23,80 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 23800 / (100 \times 45) = 7,40 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p2 = 0,16 + 0,60 \times 4,50/2 = 0,16 + 1,35 = 1,51 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (2,25)^2/2 + (1,51 - 0,16) \times (2,25)^2/6 = 0,81 + 1,14 = 1,95 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{\text{mín}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (10,80 + 16,27)/2 \times 5,30 = 71,74 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,50/2 \times 5,30 \times 0,25 \times 2,50 = 14,91 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - ppf(\text{laje}) = 14,91/71,74 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 1,95 = \text{tfm/m} \rightarrow As_{\text{min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow As_{\text{min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $As_{\text{mín}} = 2,80 \text{ cm}^2 \rightarrow Assup = 3\Phi 12,5;$
 $As_{\text{inf}} = 3\Phi 12,5;$
 $As_{\text{pele}} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $As_w = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I DADOS PARA ANÁLISE

- Hat = altura do aterro sobre a tampa = 13,45m;
- L = largura interna da galeria = 3,00m;
- H = altura interna da galeria = 3,00m;
- et = espessura da laje de tampa = 0,50m;
- ef = espessura da laje de fundo = 0,50m;
- ep = espessura das paredes laterais = 0,50m;
- m = extensão da mísula = 0,25m.

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,50t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,80t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,50t/m³;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = 3,50m..... $L't$ = comp. elástico da tampa = 3,50m;
- L_p = comprimento das paredes = 3,50m... $L'p$ = comp. elástico das paredes = 3,50m;
- L_f = comprimento do fundo = 3,50m..... $L'f$ = comp. elástico do fundo = 3,50m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa = MÁX 24,71 tf/m²;
 MÍN 24,21 tf/m².
- qp = carga uniforme média nos lados = MÁX 13,905tf/m² Ko
 MÍN 9,18 tf/m² Ka
- qf = carga uniforme no fundo = MÁX 25,34 tf/m²;
 MÍN 24,84 tf/m².

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÁX)} = 24,71 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÍN)} = 9,18 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÁX)} = 25,34 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 3,50 \text{ m}$;
- $L'p = 3,50 \text{ m}$;
- $L'f = 3,50 \text{ m}$;
- $S1 = 88,81$;
- $S2 = 92,58$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 * m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -14,64 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -15,59 \text{ tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÍN)} = 24,21 \text{ tf/m}^2$
- $q_p \text{ (MÁX)} = 13,91 \text{ tf/m}^2$
- $q_f \text{ (MÍN)} = 24,84 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 3,50 \text{ m}$;
- $L'p = 3,50 \text{ m}$;
- $L'f = 3,50 \text{ m}$;
- $S1 = 94,04$;
- $S2 = 98,77$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -15,48\text{tfm/m};$
- $X2 = -16,66\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (K_o)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 24,71\text{tf/m}^2;$
- $q_p (\text{MÁX}) = 13,91\text{tf/m}^2;$
- $q_f (\text{MÁX}) = 25,34\text{tf/m}^2;$
- $L't = 3,50\text{m};$
- $L'p = 3,50\text{m};$
- $L'f = 3,50\text{m};$
- $S1 = 95,57;$
- $S2 = 100,30.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -15,73\text{tfm/m};$
- $X2 = -16,91\text{tfm/m}.$

3.3.5 2711 - Obra 05 (BDTC-1,20) - Est. 2411+0,00m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$

- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- f_{ck} = 25 MPa.
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = 2,56 Mpa = $25,6 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 5 cm;
- w = abertura de fissuras < 0,2 mm. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = 1,20m;
- L = comprimento longitudinal = 1,00m;
- $L_{TOTAL} = 52,55 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
- k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
- μ = coeficiente de atrito interno do solo;
- μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala;
- ρ = razão de recalque = 0,50 (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 5,76m;

- De = diâmetro externo do tubo = 1,46m;
- b_v = largura da vala = 5,62m;
- ha = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times De = 1,31m$;

c) Seção sob o Aterro Principal

hs = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 5,76m;

$$P_{vs} = 5,76 \times 1,80 = 10,37 \text{ tf/m}^2$$

Será considerado um aterro com boas condições de compactação.

Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$ Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm.

Será considerado um aterro sem boas condições de compactação.

O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção.

Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver listagem anexo.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- hs = aterro sobre a galeria = 1,68m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;

- $ee = \text{distância entre eixos} = 1,50\text{m};$
- $er = \text{distância entre rodas} = 2,00\text{m};$
- Área de projeção do veículo = $3,00\text{m} \times 6,00\text{m};$
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m};$
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m};$
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}.$

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 1,68 \times 1,80 + CM \text{ (Carga Móvel)} + pp;$
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Qvs;$
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv);$
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf};$
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2;$
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2;$
- $Pvs = 3,02 + 1,14 + 0,50 = 4,66 \text{ tf/m}^2.$

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 10,37 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS ($e = 0,25 \text{ a } 0,40\text{m}$)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2 \text{ (pressão devido à sobrecarga);}$
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO ($e = 0,23\text{m}$)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,86 \times 2,30 = 8,88 \text{ m}^2;$
- $Pv = \text{Paredes}$

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,76 \text{ tf};$
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,51 \text{ tf};$
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	$= 1,30 \text{ tf};$

Viga superior $0,40 \times 0,43 \times 2,86 \times 2,50 = 1,23 \text{ tf.}$

- $P_v = 5,8 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,8/8,88 - 0,23 \times 2,50 = 0,078 \text{ tf/m}^2;$
- $M = 0,078 \cdot (2,86)^2/8 = 0,08 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (23/56)

- $A_{smin} = 1,93 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 10;$
 $A_{inf} = 3\Phi 10;$
 $A_{spele} = 2 \times 1\Phi 6.3;$
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

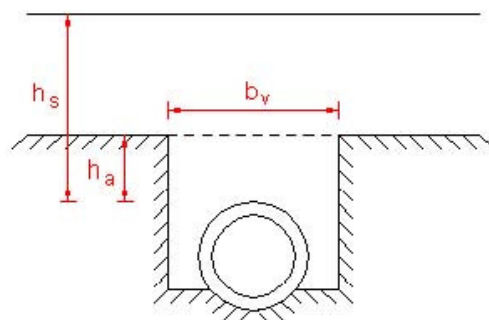
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3;$
- $k.u = 0,150;$
- Razão de recalque = $-0,4;$
- Altura de terra (h_s): 5,76 m Largura da vala (b_v) = 5,62m;
- Altura (h_a) = 0,25m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



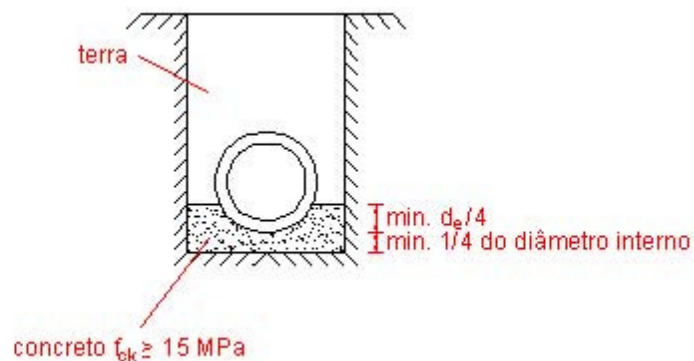
c) Dados da Sobrecarga

- Valor = 5,00 kN/m.

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 195,03 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.3.6 2711 - Obra 06 (BDCC-3,00 x 3,00) - Est. 2661+7,01m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 3,00m;
- L_i = altura interna = 3,00m;
- L = comprimento longitudinal = 64,19 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 9,30m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (VIDE ANEXO I)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,90m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 1,90 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,42 + 1,14 + 1,25 = 5,80 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

X1	X3	X1
X2	X4	X2

Laje Superior:

- $X1 = -11,73 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,79 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M1-3 = 11,73 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,79 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X3 = -14,08 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 11,84 \text{ cm}^2/\text{m}$;

- $V_{crít} = 21,55 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 21550 / (100 \times 45) = 6,70 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_1 = -11,73 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 9,79 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_2 = -12,16 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 10,16 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M_{1-2} = 9,42 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,80 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{crít} = 12,71 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X_2 = -12,16 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 10,16 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M_{2-4} = 12,16 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 10,16 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_4 = -14,60 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 12,29 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{crít} = 22,33 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 22330 / (100 \times 45) = 6,95 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK.}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 4,50/2 = 0,16 + 1,35 = 1,51 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (2,25)^2/2 + (1,51 - 0,16) \times (2,25)^2/6 = 0,81 + 1,14 = 1,95 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{s\text{mín}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (10,80 + 16,27)/2 \times 5,30 = 71,74 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,50/2 \times 5,30 \times 0,25 \times 2,50 = 14,91 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 14,91/71,74 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 1,95 = \text{tfm/m} \rightarrow A_{s\text{min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow A_{s\text{min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{s\text{mín}} = 2,80 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{s\text{sup}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{s\text{inf}} = 3\Phi 12,5;$

$$Aspele = 2 \times 4 \Phi 6.3;$$

$$Asw = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I DADOS PARA ANÁLISE

- Hat = altura do aterro sobre a tampa = 9,30m;
- L = largura interna da galeria = 3,00m;
- H = altura interna da galeria = 3,00m;
- et = espessura da laje de tampa = 0,50m;
- ef = espessura da laje de fundo = 0,50m;
- ep = espessura das paredes laterais = 0,50m;
- m = extensão da mísula = 0,25m.

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,50t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,80t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,50t/m³;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = 3,50m..... L'_t = comp. elástico da tampa = 3,50m;
- L_p = comprimento das paredes = 3,50m... L'_p = comp. elástico das paredes = 3,50m;
- L_f = comprimento do fundo = 3,50m..... L'_f = comp. elástico do fundo = 3,50m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	17,24 tf/m ² ;
MÍN	16,74 tf/m ² .
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	10,17 tf/m ²	Ko
MÍN	6,71 tf/m ²	Ka
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	17,87 tf/m ² ;
MÍN	17,37 tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

V.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 17,24 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 6,71 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 17,87 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 3,50 \text{m}$;
- $L'p = 3,50 \text{m}$;
- $L'f = 3,50 \text{m}$;
- $S1 = 62,40$;
- $S2 = 65,67$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -10,26 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -11,08 \text{tfm/m}$.

V.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 16,74 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 10,17 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 17,37 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 3,50 \text{m}$;
- $L'p = 3,50 \text{m}$;
- $L'f = 3,50 \text{m}$;
- $S1 = 65,82$;
- $S2 = 69,79$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -10,80 \text{ tfm/m};$
- $X2 = -11,80 \text{ tfm/m}.$

V.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (K_0)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 17,24 \text{ tf/m}^2;$
- $q_p (\text{MÁX}) = 10,17 \text{ tf/m}^2;$
- $q_f (\text{MÁX}) = 17,87 \text{ tf/m}^2;$
- $L't = 3,50 \text{ m};$
- $L'p = 3,50 \text{ m};$
- $L'f = 3,50 \text{ m};$
- $S1 = 67,35;$
- $S2 = 71,32.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -11,06 \text{ tfm/m};$
- $X2 = -12,05 \text{ tfm/m}.$

3.3.7 2711 - Obra 07 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 2736+2,04m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$

- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 2,00m;
- L_i = altura interna = 2,00m;
- L = comprimento longitudinal = 54,68 m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 6,20m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50$ tf/m².

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,30m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;

- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = $1,50\text{m}$;
- er = distância entre rodas = $2,00\text{m}$;
- Área de projeção do veículo = $3,00\text{m} \times 6,00\text{m}$;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a $1,00\text{m}$ ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -3,34 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 4,98 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 5,49 \text{ cm}^2/\text{m}$;

- $V = 11,66 \text{ tf/m}$ → $\tau_{wd} = 1,4 \times 11660 / (100 \times 30) = 5,44 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kgf/cm² OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -3,34 \text{ tfm/m}$ → $As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -3,95 \text{ tfm/m}$ → $As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,44 \text{ tfm/m}$ → $As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 7,05 \text{ tf/m}$ → OK

Laje Inferior:

- $X = -3,95 \text{ tfm/m}$ → $As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 5,32 \text{ tfm/m}$ → $As = 5,87 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 12,96 \text{ tf/m}$ → $\tau_{wd} = 1,4 \times 12960 / (100 \times 30) = 6,04 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kgf/cm² OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

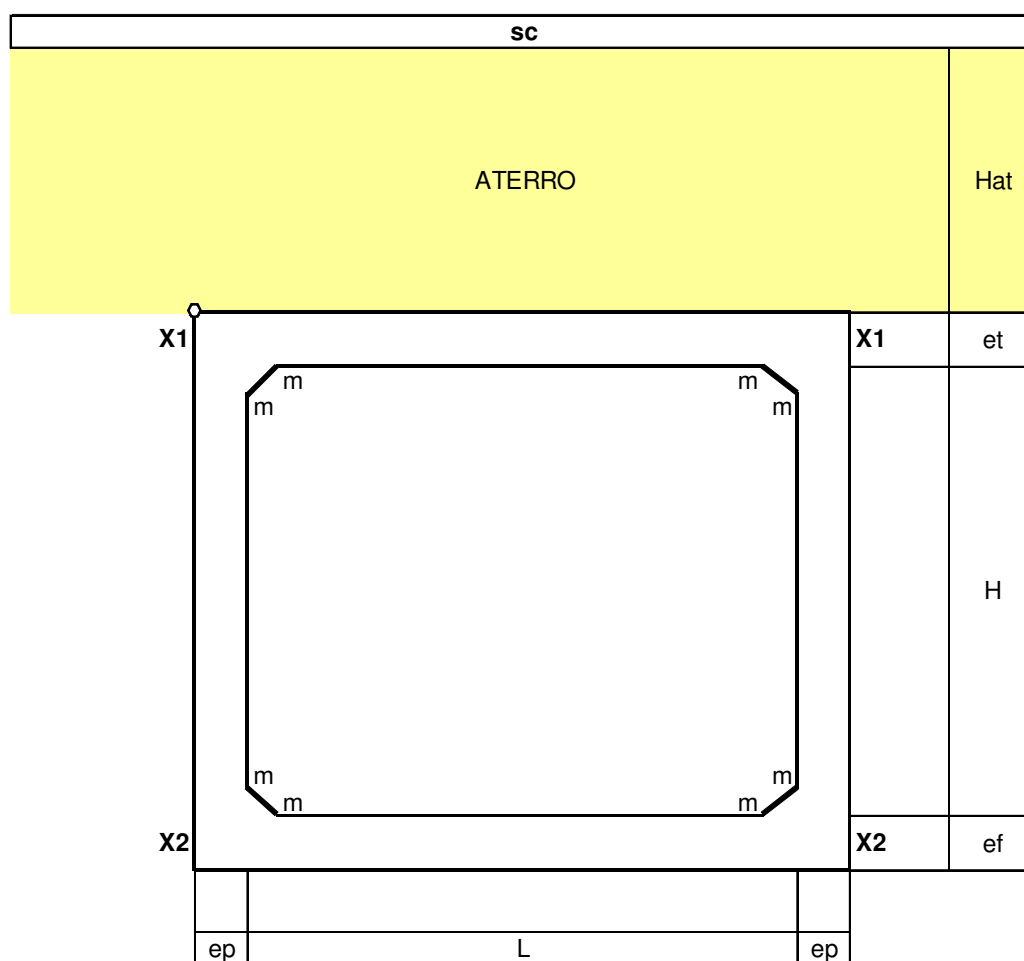
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m}$ → $As_{min} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0$ → $As_{min} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $As_{mín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow Assup = 3\Phi 12,5;$
 $As_{inf} = 3\Phi 12,5;$
 $As_{pele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $As_w = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 6,20 m

L = largura interna da galeria = 2,00 m

H = altura interna da galeria = 2,00 m

et = espessura da laje de tampa = 0,35 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,35 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,35 m

m = extensão da mísula = 0,15 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,50\text{t/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,80\text{t/m}^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,50\text{t/m}^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $2,35\text{m}$ L'_t = comp. elástico da tampa = $2,35\text{m}$;
- L_p = comprimento das paredes = $2,35\text{m}$... L'_p = comp. elástico das paredes = $2,35\text{m}$;
- L_f = comprimento do fundo = $2,35\text{m}$ L'_f = comp. elástico do fundo = $2,35\text{m}$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$11,66\text{ tf/m}^2$;
MÍN	$11,16\text{ tf/m}^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$7,05\text{ tf/m}^2$	K_o
MÍN	$4,48\text{ tf/m}^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$12,96\text{ tf/m}^2$;
MÍN	$11,58\text{ tf/m}^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $11,66\text{tf/m}^2$;
- q_p (MÍN) = $4,48\text{tf/m}^2$;
- q_f (MÁX) = $12,96\text{tf/m}^2$;
- L'_t = $2,35\text{m}$;
- L'_p = $2,35\text{m}$;
- L'_f = $2,35\text{m}$;
- S_1 = $18,99$;

- $S2 = 21,19$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -3,07 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -3,62 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 11,16 \text{tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,05 \text{tf/m}^2$;
- $qf \text{ (MÍN)} = 11,58 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,35 \text{m}$;
- $L'p = 2,35 \text{m}$;
- $L'f = 2,35 \text{m}$;
- $S1 = 19,95$;
- $S2 = 21,18$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -3,27 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -3,58 \text{tfm/m}$.

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 11,66 \text{tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,05 \text{tf/m}^2$;

- $q_f (\text{MÁX}) = 12,96 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 2,35 \text{ m}$;
- $L'p = 2,35 \text{ m}$;
- $L'f = 2,35 \text{ m}$;
- $S1 = 20,64$;
- $S2 = 23,08$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -3,34 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -3,95 \text{ tfm/m}$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -3,34 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -3,95 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{tampa}} = 4,98 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{parede}} = 1,44 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{fundo}} = 5,32 \text{ tfm/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 11,66 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 7,05 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 12,96 \text{ tf/m}$.

3.3.8 2711 - Obra 08 (BDCC-3,00 x 3,00) - Est. 2766+5,15m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3$;

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.1 TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- $B_i = \text{largura interna} = 3,00\text{m}$;
- $L_i = \text{altura interna} = 3,00\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 66,31 \text{ m}$;

b) Dados Da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- $k_a = \text{coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine)} = 0,33$;
- $k_0 = \text{coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine)} = 0,50$

c) Seção sob p Aterro Principal

- $h_s = \text{altura de terra acima da laje superior do tubo} = 9,95\text{m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação.
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- $h_s = \text{aterro sobre a galeria} = 3,15\text{m}$;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- $Q = \text{peso total do veículo} = 30 \text{ tf}$;
- $q = \text{carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados} = 0,5 \text{ tf/m}^2$;

- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 3,15 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 5,67 + 1,14 + 1,13 = 7,94 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

X1	X3	X1
X2	X4	X2

Laje Superior:

- $X1 = -12,53 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,24 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M1-3 = 12,53 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,24 \text{ cm}^2/\text{m}$;

- $X3 = -15,03 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 11,15 \text{ cm}^2/\text{m}.$
- $V_{\text{crit}} = 20,25 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 20250 / (100 \times 45) = 6,30 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X1 = -12,53 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,24 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X2 = -12,96 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,56 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M1-2 = 9,42 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 7,20 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{\text{crit}} = 16,14 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X2 = -12,96 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,56 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M2-4 = 12,96 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,56 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X4 = -15,55 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 11,55 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{\text{crit}} = 20,94 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 20940 / (100 \times 45) = 6,51 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p2 = 0,16 + 0,60 \times 4,50/2 = 0,16 + 1,35 = 1,51 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (2,25)^2/2 + (1,51 - 0,16) \times (2,25)^2/6 = 0,81 + 1,14 = 1,95 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{\text{mín}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (10,80 + 16,27)/2 \times 5,30 = 71,74 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,50/2 \times 5,30 \times 0,25 \times 2,50 = 14,91 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{\text{pf}}(\text{laje}) = 14,91/71,74 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 1,95 = \text{tfm/m} \rightarrow As_{\text{min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow As_{\text{min}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (25/80)

- $As_{mín} = 2,80 \text{ cm}^2 \rightarrow Assup = 3\Phi 12,5;$
 $As_{inf} = 3\Phi 12,5;$
 $As_{pele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $As_w = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I DADOS PARA ANÁLISE

- Hat = altura do aterro sobre a tampa = 9,95 m
- L = largura interna da galeria = 3,00m;
- H = altura interna da galeria = 3,00m;
- et = espessura da laje de tampa = 0,50m;
- ef = espessura da laje de fundo = 0,50m;
- ep = espessura das paredes laterais = 0,50m;
- m = extensão da mísula = 0,25m.

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,50 \text{ t/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,80 \text{ t/m}^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ t/m}^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = 0,33.
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = 3,50m..... L'_t = comp. elástico da tampa = 3,50m;
- L_p = comprimento das paredes = 3,50m... L'_p = comp. elástico das paredes = 3,50m;
- L_f = comprimento do fundo = 3,50m..... L'_f = comp. elástico do fundo = 3,50m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	$18,41 \text{ tf/m}^2$;
MÍN	$17,91 \text{ tf/m}^2$.

- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	10,755tf/m ²	Ko
MÍN	7,10 tf/m ²	Ka
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	19,04tf/m ² ;
MÍN	18,54tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = 18,41tf/m²;
- q_p (MÍN) = 7,10tf/m²;
- q_f (MÁX) = 19,04tf/m²;
- $L't$ = 3,50m;
- $L'p$ = 3,50m;
- $L'f$ = 3,50m;
- S_1 = 66,54;
- S_2 = 69,89.

b) Momentos nos Nós

- m_1 = 5,00;
- m_2 = 5,00;
- $m_1 * m_2 - 1$ = 24,00;
- X_1 = -10,95tfm/m;
- X_2 = -11,79tfm/m.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- q_t (MÍN) = 17,91tf/m²;
- q_p (MÁX) = 10,76tf/m²;
- q_f (MÍN) = 18,54tf/m²;
- $L't$ = 3,50m;

- $L'p = 3,50m$;
- $L'f = 3,50m$;
- $S1 = 70,24$;
- $S2 = 74,33$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1*m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -11,54tfm/m$;
- $X2 = -12,56tfm/m$.

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt (MÁX) = 18,41tf/m^2$;
- $qp (MÁX) = 10,76tf/m^2$;
- $qf (MÁX) = 19,04tf/m^2$;
- $L't = 3,50m$;
- $L'p = 3,50m$;
- $L'f = 3,50m$;
- $S1 = 71,77$;
- $S2 = 75,86$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1*m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -11,79tfm/m$;
- $X2 = -12,81tfm/m$.

3.3.9 2711 - Obra 09 (BDCC-2,50 x 2,50) - Est. 2865+17,97m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 2,50m;
- L_i = altura interna = 2,50m;
- L = comprimento longitudinal = 65,28 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 8,30m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,90m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 1,90 \times 1,80 + CM \text{ (Carga Móvel)} + pp$;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,42 + 1,14 + 1,13 = 5,69 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

X1	X3	X1
X2	X4	X2

Laje Superior:

- $X1 = -7,46 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M1-3 = 7,46 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X3 = -8,96 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 7,41 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{crit} = 12,35 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 12350 / (100 \times 40) = 4,32 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X1 = -7,46 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X2 = -5,59 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M1-2 = 7,72 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{crit} = 4,80 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X2 = -7,72 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M2-4 = 7,72 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X4 = -9,26 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 7,66 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{crit} = 12,77 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 12770 / (100 \times 40) = 4,47 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p2 = 0,16 + 0,60 \times 4,50/2 = 0,16 + 1,35 = 1,51 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (2,25)^2/2 + (1,51 - 0,16) \times (2,25)^2/6 = 0,81 + 1,14 = 1,95 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (10,80 + 16,27)/2 \times 5,30 = 71,74 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,50/2 \times 5,30 \times 0,25 \times 2,50 = 14,91 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 14,91/71,74 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 1,95 = t_{fm}/m \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{smin} = 2,80 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{spele} = 2 \times 4\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

3.3.10 2711 - Obra 10 (BSextuploCC-3,00 x 3,00) - Est. 2879+15,47m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- $B_i = \text{largura interna} = 3,00\text{m}$;
- $L_i = \text{altura interna} = 3,00\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 98,62 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- $k_a = \text{coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine)} = 0,33$;

- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 5,25m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,40m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 0,75 \times 1,80 + CM \text{ (Carga Móvel)} + pp$;
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 2,52 + 1,14 + 1,25 = 4,91 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

X1	X3	X4	X4	X4	X3	X1
X2	X5	X6	X6	X6	X5	X2

Laje Superior:

- $X1 = -6,77 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M1-3 = M3-1 = 7,62 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X3 = -8,71 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,20 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M3-4 \sim M4-4 \sim M4-3 = 5,80 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X4 = -10,16 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 8,43 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V_{crit} = 9,95 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 9950/(100 \times 45) = 3,10 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X1 = -6,77 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X2 = -7,20 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m}$;

- $M1-2 = 5,71 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{\text{crít}} = 13,14 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X2 = - 7,20 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M2-5 = M5-2 = 8,10 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,68 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X5 = - 9,26 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 7,66 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M5-6 \sim M6-6 \sim M6-5 = 6,17 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 6,45 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X6 = -10,80 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 8,98 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{\text{crít}} = 10,58 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 10580 / (100 \times 45) = 3,29 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p2 = 0,16 + 0,60 \times 4,50/2 = 0,16 + 1,35 = 1,51 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (2,25)^2/2 + (1,51 - 0,16) \times (2,25)^2/6 = 0,81 + 1,14 = 1,95 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{\text{smin}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (10,80 + 16,27)/2 \times 5,30 = 71,74 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,50/2 \times 5,30 \times 0,25 \times 2,50 = 14,91 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{\text{pf}}(\text{laje}) = 14,91/71,74 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 1,95 = \text{tfm/m} \rightarrow A_{\text{smin}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow A_{\text{smin}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{\text{smin}} = 2,80 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{\text{sup}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{\text{inf}} = 3\Phi 12,5;$
 $A_{\text{pele}} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $A_{\text{sw}} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I DADOS PARA ANÁLISE

- Hat = altura do aterro sobre a tampa = 5,25m;
- L = largura interna da galeria = 3,00m;
- H = altura interna da galeria = 3,00m;
- et = espessura da laje de tampa = 0,50m;
- ef = espessura da laje de fundo = 0,50m;
- ep = espessura das paredes laterais = 0,50m;
- m = extensão da mísula = 0,25m.

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,50t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,80t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,50t/m³;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 3,50m..... $L't$ = comp. elástico da tampa = 3,50m;
- Lp = comprimento das paredes = 3,50m ... $L'p$ = comp. elástico das paredes = 3,50m;
- Lf = comprimento do fundo = 3,50m..... $L'f$ = comp. elástico do fundo = 3,50m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	9,95tf/m ² ;
MÍN	9,45tf/m ² .
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	6,525tf/m ²	Ko
MÍN	4,31tf/m ²	Ka
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	10,58 tf/m ² ;
MÍN	10,08tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima E Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÁX)} = 9,95 \text{tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÍN)} = 4,31 \text{tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÁX)} = 10,58 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 3,50 \text{m}$;
- $L'p = 3,50 \text{m}$;
- $L'f = 3,50 \text{m}$;
- $S1 = 36,63$;
- $S2 = 39,42$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 * m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -5,99 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -6,69 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÍN)} = 9,45 \text{tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÁX)} = 6,53 \text{tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÍN)} = 10,08 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 3,50 \text{m}$;
- $L'p = 3,50 \text{m}$;
- $L'f = 3,50 \text{m}$;
- $S1 = 38,28$;

- $S2 = 41,51$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -6,24 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -7,05 \text{ tfm/m}$.

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (K_o)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 9,95 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 6,53 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 10,58 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 3,50 \text{ m}$;
- $L'p = 3,50 \text{ m}$;
- $L'f = 3,50 \text{ m}$;
- $S1 = 39,81$.
- $S2 = 43,04$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -6,50 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -7,31 \text{ tfm/m}$.

3.3.11 2711 - Obra 11 (BDCC-3,00 x 3,00) - Est. 2995+17,07m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3$;

- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 3,00m;
- L_i = altura interna = 3,00m;
- L = comprimento longitudinal = 83,52m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 12,60m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,40m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;

- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = $1,50\text{m}$;
- er = distância entre rodas = $2,00\text{m}$;
- Área de projeção do veículo = $3,00\text{m} \times 6,00\text{m}$;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a $1,00\text{m}$ ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 1,40 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred / (a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 2,52 + 1,14 + 1,25 = 4,91 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

X1	X3	X1
X2	X4	X2

Laje Superior:

- $X1 = -15,77 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 11,72 \text{ cm}^2/\text{m}$;

- $M1-3 = 15,77 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 11,72 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X3 = -18,93 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 14,19 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{\text{crít}} = 23,18 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 23180 / (100 \times 45) = 7,21 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X1 = -15,77 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 11,72 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X2 = -16,20 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 12,05 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M1-2 = 11,50 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 8,46 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{\text{crít}} = 13,14 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X2 = -16,20 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 12,05 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M2-4 = 16,20 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 12,05 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X4 = -19,44 \text{ tfm/m} \rightarrow A_s = 14,59 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V_{\text{crít}} = 23,81 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{\text{wd}} = 1,4 \times 23810 / (100 \times 45) = 7,41 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{\text{rd}} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p2 = 0,16 + 0,60 \times 4,50/2 = 0,16 + 1,35 = 1,51 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (2,25)^{2/2} + (1,51 - 0,16) \times (2,25)^{2/6} = 0,81 + 1,14 = 1,95 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{\text{smin}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (10,80 + 16,27)/2 \times 5,30 = 71,74 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,50/2 \times 5,30 \times 0,25 \times 2,50 = 14,91 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{\text{pf}}(\text{laje}) = 14,91/71,74 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 1,95 = \text{tfm/m} \rightarrow A_{\text{smin}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow A_{\text{smin}} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (25/80)

- $As_{mín} = 2,80 \text{ cm}^2 \rightarrow Assup = 3\Phi 12,5;$
 $As_{inf} = 3\Phi 12,5;$
 $As_{pele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $As_w = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I DADOS PARA ANÁLISE

- Hat = altura do aterro sobre a tampa = 12,60m;
- L = largura interna da galeria = 3,00m;
- H = altura interna da galeria = 3,00m;
- et = espessura da laje de tampa = 0,50m;
- ef = espessura da laje de fundo = 0,50m;
- ep = espessura das paredes laterais = 0,50m;
- m = extensão da mísula = 0,25m.

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,50t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,80t/m³
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,50t/m³;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = 3,50m..... L'_t = comp. elástico da tampa = 3,50m;
- L_p = comprimento das paredes = 3,50m... L'_p = comp. elástico das paredes = 3,50m;
- L_f = comprimento do fundo = 3,50m..... L'_f = comp. elástico do fundo = 3,50m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- | | | | |
|--------------------------------|-----|--------------------------|--|
| qt = carga uniforme na tampa = | MÁX | 23,18tf/m ² ; | |
| | MÍN | 22,68tf/m ² . | |
- | | | | |
|---------------------------------------|-----|------------------------|----|
| qp = carga uniforme média nos lados = | MÁX | 13,14tf/m ² | Ko |
| | MÍN | 8,67tf/m ² | Ka |
- | | | | |
|--------------------------------|-----|--------------------------|--|
| qf = carga uniforme no fundo = | MÁX | 23,81tf/m ² ; | |
| | MÍN | 23,31tf/m ² . | |

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- qt (MÁX) = 23,18tf/m²;
- qp (MÍN) = 8,67tf/m²;
- qf (MÁX) = 23,81tf/m².
- L't = 3,50m;
- L'p = 3,50m;
- L'f = 3,50m;
- S1 = 83,40;
- S2 = 87,07.

b) Momentos nos Nós

- m1 = 5,00;
- m2 = 5,00;
- m1*m2 - 1 = 24,00;
- X1 = -13,75tfm/m;
- X2 = -14,66tfm/m.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÍN)} = 22,68 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÁX)} = 13,14 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÍN)} = 23,31 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 3,50 \text{ m}$;
- $L'p = 3,50 \text{ m}$;
- $L'f = 3,50 \text{ m}$;
- $S1 = 88,26$;
- $S2 = 92,83$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 * m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -14,52 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -15,66 \text{ tfm/m}$.

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÁX)} = 23,18 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÁX)} = 13,14 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÁX)} = 23,81 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 3,50 \text{ m}$;
- $L'p = 3,50 \text{ m}$;
- $L'f = 3,50 \text{ m}$;
- $S1 = 89,79$;
- $S2 = 94,36$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -14,78 \text{ tfm/m};$
- $X2 = -15,92 \text{ tfm/m}.$

3.3.12 2711 - Obra 12 (BSCC-2,50 x 2,50) - Est. 3111+1,69m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- $B_i = \text{largura interna} = 2,50 \text{ m};$
- $L_i = \text{altura interna} = 2,50 \text{ m};$
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 50,60 \text{ m}.$

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- $k_a = \text{coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine)} = 0,33;$
- $k_0 = \text{coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine)} = 0,50.$

c) Seção sob o Aterro Principal

- $h_s = \text{altura de terra acima da laje superior do tubo} = 5,30 \text{ m};$
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2.$

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,50m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;

- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00) (6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -4,10 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 6,05 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 11,65 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11650 / (100 \times 35) = 4,66 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
 $\text{Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -4,10 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -5,11 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,20 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 7,68 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -5,11 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 6,71 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,34 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 13,54 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 13540 / (100 \times 35) = 5,41 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
 $\text{Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

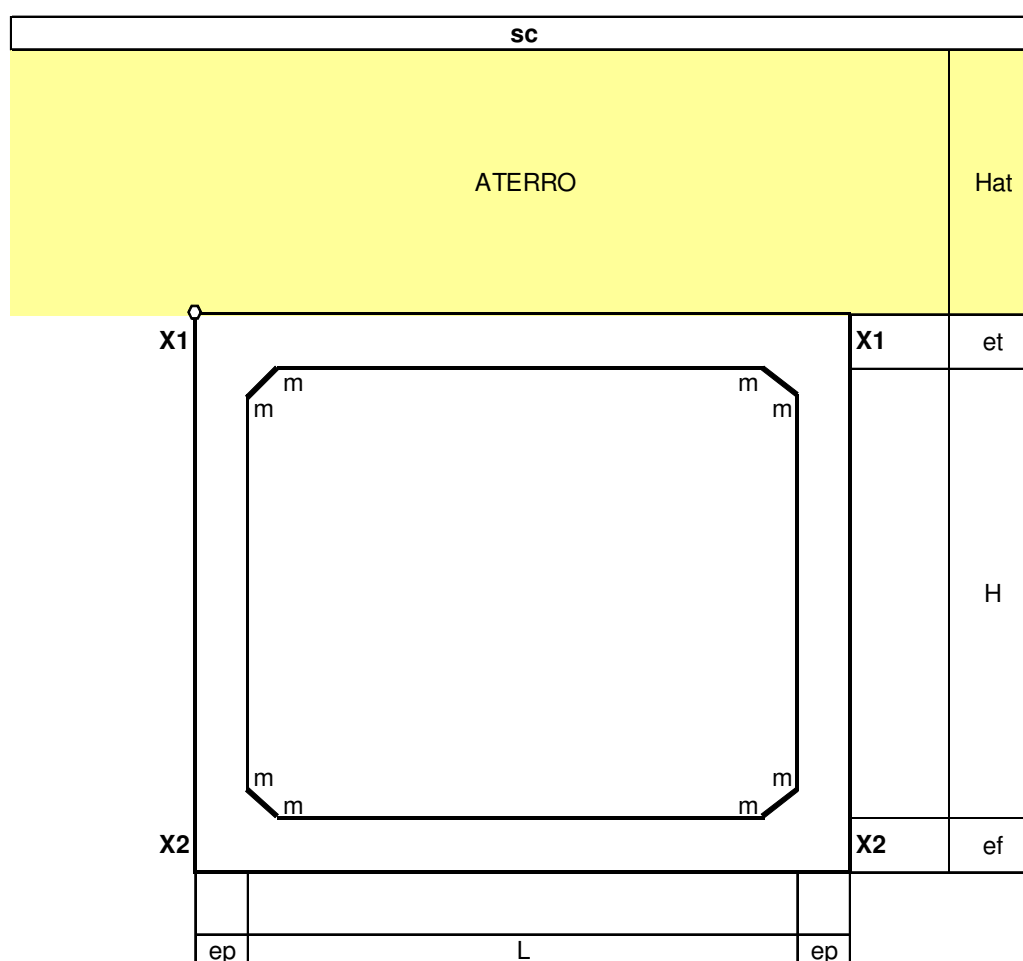
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,18 = t_{fm}/m \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{smin} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{inf} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{pele} = 2 \times 4\Phi 6,3$;
 $A_{sw} = \Phi 6,3 \text{ c. } 20$.

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	4,90 m
L = largura interna da galeria =	2,50 m
H = altura interna da galeria =	2,50 m
et = espessura da laje de tampa =	0,40 m
ef = espessura da laje de fundo =	0,40 m
ep = espessura das paredes laterais =	0,40 m
m = extensão da mísula =	0,15 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,50t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,80t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,50t/m³;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 2,90m..... L't = comp. elástico da tampa = 2,90m;
- Lp = comprimento das paredes = 2,90m ... L'p = comp. elástico das paredes = 2,90m;
- Lf = comprimento do fundo = 2,90m..... L'f = comp. elástico do fundo = 2,90m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	9,32	tf/m ² ;
MÍN	8,82	tf/m ² .
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	6,15	tf/m ²	Ko
MÍN	3,89	tf/m ²	Ka
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	10,84	tf/m ² ;
MÍN	9,34	tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I HIPÓTESE 1 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÍNIMA (KA)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÁX)} = 9,32\text{tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÍN)} = 3,89\text{tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÁX)} = 10,84\text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,90\text{m}$;
- $L'p = 2,90\text{m}$;
- $L'f = 2,90\text{m}$;
- $S1 = 23,42$;
- $S2 = 27,14$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1*m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -3,75\text{tfm/m}$;
- $X2 = -4,68\text{tfm/m}$.

IV.V.II HIPÓTESE 2 : PRESSÃO VERTICAL MÍNIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÍN)} = 8,82\text{tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÁX)} = 6,15\text{tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÍN)} = 9,34\text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,90\text{m}$;
- $L'p = 2,90\text{m}$;
- $L'f = 2,90\text{m}$;
- $S1 = 24,58$;
- $S2 = 26,52$.

b) Momentos nos Nós

- $m_1 = 5,00$;
- $m_2 = 5,00$;
- $m_1 \cdot m_2 - 1 = 24,00$;
- $X_1 = -4,02 \text{ tfm/m}$;
- $X_2 = -4,50 \text{ tfm/m}$.

IV.V.III HIPÓTESE 3 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)**a) Termos de Carga**

- $q_t (\text{MÁX}) = 9,32 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 6,15 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 10,84 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 2,90 \text{ m}$;
- $L'p = 2,90 \text{ m}$;
- $L'f = 2,90 \text{ m}$;
- $S_1 = 25,63$;
- $S_2 = 29,67$.

b) Momentos nos Nós

- $m_1 = 5,00$;
- $m_2 = 5,00$;
- $m_1 \cdot m_2 - 1 = 24,00$;
- $X_1 = -4,10 \text{ tfm/m}$;
- $X_2 = -5,11 \text{ tfm/m}$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X_1 = -4,10 \text{ tfm/m}$;
- $X_2 = -5,11 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{tampa}} = 6,05 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{parede}} = 2,20 \text{ tfm/m}$;

- $M_{\text{fundo}} = 6,71 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 11,65 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 7,68 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 13,54 \text{ tf/m}$.

3.3.13 2711 - Obra 13 (BSCC-3,00 x 3,00) - Est. 3190+10,32m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.1 TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = $3,00 \text{ m}$;
- L_i = altura interna = $3,00 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $62,75 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = $0,33$;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = $0,50$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = $6,30 \text{ m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,20m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;

- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf};$
- $Q_{vs} = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00) (6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2;$
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2;$
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2.$

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços Para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -7,37 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 10,86 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,03 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 17,76 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 17760 / (100 \times 40) = 6,21 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -7,37 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -9,04 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 7,48 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 3,74 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 11,51 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -9,04 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 7,48 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 11,91 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 9,94 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 20,36 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 20360 / (100 \times 40) = 7,12 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

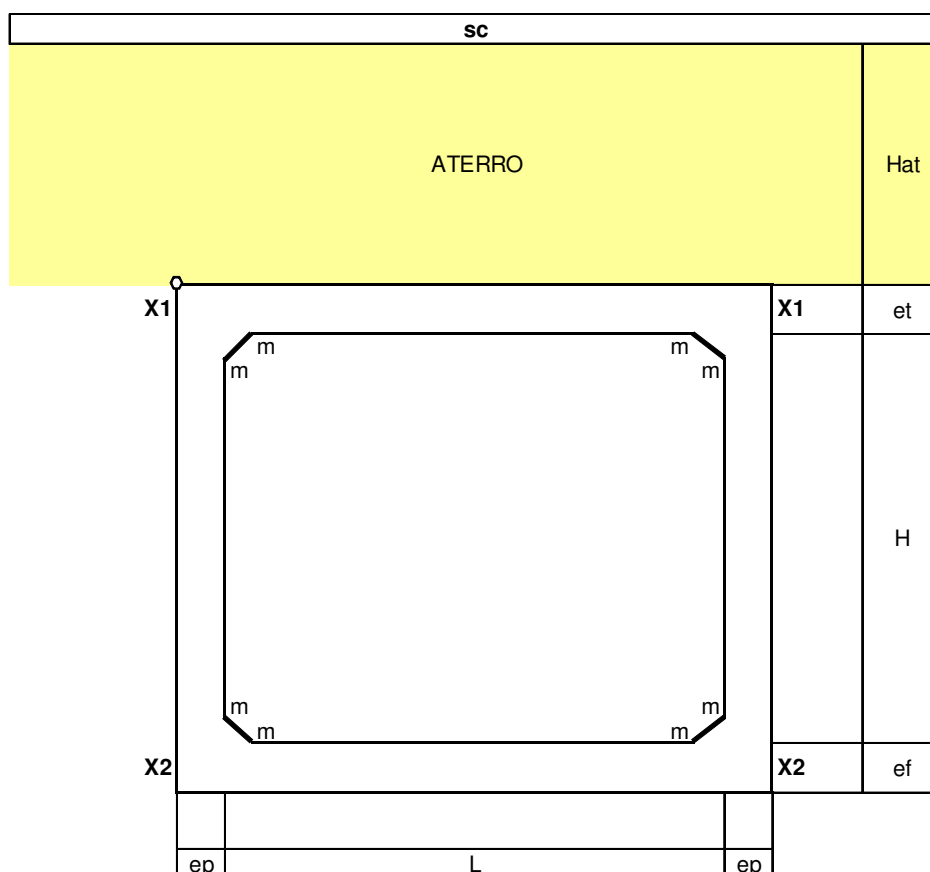
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,18 = t_{fm}/m \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{smín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{spele} = 2 \times 4\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	6,30 m
L = largura interna da galeria =	3,00 m
H = altura interna da galeria =	3,00 m
et = espessura da laje de tampa =	0,45 m
ef = espessura da laje de fundo =	0,45 m
ep = espessura das paredes laterais =	0,45 m
m = extensão da mísula =	0,25 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,50t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,80t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,50t/m³;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 3,45m..... L't = comp. elástico da tampa = 3,45m;
- Lp = comprimento das paredes = 3,45m ... L'p = comp. elástico das paredes = 3,45m;
- Lf = comprimento do fundo = 3,45m..... L'f = comp. elástico do fundo = 3,45m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	11,84tf/m ² ;
MÍN	11,34tf/m ² .
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	7,68	tf/m ² ;	Ko
MÍN	4,90	tf/m ² .	Ka
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	13,57tf/m ² ;
MÍN	11,95tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 11,84 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 4,90 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 13,57 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 3,45 \text{m}$;
- $L'p = 3,45 \text{m}$;
- $L'f = 3,45 \text{m}$;
- $S1 = 42,05$;
- $S2 = 48,16$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -6,75 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -8,28 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 11,34 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 7,68 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 11,95 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 3,45 \text{m}$;
- $L'p = 3,45 \text{m}$;
- $L'f = 3,45 \text{m}$;
- $S1 = 44,42$;
- $S2 = 47,73$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -7,26\text{tfm/m};$
- $X2 = -8,09\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 11,84\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,68\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 13,57\text{tf/m}^2;$
- $L't = 3,45\text{m};$
- $L'p = 3,45\text{m};$
- $L'f = 3,45\text{m};$
- $S1 = 45,90;$
- $S2 = 52,56.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -7,37\text{tfm/m};$
- $X2 = -9,04\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -7,37\text{tfm/m};$
- $X2 = -9,04\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 10,86\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 3,74\text{tfm/m};$

- $M_{\text{fundo}} = 11,91 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 17,76 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 11,51 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 20,36 \text{ tf/m}$.

3.3.14 2711 - Obra 14 (BSCC-2,50 x 2,50) - Est. 3248+14,91m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = $2,50 \text{ m}$;
- L_i = altura interna = $2,50 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $59,03 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = $0,33$;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = $0,50$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = $5,35 \text{ m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção Sob O Aterro Da Estrada De Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,50m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;

- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00) (6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) 2.1.3. Esforços Para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -3,91 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 5,76 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 11,09 \text{ tf/m}$
 $\text{Kgf/cm}^2 \text{ OK} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11090 / (100 \times 35) = 4,43 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$

Paredes Laterais:

- $X_s = -3,91 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -4,91 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,16 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 7,40 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -4,91 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 6,42 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,06 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 12,98 \text{ tf/m}$
 $\text{Kgf/cm}^2 \text{ OK} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 12980 / (100 \times 35) = 5,19 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

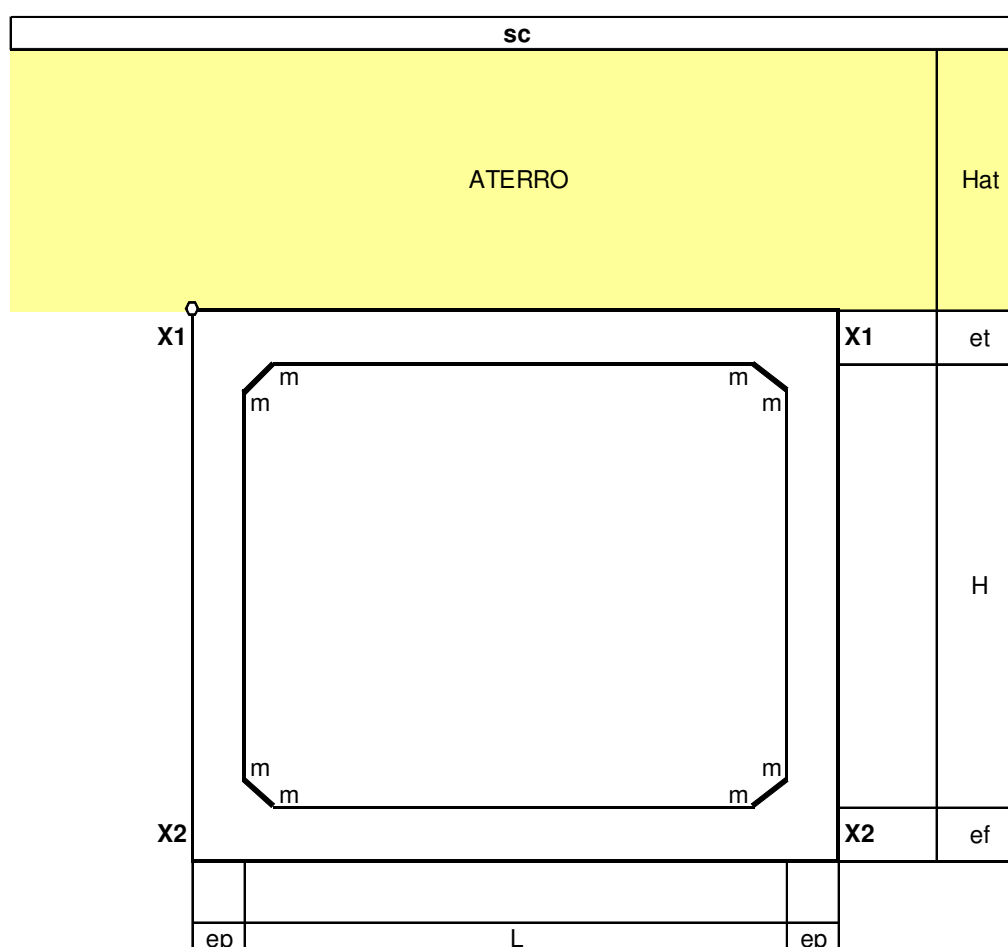
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,18 = t_{fm}/m \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{smin} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{inf} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{spele} = 2 \times 4\Phi 6,3$;
 $A_{sw} = \Phi 6,3 \text{ c. } 20$.

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	4,65 m
L = largura interna da galeria =	2,50 m
H = altura interna da galeria =	2,50 m
et = espessura da laje de tampa =	0,40 m
ef = espessura da laje de fundo =	0,40 m
ep = espessura das paredes laterais =	0,40 m
m = extensão da mísula =	0,25 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = 0,50t/m²;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = 1,80t/m³;
- γ_c = peso específico do concreto armado = 2,50t/m³;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 2,90m..... L't = comp. elástico da tampa = 2,90m;
- Lp = comprimento das paredes = 2,90m ... L'p = comp. elástico das paredes = 2,90m;
- Lf = comprimento do fundo = 2,90m..... L'f = comp. elástico do fundo = 2,90m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa = MÁX 8,87 tf/m²;
 MÍN 8,37 tf/m².
- qp = carga uniforme média nos lados = MÁX 5,92 tf/m² Ko
 MÍN 3,74 tf/m² Ka
- qf = carga uniforme no fundo = MÁX 10,39tf/m²;
 MÍN 8,89tf/m².

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 8,87 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 3,74 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 10,39 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,90 \text{m}$;
- $L'p = 2,90 \text{m}$;
- $L'f = 2,90 \text{m}$;
- $S1 = 22,33$;
- $S2 = 26,03$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -3,57 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -4,49 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 8,37 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 5,92 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 8,89 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,90 \text{m}$;
- $L'p = 2,90 \text{m}$;
- $L'f = 2,90 \text{m}$;
- $S1 = 23,41$;
- $S2 = 25,32$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,82\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,30\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 8,87\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 5,92\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 10,39\text{tf/m}^2;$
- $L't = 2,90\text{m};$
- $L'p = 2,90\text{m};$
- $L'f = 2,90\text{m};$
- $S1 = 24,47;$
- $S2 = 28,47.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,91\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,91\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -3,91\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,91\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 5,76\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 2,16\text{tfm/m};$

- $M_{\text{fundo}} = 6,42 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 11,09 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 7,40 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 12,98 \text{ tf/m}$.

3.3.15 2711 - Obra 15 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 3312+9,81m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.1 TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria:

- B_i = largura interna = $1,50 \text{ m}$;
- L_i = altura interna = $1,50 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $67,78 \text{ m}$.

b) Dados Da Instalação:

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = $0,33$;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = $0,50$.

c) Seção Sob O Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = $5,50 \text{ m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,30m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;

- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00) (6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,74 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,61 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 7,80 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 7800 / (100 \times 25) = 4,36 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kgf/cm² OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -1,74 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -2,04 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 0,72 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 4,61 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,04 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,77 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 8,60 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8600 / (100 \times 25) = 4,81 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kgf/cm² OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

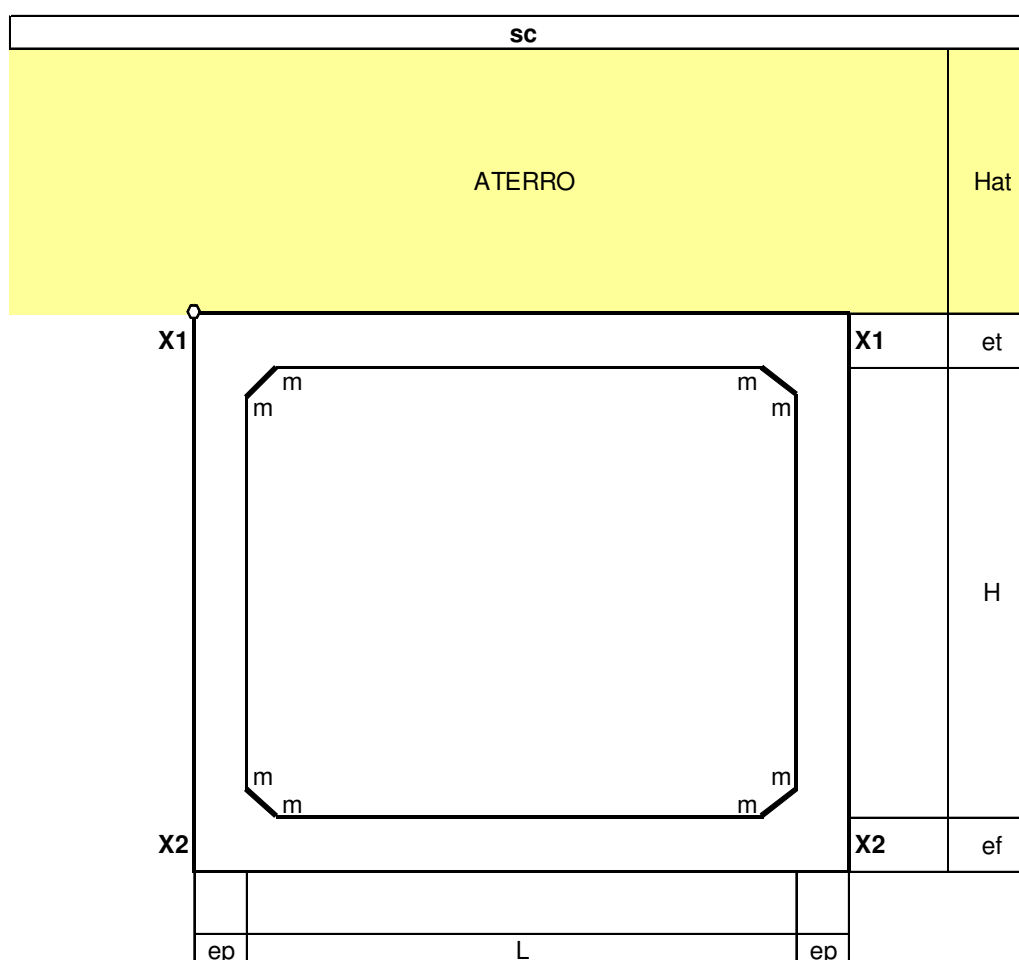
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,18 = t_{fm}/m \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{smín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{spele} = 2 \times 4\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	5,50 m
L = largura interna da galeria =	1,50 m
H = altura interna da galeria =	1,50 m
et = espessura da laje de tampa =	0,30 m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30 m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30 m
m = extensão da mísula =	0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,50\text{t/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,80\text{t/m}^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,50\text{t/m}^3$;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 1,80m..... L't = comp. elástico da tampa = 1,80m;
- Lp = comprimento das paredes = 1,80m ... L'p = comp. elástico das paredes = 1,80m;
- Lf = comprimento do fundo = 1,80m..... L'f = comp. elástico do fundo = 1,80m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	10,4tf/m ² ;	
MÍN	9,9tf/m ² .	
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	6,15tf/m ²	Ko
MÍN	3,89tf/m ²	Ka
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	11,47tf/m ² ;
MÍN	10,22tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 10,40 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 3,89 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 11,47 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{ m}$;
- $L'p = 1,80 \text{ m}$;
- $L'f = 1,80 \text{ m}$;
- $S1 = 9,90$;
- $S2 = 10,97$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -1,60 \quad \text{tfm/m}$;
- $X2 = -1,87 \quad \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 9,90 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 6,15 \quad \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 10,22 \quad \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{ m}$;
- $L'p = 1,80 \quad \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{ m}$;
- $S1 = 10,34$;
- $S2 = 10,93$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,70\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,85\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 10,40\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,15\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 11,47\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 10,75;$
- $S2 = 11,95.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,74\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,04\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,74\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,04\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 2,61\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 0,72\text{tfm/m};$

- $M_{\text{fundo}} = 2,77 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 7,80 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 4,61 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 8,60 \text{ tf/m}$.

3.3.16 2711 - Obra 17 (BSTC-1,20) - Est. 3360+18,95m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = $2,56 \text{ Mpa} = 25,6 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 3 cm ;
- w = abertura de fissuras $< 0,2 \text{ mm}$. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = $1,20 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $1,00 \text{ m}$;
- $L_{\text{TOTAL}} = 56,86 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k\mu = k\mu' = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = $0,50$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $6,00\text{m}$;
- D_e = diâmetro externo do tubo = $1,40\text{m}$;
- b_v = largura da vala = $2,65\text{m}$;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,26\text{m}$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $6,00\text{m}$;
- $P_{vs} = 6,00 \times 1,80 = 10,80 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm ;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,66m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior

- $P_{vs} = 2,66 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 4,79 + 1,14 + 0,50 = 6,43 \text{ tf/m}^2$;

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($P_{vs} = 10,80 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 a 0,40m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão de vida à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,20m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes}$

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,76 \text{ tf}$;
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,51 \text{ tf}$;
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	$= 1,30 \text{ tf}$;
- Viga superior

$0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$	$= 0,52 \text{ tf}$.
--	-----------------------
- $P_v = 5,09 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III "CUTOFF" (28/66)

- $\text{Asmín} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 10$;
 $\text{Asinf} = 3\Phi 10$;
 $\text{Aspele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $\text{Asw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

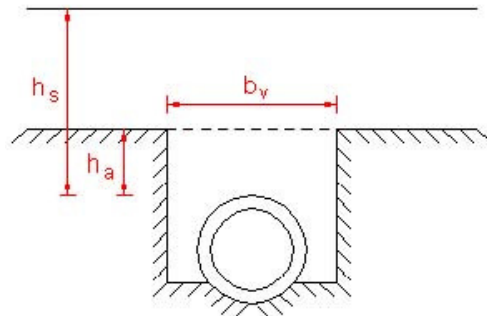
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = $-0,4$;
- Altura de terra (h_s): $6,00 \text{ m}$;
- Largura da vala (b_v) = $2,65 \text{ m}$;
- Altura (h_a) = $0,25 \text{ m}$;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



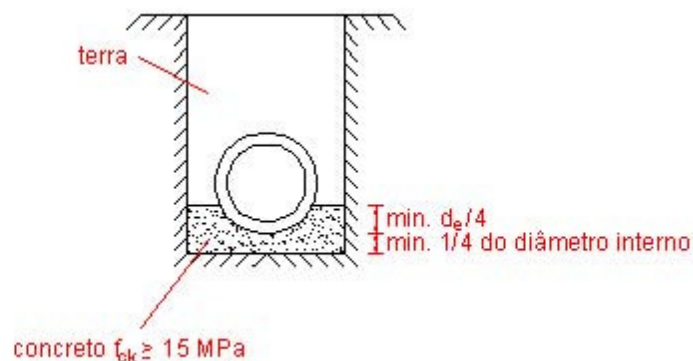
c) Dados da Sobrecarga

- Valor = $5,00 \text{ kN/m}$.

d) Dados da Base:

- Tipo: Base de concreto (Classe A)

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo $1/4$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até $1/4$ do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = $2,0$

$$\gamma_f = 1,50.$$

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 202,37 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.3.17 2711 - Obra 18 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 3389+7,16m - Lote 09

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 2,00m;
- L_i = altura interna = 2,00m;
- L = comprimento longitudinal = 79,58 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 10,95m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50$ tf/m².

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese :** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,90m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;

- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00) (6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -6,24 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 9,38 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 7,77 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 20,21 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 20210 / (100 \times 40) = 7,07 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kgf/cm² OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -6,24 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -7,11 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,15 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 11,41 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -7,11 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 9,78 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 8,11 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 21,76 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 21760 / (100 \times 40) = 7,61 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kgf/cm² OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,18 = t_{fm}/m \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{smin} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 12,5$;

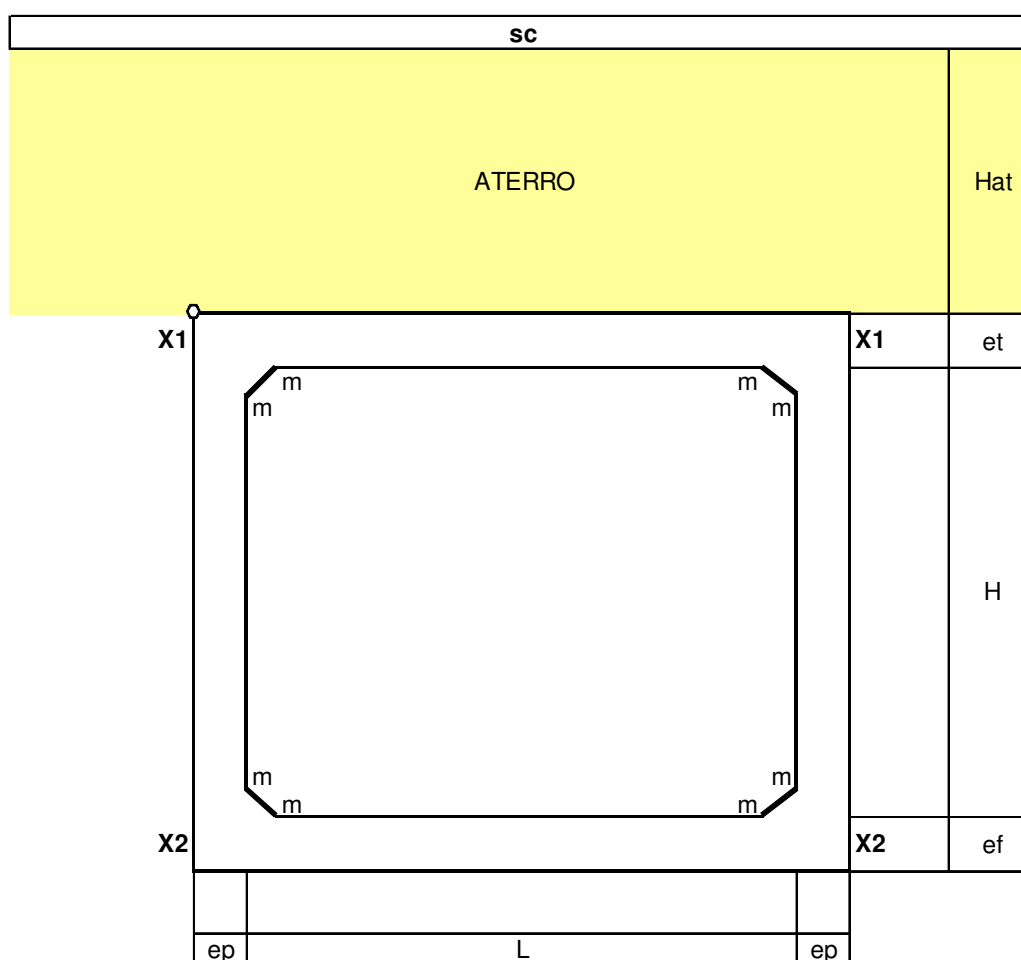
$$A_{sinf} = 3\Phi 12,5;$$

$$A_{spele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$$

$$A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	10,95 m
L = largura interna da galeria =	2,00 m
H = altura interna da galeria =	2,00 m
et = espessura da laje de tampa =	0,45 m
ef = espessura da laje de fundo =	0,45 m
ep = espessura das paredes laterais =	0,45 m
m = extensão da mísula =	0,15 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,50\text{t/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,80\text{t/m}^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,50\text{t/m}^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = 2,45m..... L'_t = comp. elástico da tampa = 2,45m;
- L_p = comprimento das paredes = 2,45m ... L'_p = comp. elástico das paredes = 2,45m;
- L_f = comprimento do fundo = 2,45m..... L'_f = comp. elástico do fundo = 2,45m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	20,21tf/m ² ;
MÍN	19,71tf/m ² .
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	11,41tf/m ²	K_o
MÍN	7,37 tf/m ²	K_a
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	21,76tf/m ² ;
MÍN	20,14tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 20,21 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 7,37 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 21,76 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,45 \text{m}$;
- $L'p = 2,45 \text{m}$;
- $L'f = 2,45 \text{m}$;
- $S1 = 35,49$;
- $S2 = 38,55$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -5,79 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -6,55 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 19,71 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 11,41 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 20,14 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,45 \text{m}$;
- $L'p = 2,45 \text{m}$;
- $L'f = 2,45 \text{m}$;
- $S1 = 37,58$;
- $S2 = 39,35$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -6,19\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,63\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 20,21\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 11,41\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 21,76\text{tf/m}^2;$
- $L't = 2,45\text{m};$
- $L'p = 2,45\text{m};$
- $L'f = 2,45\text{m};$
- $S1 = 38,33;$
- $S2 = 41,79.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -6,24\text{tfm/m};$
- $X2 = -7,11\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -6,24\text{tfm/m};$
- $X2 = -7,11\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 9,38\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 2,15\text{tfm/m};$

- $M_{\text{fundo}} = 9,78 \text{ tfm/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 20,21 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 11,41 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 21,76 \text{ tf/m}$.



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
Secretaria de Infra-estrutura Hídrica

**Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias
Hidrográficas do Nordeste Setentrional**

Projeto Executivo do Lote C - Eixo Leste

MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL DO SISTEMA DE DRENAGEM

TOMO II

1230-MMO-2701-30-05-001-R00
RECIFE-PE

C O N S Ó R C I O

TECHNE • PROJETEC • BRLi

Julho - 2011



PROJETEC





MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

**Projeto de Integração do Rio São Francisco com
Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional**

Projeto Executivo do Lote C – Eixo Leste

MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL DO SISTEMA DE DRENAGEM

TOMO II

1230-MMO-2701-30-05-001-R00

RECIFE-PE

C O N S Ó R C I O

TECHNE • PROJETEC • BRLi

Julho - 2011



1230-MMO-2701-30-05-001-R00

1230-MMO-2701-30-05-001-R00

3.4 SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO MUQUÉM / AQUEDUTO JACARÉ - OBRAS DE DRENAGEM

3.4.1 2712 - Obra 01 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 3587+10,43m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 66,82m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 8,00m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;

- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,00m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$;

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,49 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 3,73 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 4,94 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 11,18 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11180 / (100 \times 25) = 6,26 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,49 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,82 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,87 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 6,30 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,82 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 3,88 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 5,15 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 11,98 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11980 / (100 \times 25) = 6,71 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$

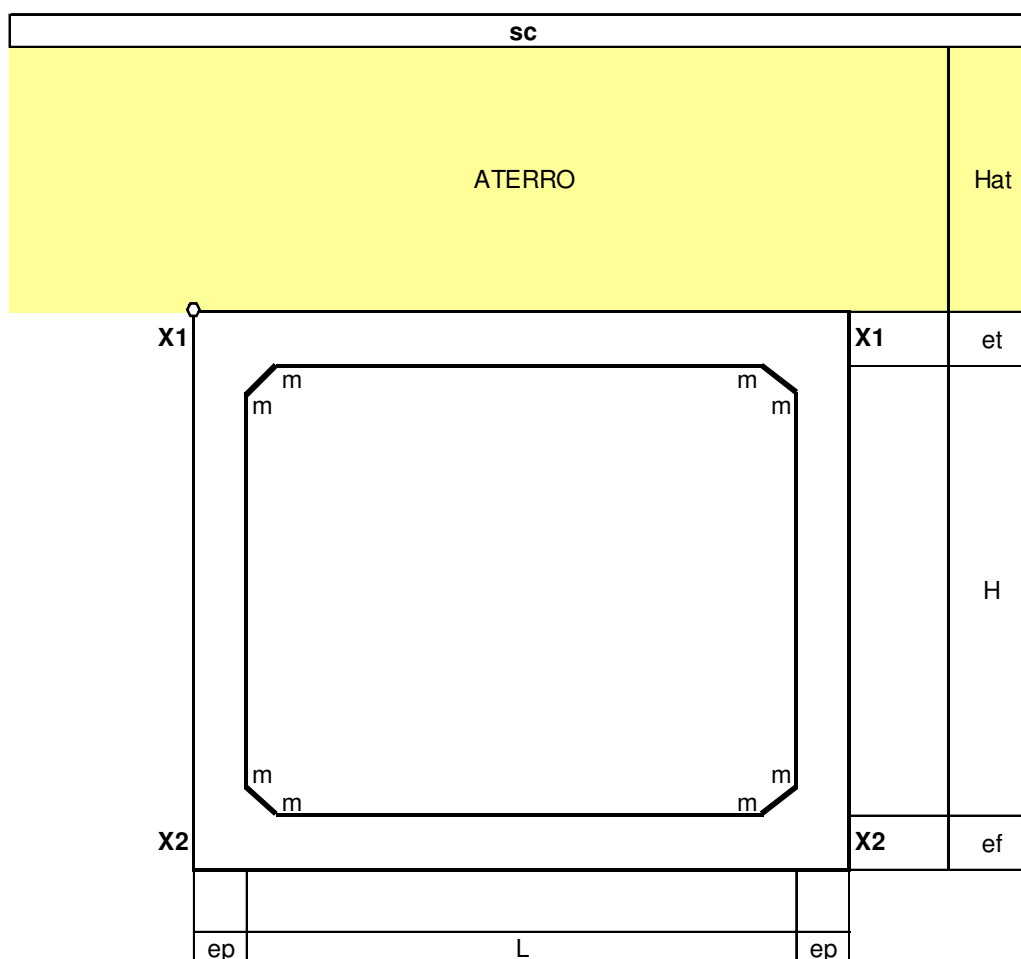
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	8,00	m
L = largura interna da galeria =	1,50	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,10	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5\text{t/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8\text{t/m}^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5\text{t/m}^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = 1,80m..... L'_t = comp. elástico da tampa = 1,80m;
- L_p = comprimento das paredes = 1,80m... L'_p = comp. elástico das paredes = 1,80m;
- L_f = comprimento do fundo = 1,80m..... L'_f = comp. elástico do fundo = 1,80m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa = MÁX 14,9tf/m²;
MÍN 14,4tf/m².
- qp = carga uniforme média nos lados = MÁX 8,40tf/m² Ko
MÍN 5,38tf/m² Ka
- qf = carga uniforme no fundo = MÁX 15,97tf/m²;
MÍN 14,72tf/m².

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 14,90 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 5,38 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 15,97 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{m}$;
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{m}$;
- $S1 = 14,10$;
- $S2 = 15,26$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -2,30 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -2,59 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 14,40 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 8,40 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 14,72 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{m}$;
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{m}$;
- $S1 = 14,84$;
- $S2 = 15,55$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,44\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,62\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 14,90\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,40\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 15,97\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 15,25;$
- $S2 = 16,56.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,49\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,82\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,49\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,82\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 3,73\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 0,87\text{tfm/m};$

- $M_{\text{fundo}} = 3,88 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 11,18 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 6,30 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 11,98 \text{ tf/m}$.

3.4.2 2712 - Obra 02 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 3618+8,05m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = $1,50 \text{ m}$;
- L_i = altura interna = $1,50 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $89,60 \text{ m}$;

b) Dados Da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = $0,33$;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = $0,50$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = $8,00 \text{ m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,60m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 1,60 \times 1,80 + CM \text{ (Carga Móvel)} + sc$;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;

- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00) (6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 2,88 + 1,14 + 0,75 = 4,77 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,49 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,73 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 4,94 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 11,18 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11180 / (100 \times 25) = 6,26 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,49 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -2,82 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 0,87 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 6,30 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,82 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,88 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 5,15 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 11,98 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11980 / (100 \times 25) = 6,71 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

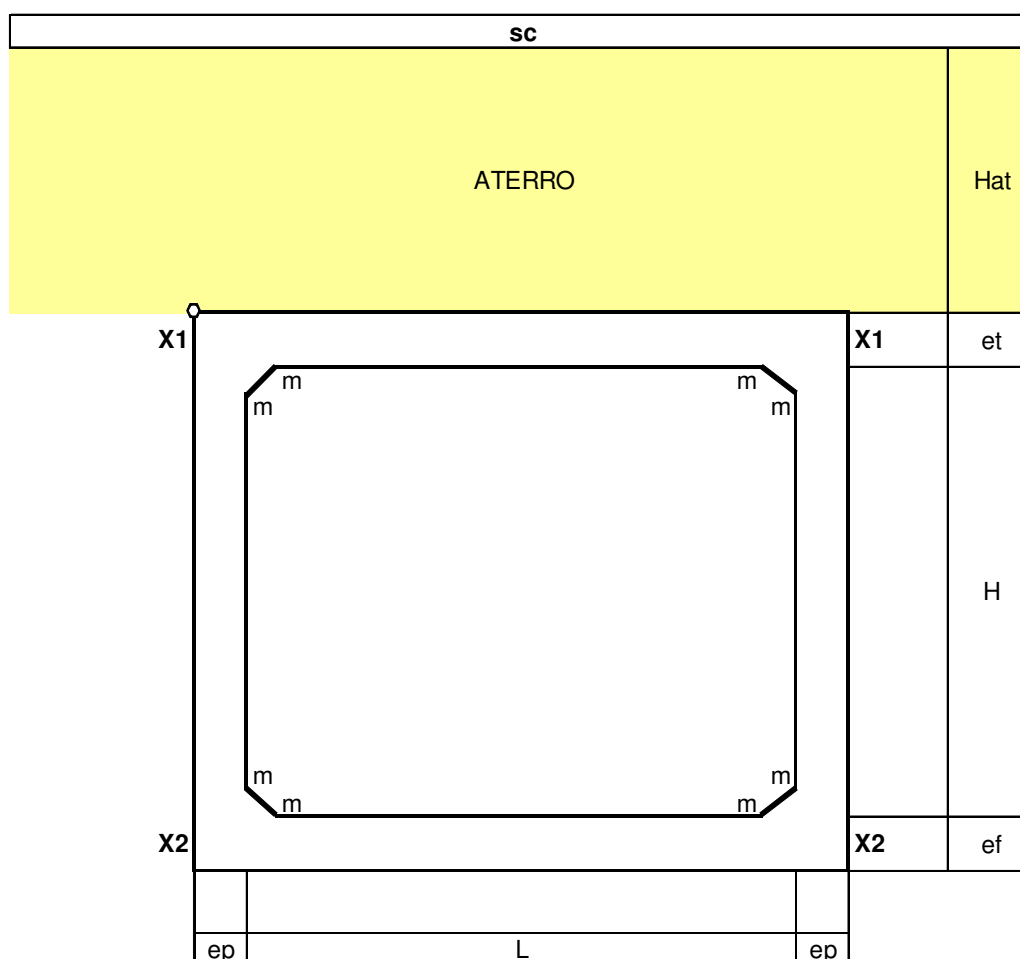
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,18 = t_{fm}/m \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.III “CUTOFF” (25/80)

- $A_{smin} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{spele} = 2 \times 4\Phi 6,3$;
 $A_{sw} = \Phi 6,3 \text{ c. } 20$.

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	8,00	m
L = largura interna da galeria =	1,50	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,10	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5\text{t/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8\text{t/m}^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5\text{t/m}^3$;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 1,80m..... L't = comp. elástico da tampa = 1,80m;
- Lp = comprimento das paredes = 1,80m ... L'p = comp. elástico das paredes = 1,80m;
- Lf = comprimento do fundo = 1,80m..... L'f = comp. elástico do fundo = 1,80m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	14,9tf/m ² ;
MÍN	14,4tf/m ² .
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	8,40tf/m ²	Ko
MÍN	5,38 tf/m ²	Ka
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	15,97tf/m ² ;
MÍN	14,72tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 14,90 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 5,38 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 15,97 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{m}$;
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{m}$;
- $S1 = 14,10$;
- $S2 = 15,26$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 * m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -2,30 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -2,59 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 14,40 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 8,40 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 14,72 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{m}$
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{m}$;
- $S1 = 14,84$;
- $S2 = 15,55$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,44\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,62\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3: Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 14,90\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,40\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 15,97\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 15,25;$
- $S2 = 16,56.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,49\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,82\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,49\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,82\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 3,73\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 0,87\text{tfm/m};$

- $M_{\text{fundo}} = 3,88 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 11,18 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 6,30 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 11,98 \text{ tf/m}$.

3.4.3 2712 - Obra 03 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 3635+0,00m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = $2,00 \text{ m}$;
- L_i = altura interna = $2,00 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $68,28 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = $0,33$;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = $0,50$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = $11,00 \text{ m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,00m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;

- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00) (6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 3,60 + 1,14 + 1,13 = 5,87 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -6,27 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 9,42 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 7,80 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 20,30 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 20300 / (100 \times 40) = 7,11 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kgf/cm² OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -6,27 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -7,14 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,16 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 11,46 \text{ tf/m} \rightarrow OK$

Laje Inferior:

- $X = -7,14 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 9,82 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 8,14 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 21,85 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 21850 / (100 \times 40) = 7,64 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kgf/cm² OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,65/2 = 0,16 + 0,80 = 0,96 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,16 \times (1,325)^2/2 + (0,96 - 0,16) \times (1,325)^2/6 = 0,14 + 0,23 = 0,37 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

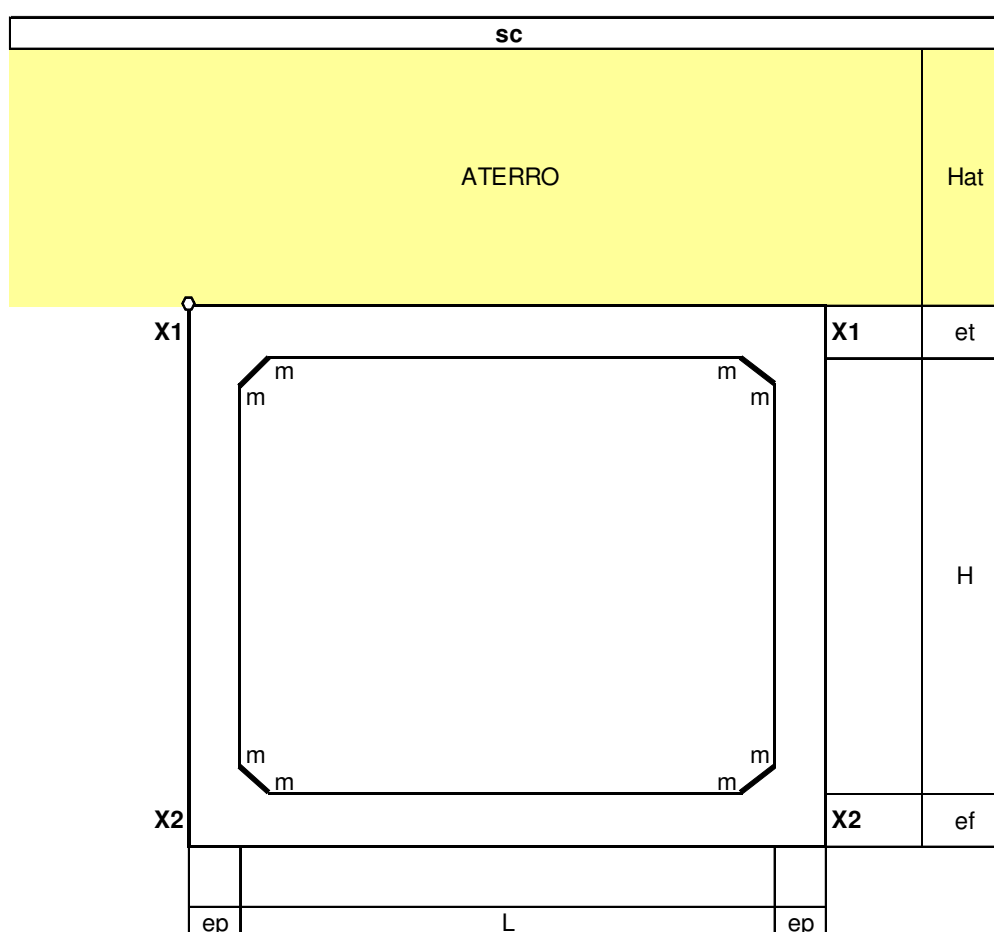
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (2,90 + 6,88)/2 \times 4,05 = 19,80 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 2,65/2 \times 4,60 \times 0,25 \times 2,50 = 7,62 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 7,62/19,80 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,37 = t_{fm}/m \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.III “CUTOFF” (25/80)

- $A_{smin} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{spele} = 2 \times 4\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	11,00	m
L = largura interna da galeria =	2,00	m
H = altura interna da galeria =	2,00	m
et = espessura da laje de tampa =	0,45	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,45	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,45	m
m = extensão da mísula =	0,15	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 2,45m..... L't = comp. elástico da tampa = 2,45m;
- Lp = comprimento das paredes = 2,45m ... L'p = comp. elástico das paredes = 2,45m;
- Lf = comprimento do fundo = 2,45m..... L'f = comp. elástico do fundo = 2,45m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	20,3tf/m ² ;
MÍN	19,8tf/m ² .
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	11,46tf/m ²	Ko
MÍN	7,40 tf/m ²	Ka
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	21,85tf/m ² ;
MÍN	20,23tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÁX)} = 20,30\text{tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÍN)} = 7,40\text{tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÁX)} = 21,85\text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,45\text{m}$;
- $L'p = 2,45\text{m}$
- $L'f = 2,45\text{m}$;
- $S1 = 35,65$;
- $S2 = 38,71$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -5,81\text{tfm/m}$;
- $X2 = -6,58\text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t \text{ (MÍN)} = 19,80\text{tf/m}^2$;
- $q_p \text{ (MÁX)} = 11,46\text{tf/m}^2$;
- $q_f \text{ (MÍN)} = 20,23\text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,45\text{m}$;
- $L'p = 2,45\text{m}$;
- $L'f = 2,45\text{m}$;
- $S1 = 37,74$;
- $S2 = 39,52$.

b) Momentos nos Nós

- $m_1 = 5,00$;
- $m_2 = 5,00$;
- $m_1 \cdot m_2 - 1 = 24,00$;
- $X_1 = -6,22 \text{ tfm/m}$;
- $X_2 = -6,66 \text{ tfm/m}$.

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (K_0)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 20,30 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 11,46 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 21,85 \text{ tf/m}^2$;
- $L'_t = 2,45 \text{ m}$;
- $L'_p = 2,45 \text{ m}$;
- $L'_f = 2,45 \text{ m}$;
- $S_1 = 38,50$;
- $S_2 = 41,96$.

b) Momentos nos Nós

- $m_1 = 5,00$;
- $m_2 = 5,00$;
- $m_1 \cdot m_2 - 1 = 24,00$;
- $X_1 = -6,27 \text{ tfm/m}$;
- $X_2 = -7,14 \text{ tfm/m}$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X_1 = -6,27 \text{ tfm/m}$;
- $X_2 = -7,14 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{tampa}} = 9,42 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{parede}} = 2,16 \text{ tfm/m}$;

- $M_{\text{fundo}} = 9,82 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 20,30 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 11,46 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 21,85 \text{ tf/m}$.

3.4.4 2712 - Obra 04 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 3688+17,23m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = $2,00 \text{ m}$;
- L_i = altura interna = $2,00 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $63,48 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = $0,33$;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = $0,50$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = $7,00 \text{ m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,30m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,30 \times 1,80 + CM \text{ (Carga Móvel)} + sc$;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$

- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00) (6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 4,14 + 1,14 + 0,88 = 6,16 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -3,75 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 5,59 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,18 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 13,10 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 13100 / (100 \times 30) = 6,11 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -3,75 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $X_i = -4,37 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 1,62 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$
- $V = 7,77 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -4,37 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 5,92 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 6,56 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 14,40 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 14400 / (100 \times 30) = 6,72 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2$;
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,65/2 = 0,16 + 0,80 = 0,96 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,16 \times (1,325)^2/2 + (0,96 - 0,16) \times (1,325)^2/6 = 0,14 + 0,23 = 0,37 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

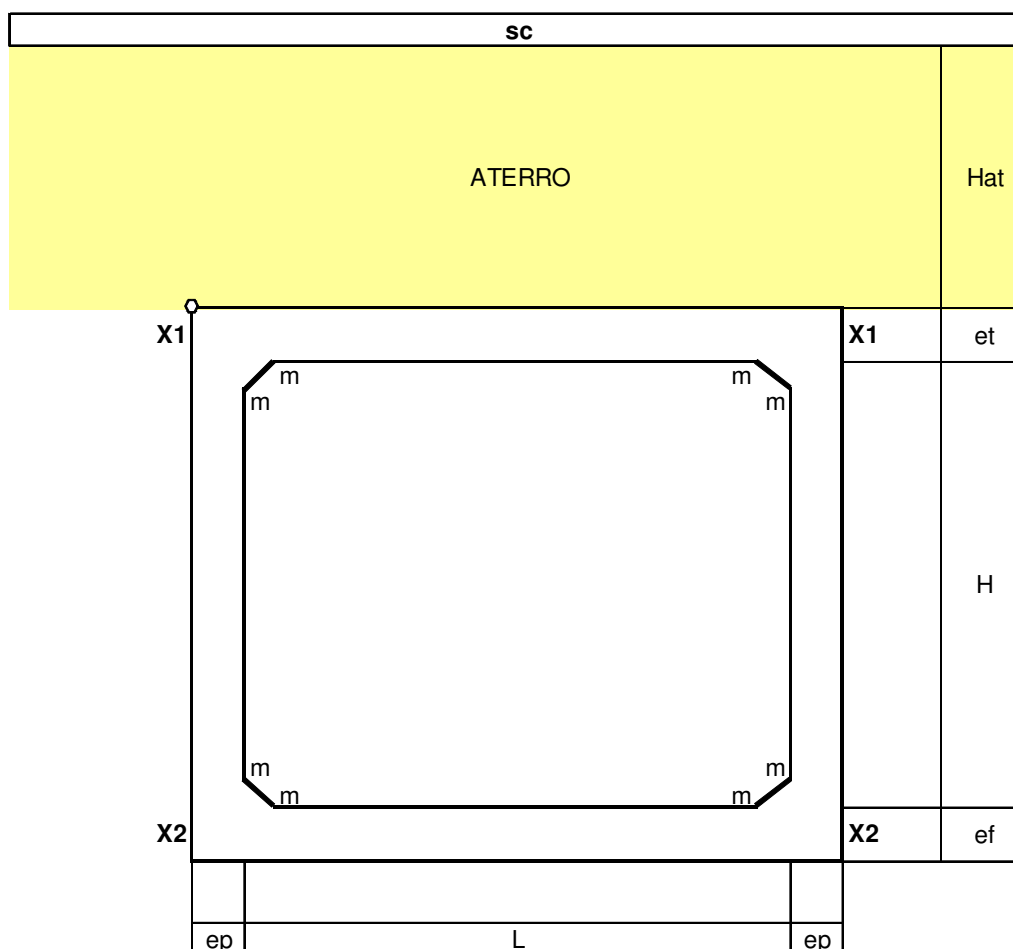
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (2,90 + 6,88)/2 \times 4,05 = 19,80 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 2,65/2 \times 4,60 \times 0,25 \times 2,50 = 7,62 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 7,62/19,80 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,37 = t_{fm}/m \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{smin} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{inf} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{pele} = 2 \times 4\Phi 6,3$;
 $A_{sw} = \Phi 6,3 \text{ c. } 20$.

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	7,00	m
L = largura interna da galeria =	2,00	m
H = altura interna da galeria =	2,00	m
et = espessura da laje de tampa =	0,35	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,35	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,35	m
m = extensão da mísula =	0,15	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 2,35m..... L't = comp. elástico da tampa = 2,35m;
- Lp = comprimento das paredes = 2,35m ... L'p = comp. elástico das paredes = 2,35m;
- Lf = comprimento do fundo = 2,35m..... L'f = comp. elástico do fundo = 2,35m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	13,1tf/m ² ;	
MÍN	12,6tf/m ² .	
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	7,77tf/m ²	Ko
MÍN	4,96tf/m ²	Ka
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	14,40tf/m ² ;
MÍN	13,02tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 13,10 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 4,96 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 14,40 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,35 \text{m}$;
- $L'p = 2,35 \text{m}$;
- $L'f = 2,35 \text{m}$;
- $S1 = 21,29$;
- $S2 = 23,53$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -3,45 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -4,01 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 12,60 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 7,77 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 13,02 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,35 \text{m}$;
- $L'p = 2,35 \text{m}$;
- $L'f = 2,35 \text{m}$;
- $S1 = 22,41$;
- $S2 = 23,70$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,68\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,00\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3: Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 13,10\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,77\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 14,40\text{tf/m}^2;$
- $L't = 2,35\text{m};$
- $L'p = 2,35\text{m};$
- $L'f = 2,35\text{m};$
- $S1 = 23,10;$
- $S2 = 25,59.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,75\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,37\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -3,75\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,37\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 5,59\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 1,52\text{tfm/m};$

- $M_{\text{fundo}} = 5,92 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 13,10 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 7,77 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 14,40 \text{ tf/m}$.

3.4.5 2712 - Obra 05 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 3756+8,73m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = $1,50 \text{ m}$;
- L_i = altura interna = $1,50 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $83,77 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = $0,33$;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = $0,50$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = $5,65 \text{ m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo Dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,30m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = 0,5 tf/m²;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r$ = 0,20m x 0,40m;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 1,30 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + sc ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;

- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf};$
- $Q_{vs} = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00) (6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2;$
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2;$
- $P_{vs} = 2,34 + 1,14 + 0,75 = 4,23 \text{ tf/m}^2;$

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,79 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 2,67 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,00 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8000 / (100 \times 25) = 4,48 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -1,79 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,09 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,72 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 4,71 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,09 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 2,84 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,81 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8810 / (100 \times 25) = 4,93 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

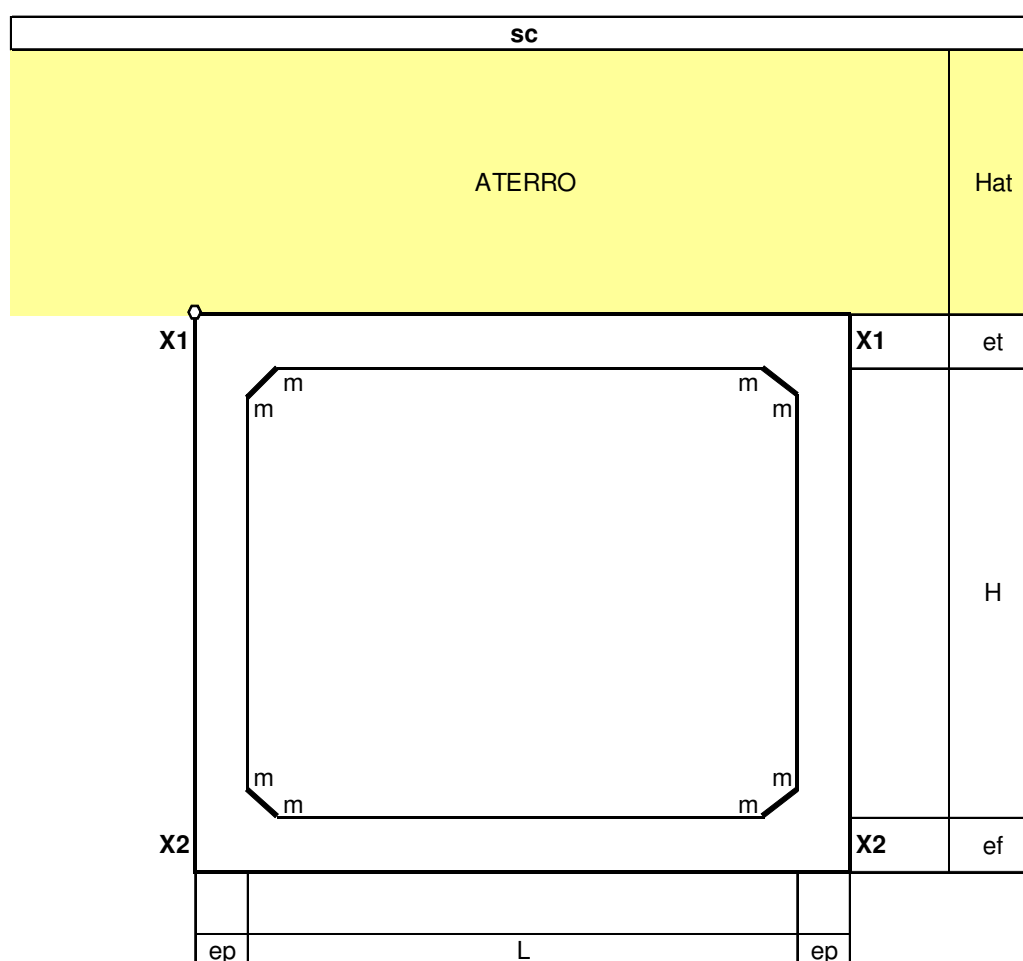
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0$;
- $X = 0,18 = t_{fm}/m \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 0 \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $A_{smin} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 12,5$;
 $A_{spele} = 2 \times 4\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	5,65	m
L = largura interna da galeria =	1,50	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,10	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- Ka = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- Ko = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- Lt = comprimento da tampa = 1,80m..... L't = comp. elástico da tampa = 1,80m;
- Lp = comprimento das paredes = 1,80m ... L'p = comp. elástico das paredes = 1,80m;
- Lf = comprimento do fundo = 1,80m..... L'f = comp. elástico do fundo = 1,80m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	10,67tf/m ² ;
MÍN	10,17tf/m ² .
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	6,28tf/m ²	Ko
MÍN	3,98tf/m ²	Ka
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	11,74tf/m ² ;
MÍN	10,49tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (Ka)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 10,67 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÍN}) = 3,98 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 11,74 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{m}$;
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{m}$;
- $S1 = 10,15$;
- $S2 = 11,23$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -1,65 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -1,92 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima E Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 10,17 \text{tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 6,28 \text{tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 10,49 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{m}$;
- $L'p = 1,80 \text{m}$;
- $L'f = 1,80 \text{m}$;
- $S1 = 10,61$;
- $S2 = 11,21$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,74\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,89\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 10,67\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,28\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 11,74\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 11,02;$
- $S2 = 12,22.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,79\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,09\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,79\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,09\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 2,67\text{tfm/m};$

- $M_{parede} = 0,72 \text{ tf/m}$;
- $M_{fundo} = 2,84 \text{ tf/m}$;
- $V_{tampa} = 8,00 \text{ tf/m}$;
- $V_{parede} = 4,71 \text{ tf/m}$;
- $V_{fundo} = 8,81 \text{ tf/m}$.

3.4.6 2712 - Obra 06 (BSTC-1,20) - Est. 3774+2,91m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em $\text{Mpa} = 2,56 \text{ Mpa} = 25,6 \text{ Kg/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kg/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 3 cm ;
- w = abertura de fissuras $< 0,2 \text{ mm}$. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kg/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kg/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = $1,20 \text{ m}$;
- L = comprimento longitudinal = $1,00 \text{ m}$;
- $L_{TOTAL} = 65,25 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = 1,80 tf/m³;
- $k\mu = k\mu' = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = 0,50 (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 5,80m;
- D_e = diâmetro externo do tubo = 1,40m;
- b_v = largura da vala = 2,65m;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,26m$;

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 5,80m;
- $P_{vs} = 5,80 \times 1,80 = 10,44 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,90m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = 0,5 tf/m²;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20m \times 0,40m$;
- $h_{cl} = (ee - a_r)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $h_{ct} = (er - b_r)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 2,90 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;
- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21$ tf;
- $Q_{vs} = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64$ tf/m²;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14$ tf/m²;
- $P_{vs} = 5,22 + 1,14 + 0,25 = 6,61$ tf/m².

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($P_{vs} = 10,44 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS ($e = 0,25$ a $0,40\text{m}$)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão de vida à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO ($e = 0,20\text{m}$)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes}$

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,76\text{tf}$;
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,51\text{tf}$;
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	$= 1,30 \text{ tf}$;
Viga superior $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$	$= 0,52 \text{ tf}$.
- $P_v = 5,09 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $\text{Asmín} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 10$;
 $\text{Asinf} = 3\Phi 10$;
 $\text{Aspele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $\text{Asw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

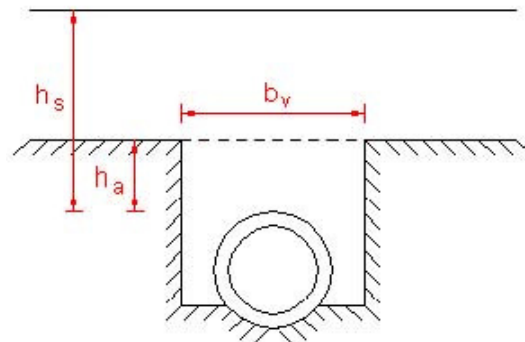
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = 18,00 kN/m³;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = -0,4;
- Altura de terra (h_s): 5,80 m;
- Largura da vala (b_v) = 2,65 m;
- Altura (h_a) = 0,25 m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



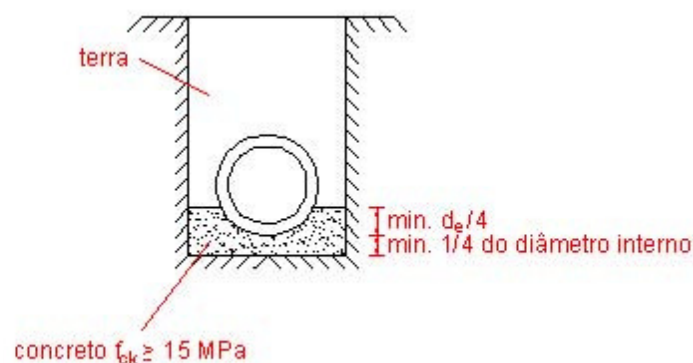
c) Dados da Sobrecarga

- Valor = 5,00 kN/m;

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A)

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



Fator de equivalência = 2,0

$\gamma_f = 1,50$

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 173,47 kN/m
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - - Tubos Simples = não existe;
 - - Classe do Tubo: PA4.

3.4.7 2712 - Obra 07 (BSTC-1,20) - Est. 3790+18,88m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = 2,56 Mpa = 25,6 Kgf/cm²;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 3 cm;
- w = abertura de fissuras < 0,2 mm. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = 1,20m;
- L = comprimento longitudinal = 1,00m;
- L_{TOTAL} = 65,44m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = -0,40 (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 7,15m;
- D_e = diâmetro externo do tubo = 1,40m;
- b_v = largura da vala = 2,65m;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,26\text{m}$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 7,15m;
- $P_{vs} = 7,15 \times 1,80 = 12,87 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á "BASES DE CONCRETO OU CLASSE A", ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro

externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;

- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 3,90m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = 0,5 tf/m²;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br$ = 0,20m x 0,40m;
- $h_{cl} = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $h_{ct} = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $P_{vs} = 3,90 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Q_{vs}$;

- $Q_{vs} = Q_{red}/(a + 1,4h_{equiv})(b + 1,4h_{equiv})$;
- $Q_{red} = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Q_{vs} = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $P_{vs} = 7,02 + 1,14 + 0,50 = 8,66 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($P_{vs} = 12,87 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 a 0,40m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão de vida à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,20m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes}$

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,76 \text{ tf}$;
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	$= 1,51 \text{ tf}$;
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	$= 1,30 \text{ tf}$;
Viga superior $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$	$= 0,52 \text{ tf}$;
- $P_v = 5,09 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III "CUTOFF" (28/66)

- $A_{smín} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 10$;
- $A_{sinf} = 3\Phi 10$;
- $A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
- $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = 18,00 kN/m³;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = -0,4;
- Altura de terra (hs): 7,15 m;
- Largura da vala (bv) = 2,65 m;
- Altura (ha) = 0,25 m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.

3.4.8 2712 - Obra 08 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 3807+12,33m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- $f_{ck} = 25$ MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 2,00m;
- L_i = altura interna = 2,00m;

- L = comprimento longitudinal = 56,24m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 8,90m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -5,11 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 7,87 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 16,52 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 16520 / (100 \times 40) = 5,78 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -5,11 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -5,93 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,92 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$
- $V = 9,57 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -5,93 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 8,10 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 18,07 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 18070 / (100 \times 40) = 6,32 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,65/2 = 0,16 + 0,80 = 0,96 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,325)^2/2 + (0,96 - 0,16) \times (1,325)^2/6 = 0,14 + 0,23 = 0,37 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

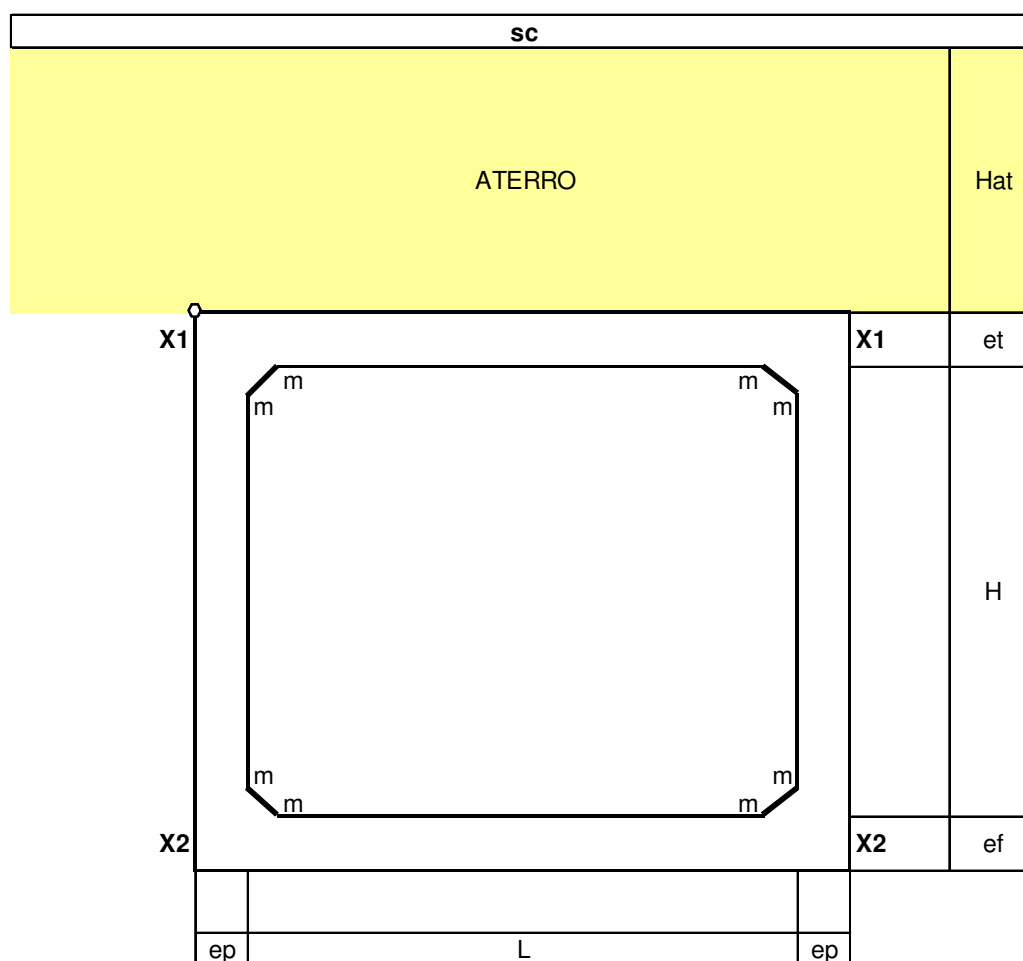
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (2,90 + 6,88)/2 \times 4,05 = 19,80 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 2,65/2 \times 4,60 \times 0,25 \times 2,50 = 7,62 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 7,62/19,80 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,37 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6.3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 8,90 m

L = largura interna da galeria = 2,00 m

H = altura interna da galeria = 2,00 m

et = espessura da laje de tampa = 0,45 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,45 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,45 m

m = extensão da mísula = 0,15 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $2,45m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $2,45m$;
- L_p = comprimento das paredes = $2,45m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $2,45m$;
- L_f = comprimento do fundo = $2,45m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $2,45m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$16,52tf/m^2$;
MÍN	$16,02tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$9,57tf/m^2$	K_o
MÍN	$6,15tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$18,07tf/m^2$;
MÍN	$16,45tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $16,52tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $6,15tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $18,07tf/m^2$;
- L'_t = $2,45m$;
- L'_p = $2,45m$;
- L'_f = $2,45m$;
- S_1 = $29,10$;

- $S2 = 32,04$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -4,73 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -5,46 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2: Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 16,02 \text{tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 9,57 \text{tf/m}^2$;
- $qf \text{ (MÍN)} = 16,45 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 2,45 \text{m}$;
- $L'p = 2,45 \text{m}$;
- $L'f = 2,45 \text{m}$;
- $S1 = 30,75$;
- $S2 = 32,34$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -5,06 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -5,46 \text{tfm/m}$.

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 16,52 \text{tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 9,57 \text{tf/m}^2$;

- $q_f (\text{MÁX}) = 18,07 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 2,45 \text{ m}$;
- $L'p = 2,45 \text{ m}$;
- $L'f = 2,45 \text{ m}$;
- $S1 = 31,50$;
- $S2 = 34,77$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -5,11 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -5,93 \text{ tfm/m}$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -5,11 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -5,93 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{tampa}} = 7,67 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{parede}} = 1,92 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{fundo}} = 8,10 \text{ tfm/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 16,52 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 9,57 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 18,07 \text{ tf/m}$.

3.4.9 2712 - Obra 10 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 3855+14,00m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3$;

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.1 TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- $B_i = \text{largura interna} = 2,00\text{m}$;
- $L_i = \text{altura interna} = 2,00\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 64,91\text{m}$;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- $k_a = \text{coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine)} = 0,33$;
- $k_0 = \text{coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine)} = 0,50$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- $h_s = \text{altura de terra acima da laje superior do tubo} = 5,30\text{m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação.
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- $h_s = \text{aterro sobre a galeria} = 2,00\text{m}$;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- $Q = \text{peso total do veículo} = 30 \text{ tf}$;
- $q = \text{carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados} = 0,5 \text{ tf/m}^2$;

- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + sc ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,88 = 5,62 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,88 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 4,29 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 10,04 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 10040/(100 \times 30) = 4,68 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,88 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -3,47 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,34 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 6,24 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -3,47 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 4,64 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 11,34 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11340 / (100 \times 30) = 5,29 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,65/2 = 0,16 + 0,80 = 0,96 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,325)^2/2 + (0,96 - 0,16) \times (1,325)^2/6 = 0,14 + 0,23 = 0,37 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

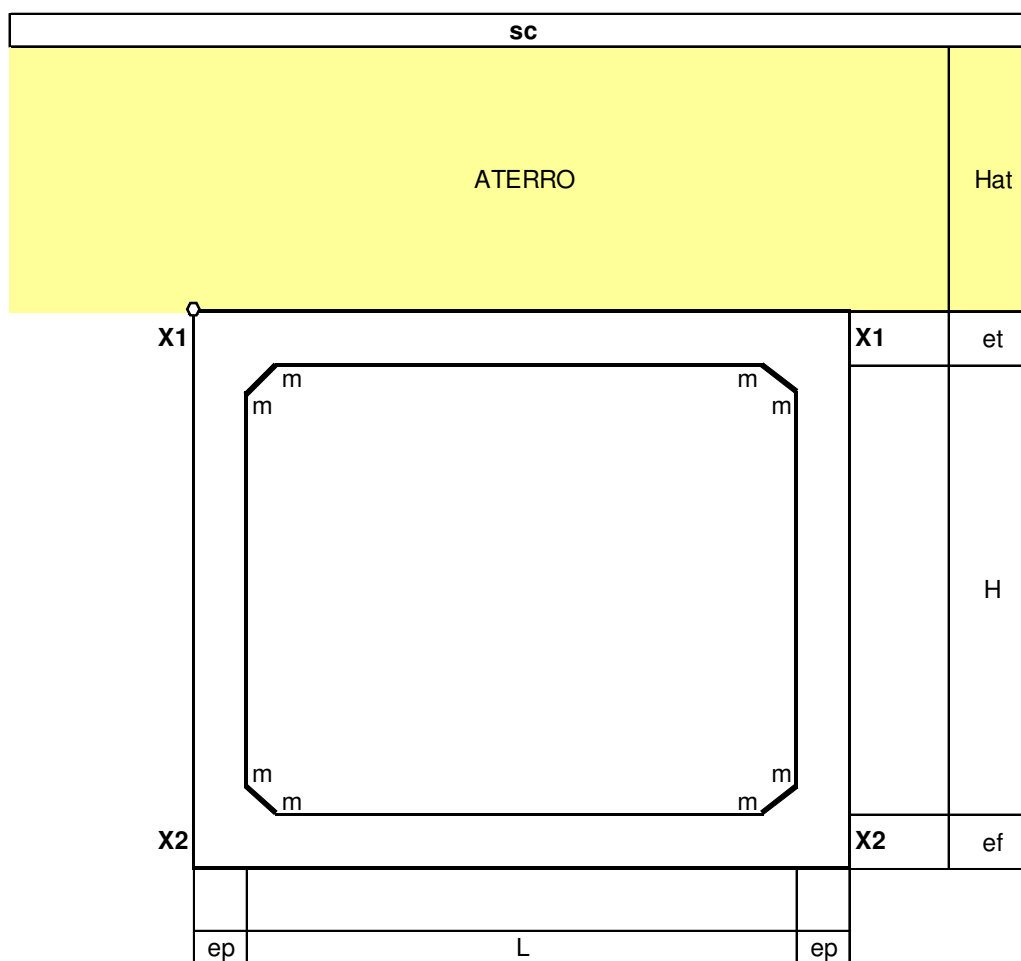
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = (2,90 + 6,88)/2 \times 4,05 = 19,80 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 2,65/2 \times 4,60 \times 0,25 \times 2,50 = 7,62 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 7,62/19,80 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,37 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 5,30 m

L = largura interna da galeria = 2,00 m

H = altura interna da galeria = 2,00 m

et = espessura da laje de tampa = 0,35 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,35 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,35 m

m = extensão da mísula = 0,15 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $2,35m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $2,35m$;
- L_p = comprimento das paredes = $2,35m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $2,35m$;
- L_f = comprimento do fundo = $2,35m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $2,35m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$10,04tf/m^2$;
MÍN	$9,54tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$6,24tf/m^2$	K_o
MÍN	$3,95tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$11,34tf/m^2$;
MÍN	$9,96tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $10,04tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $3,95tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $11,34tf/m^2$;
- L'_t = $2,35m$;
- L'_p = $2,35m$;
- L'_f = $2,35m$;
- S_1 = $16,41$;

- $S2 = 18,56$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -2,65 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -3,18 \text{ tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 9,54 \text{ tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,24 \text{ tf/m}^2$;
- $qf \text{ (MÍN)} = 9,96 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 2,35 \text{ m}$;
- $L'p = 2,35 \text{ m}$;
- $L'f = 2,35 \text{ m}$;
- $S1 = 17,19$;
- $S2 = 18,34$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$
- $m2 = 5,00$
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$
- $X1 = -2,82 \text{ tfm/m}$
- $X2 = -3,11 \text{ tfm/m}$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 10,04 \text{ tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,24 \text{ tf/m}^2$;

- $q_f (\text{MÁX}) = 11,34 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 2,35 \text{ m}$;
- $L'p = 2,35 \text{ m}$;
- $L'f = 2,35 \text{ m}$;
- $S1 = 17,88$;
- $S2 = 20,24$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -2,88 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -3,47 \text{ tfm/m}$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,88 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -3,47 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{tampa}} = 4,29 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{parede}} = 1,34 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{fundo}} = 4,64 \text{ tfm/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 10,04 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 6,24 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 11,34 \text{ tf/m}$.

3.4.10 2712 - Obra 11 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 3908+11,61m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3$;

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.1 TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- $B_i = \text{largura interna} = 1,50\text{m}$;
- $L_i = \text{altura interna} = 1,50\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 66,02\text{m}$;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- $k_a = \text{coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine)} = 0,33$;
- $k_0 = \text{coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine)} = 0,50$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- $h_s = \text{altura de terra acima da laje superior do tubo} = 5,70\text{m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- $h_s = \text{aterro sobre a galeria} = 2,00\text{m}$;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- $Q = \text{peso total do veículo} = 30 \text{ tf}$;
- $q = \text{carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados} = 0,5 \text{ tf/m}^2$;

- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,80 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/m$;
- $M = 2,70 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 4,50 \text{ cm}^2/m$;
- $V = 8,07 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8070/(100 \times 25) = 4,52 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -1,80 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,10 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,73 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 4,74 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,10 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 2,86 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,87 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8870 / (100 \times 25) = 4,97 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

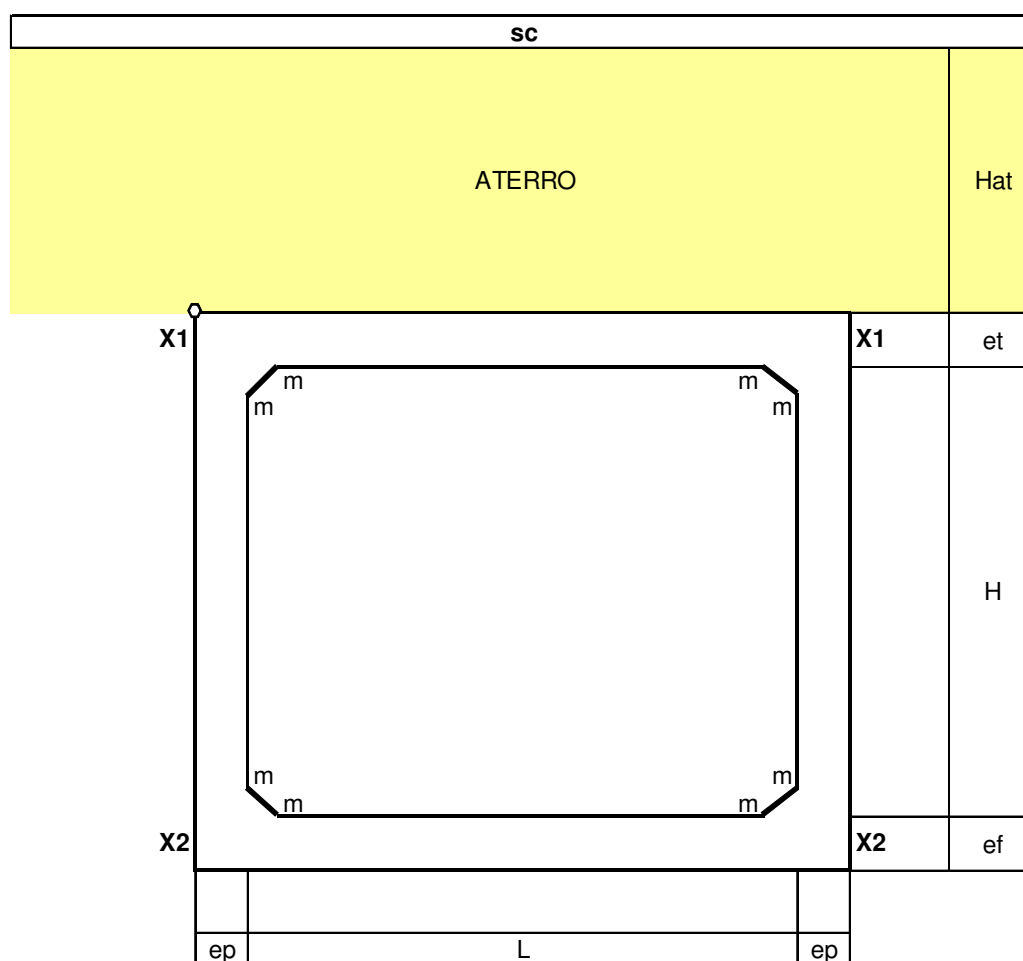
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 5,70 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$10,76tf/m^2$;
MÍN	$10,26tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$6,33tf/m^2$	K_o
MÍN	$4,01tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$11,83tf/m^2$;
MÍN	$10,58tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $10,76tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $4,01tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $11,83tf/m^2$;
- L'_t = $1,80m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,80m$;
- S_1 = $10,23$;
- S_2 = $11,32$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,66\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,93\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 10,26\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,33\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 10,58\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 10,70;$
- $S2 = 11,30.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,76\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,91\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 10,76\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,33\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 11,83\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 11,11;$
- $S2 = 12,32.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,80\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,10\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,80\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,10\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 2,70\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 0,73\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 2,86\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 8,07\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 4,74\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 8,87\text{tf/m}.$

3.5 SEGMENTO DE CANAL AQUEDUTO JACARÉ / RESERVATÓRIO CACIMBA NOVA - OBRAS DE DRENAGEM

3.5.1 2713 - Obra 01 (BSTC-1,20) - Est. 4084+7,12m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$

- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = $2,56 \text{ Mpa} = 25,6 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 5 cm ;
- w = abertura de fissuras $< 0,2 \text{ mm}$. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = $1,20\text{m}$;
- L = comprimento longitudinal = $1,00\text{m}$;
- $L_{TOTAL} = 70,31 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = $0,50$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $5,70\text{m}$;

- De = diâmetro externo do tubo = 1,46m;
- b_v = largura da vala = 2,65m;
- ha = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times De = 1,31m$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- hs = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 5,70m;
- $P_{vs} = 5,70 \times 1,80 = 10,26 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$
Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver listagem anexo.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- hs = aterro sobre a galeria = 3,70m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;

- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 3,70 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 6,66 + 1,14 + 0,50 = 8,30 \text{ tf/m}^2$;

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 10,26 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS ($e = 0,25$ a $0,40m$)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO ($e = 0,28m$)

- SF = área da base da laje de fundação = $2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;

- | | | |
|---------------|--|------------|
| Pv = Paredes | $2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$ | = 1,76 tf; |
| | $2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$ | = 1,51 tf; |
| | $2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$ | = 1,30 tf; |
| Viga superior | $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$ | = 0,52 tf. |
- Pv = 5,09 tf;
- $q = \sigma_s = Pv/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{smín} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 10$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 10$;
 $A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

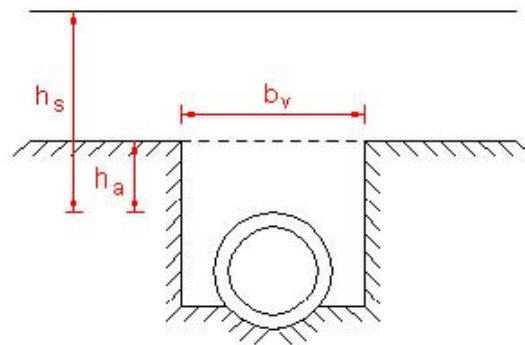
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = -0,4;
- Altura de terra (hs): 5,70 m;
- Largura da vala (bv) = 2,65 m;
- Altura (ha) = 0,25 m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.

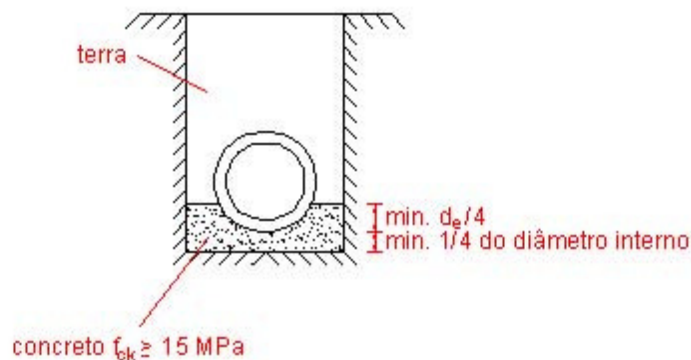


c) Dados da Sobrecarga

- Valor = 5,00 kN/m.

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A);
- São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo;



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 171,91 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.5.2 2713 - Obra 02 (BDTC-1,20) - Est. 4136+6,68m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = 2,56 Mpa = 25,6 Kgf/cm²;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 5 cm;
- w = abertura de fissuras < 0,2 mm. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = 1,20m;
- L = comprimento longitudinal = 1,00m;
- $L_{TOTAL} = 56,68 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = 1,80 tf/m³;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:

- k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
- μ = coeficiente de atrito interno do solo;
- μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = 0,50 (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 6,42m;
- D_e = diâmetro externo do tubo = 1,46m;
- b_v = largura da vala = 5,62m;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,31\text{m}$;

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 6,42m;
- $P_{vs} = 6,42 \times 1,80 = 11,56 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação.
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$
Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 3,72m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;

- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = $1,50\text{m}$;
- er = distância entre rodas = $2,00\text{m}$;
- Área de projeção do veículo = $3,00\text{m} \times 6,00\text{m}$;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a $1,00\text{m}$ ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 3,72 \times 1,80 + CM \text{ (Carga Móvel)} + pp$;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 6,70 + 1,14 + 0,50 = 8,34 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 11,56 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 a 0,40m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p_2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,23m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,86 \times 2,30 = 8,88 \text{ m}^2$;
- $P_v = \text{Paredes}$

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	= 1,76 tf;
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	= 1,51 tf;
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	= 1,30 tf;
Viga superior $0,40 \times 0,43 \times 2,86 \times 2,50$	= 1,23 tf;
- $P_v = 5,8 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,8/8,88 - 0,23 \times 2,50 = 0,078 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,078 \cdot (2,86)^2/8 = 0,08 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III "CUTOFF" (23/56)

- $\text{Asmín} = 1,93 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 10$;
 $\text{Asinf} = 3\Phi 10$;
 $\text{Aspele} = 2 \times 1\Phi 6.3$;
 $\text{Asw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;

- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = $-0,4$;
- Altura de terra (h_s): $6,42\text{m}$;
- Largura da vala (b_v) = $5,62\text{m}$;
- Altura (h_a) = $0,25\text{m}$;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.

c) Dados da Sobrecarga

- Valor = $5,00 \text{ kN/m}$.

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A);

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo $1/4$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até $1/4$ do diâmetro externo.

- Fator de equivalência = $2,0$ $\gamma_f = 1,50$.

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = $195,03 \text{ kN/m}$;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = $216,00 \text{ kN/m}$;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.5.3 2713 - Obra 03 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 4150+16,14m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50 m;
- L_i = altura interna = 1,50 m;
- L = comprimento longitudinal = 49,80 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 5,20 m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação.
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 3,60 m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;

- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 3,60 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + sc ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred / (a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21 / (3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 6,48 + 1,14 + 0,75 = 8,37 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,65 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,47 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 7,40 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 7400 / (100 \times 25) = 4,14 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -1,65 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -1,95 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,70 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$

$$V = 4,41 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$$

Laje Inferior:

- $X = -1,95 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 2,64 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,20 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8200 / (100 \times 25) = 4,59 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^{2/2} + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^{2/6} = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

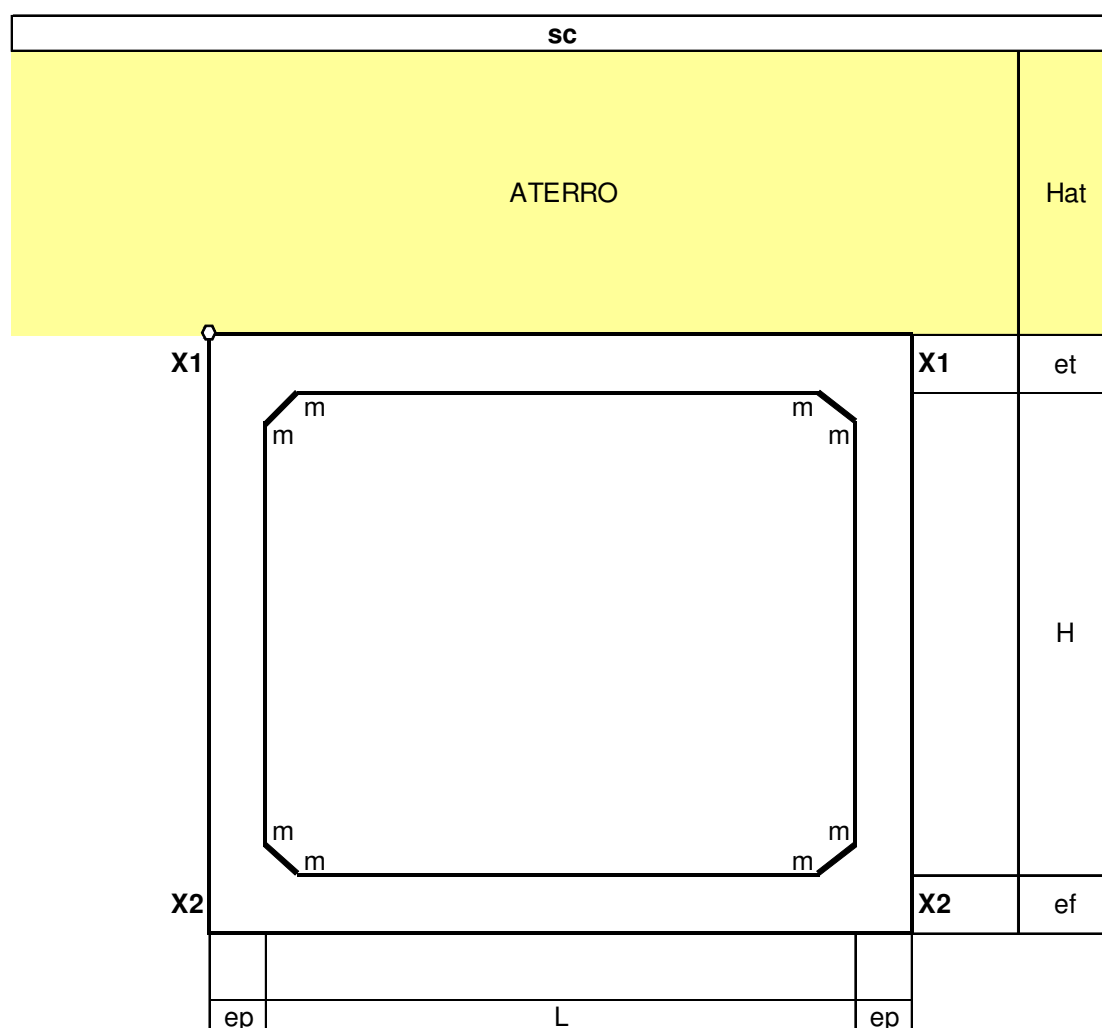
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 5,20 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,50\text{t/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,80\text{t/m}^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,50\text{t/m}^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80\text{m}$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80\text{m}$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80\text{m}$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80\text{m}$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80\text{m}$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80\text{m}$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$9,86\text{tf/m}^2$;
MÍN	$9,36\text{tf/m}^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$5,88\text{tf/m}^2$	K_o
MÍN	$3,71\text{tf/m}^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$10,93\text{tf/m}^2$;
MÍN	$9,68\text{tf/m}^2$.

3.5.4 2713 - Obra 04 (BSTC-1,20) - Est. 4184+4,43m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50\text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80\text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40\text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50\text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25\text{ MPa}$;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = $2,56\text{ Mpa} = 25,6\text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800\text{ Mpa} = 238.000\text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 5 cm ;

- w = abertura de fissuras $< 0,2$ mm. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000$ kgf/cm²;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106$ Kgf/cm²;
- $E_s = 2.100.000$ Kgf/cm².

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = 1,20m;
- L = comprimento longitudinal = 1,00m;
- $L_{TOTAL} = 61,60$ m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80$ tf/m³;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = $0,50$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $8,06$ m;
- D_e = diâmetro externo do tubo = $1,46$ m;
- b_v = largura da vala = $2,65$ m;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,31$ m.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 8,06m;
- $P_{vs} = 8,06 \times 1,80 = 14,51 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$
Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Listagem Anexo.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 3,24m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;

- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = ar x br = 0,20m x 0,40m;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 3,24 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM =$ pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 5,83 + 1,14 + 0,50 = 7,47 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 14,36 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 A 0,40m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,28m)

- $SF =$ área da base da laje de fundação = $2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- | | | |
|----------------|--|-----------------------|
| $Pv =$ Paredes | $2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$ | $= 1,76 \text{ tf}$; |
| | $2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$ | $= 1,51 \text{ tf}$; |
| | $2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$ | $= 1,30 \text{ tf}$; |
| Viga superior | $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$ | $= 0,52 \text{ tf}$. |

- $P_v = 5,09 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{smin} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{ssup} = 3\Phi 10$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 10$;
 $A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

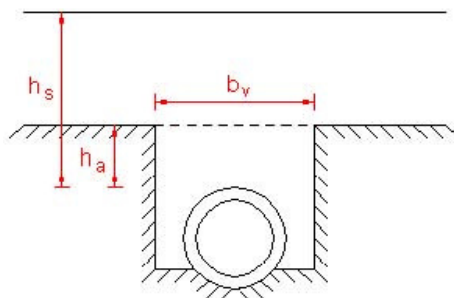
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = 18,00 kN/m³;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = -0,4;
- Altura de terra (h_s): 6,42 m;
- Largura da vala (b_v) = 2,65 m;
- Altura (h_a) = 0,25 m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



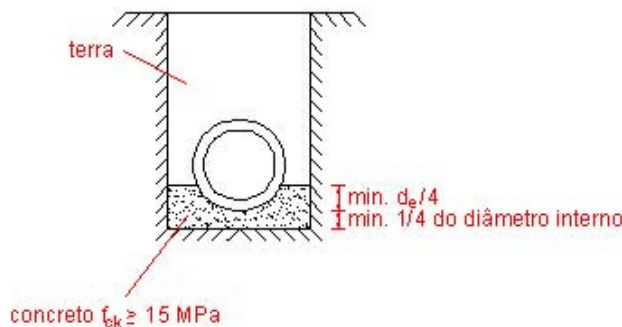
c) Dados da Sobrecarga

- Valor = 5,00 kN/m.

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A);

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 195,03 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - - Tubos Simples = não existe;
 - - Classe do Tubo: PA4.

3.5.5 2713 - Obra 05 (BSTC-1,20) - Est. 4210+17,28m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = 2,56 Mpa = 25,6 Kgf/cm²;

- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $e = \text{cobrimento da armadura} = 5 \text{ cm}$;
- $w = \text{abertura de fissuras} < 0,2 \text{ mm. (n = 2)}$;
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk}/(1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- $D_i = \text{diâmetro interno} = 1,20\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 1,00\text{m}$;
- $L_{\text{TOTAL}} = 57,16 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = $0,50$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $5,58\text{m}$;
- D_e = diâmetro externo do tubo = $1,46\text{m}$;
- b_v = largura da vala = $2,65\text{m}$;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,31\text{m}$

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 8,06m;
- $P_{vs} = 5,58 \times 1,80 = 10,04 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação.
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$
Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 3,06m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;

- Dimensões das rodas = ar x br = 0,20m x 0,40m;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 3,06 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 5,51 + 1,14 + 0,50 = 7,15 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 10,04 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 a 0,40m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,28m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- | | | |
|-----------------------|--|-----------------------|
| $Pv = \text{Paredes}$ | $2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$ | $= 1,76 \text{ tf}$; |
| | $2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$ | $= 1,51 \text{ tf}$; |
| | $2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$ | $= 1,30 \text{ tf}$; |
| Viga superior | $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$ | $= 0,52 \text{ tf}$. |
- $Pv = 5,09 \text{ tf}$;

- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{smin} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 10$;
- $A_{sinf} = 3\Phi 10$;
- $A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
- $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. 2}$.

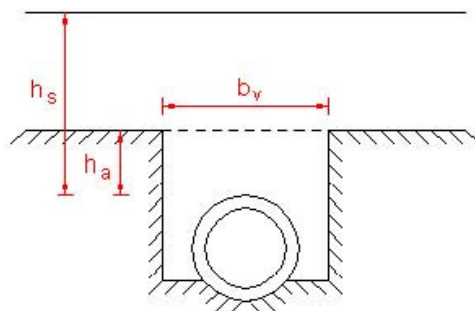
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = $-0,4$;
- Altura de terra (h_s): 5,58m;
- Largura da vala (b_v) = 2,65m;
- Altura (h_a) = 0,25m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



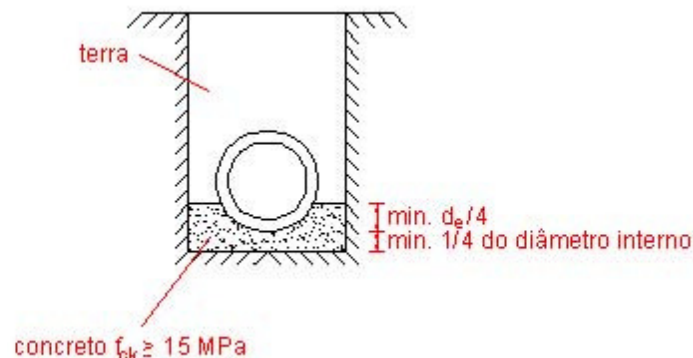
c) Dados da Sobrecarga

- Valor = 5,00 kN/m.

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A);

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 168,06 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.5.6 2713 - Obra 07 (BSTC-1,20) - Est. 4287+11,03m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = 2,56 Mpa = 25,6 Kgf/cm²;

- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $e = \text{cobrimento da armadura} = 5 \text{ cm}$;
- $w = \text{abertura de fissuras} < 0,2 \text{ mm. (n = 2)}$;
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk}/(1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- $D_i = \text{diâmetro interno} = 1,20\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 1,00\text{m}$;
- $L_{\text{TOTAL}} = 54,12 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = $0,50$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $6,24\text{m}$;
- D_e = diâmetro externo do tubo = $1,46\text{m}$;
- b_v = largura da vala = $2,65\text{m}$;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,31\text{m}$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 8,06m;
- $P_{vs} = 6,24 \times 1,80 = 11,23 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$
Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 4,79m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;

- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = ar x br = 0,20m x 0,40m;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 4,79 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM =$ pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 8,62 + 1,14 + 0,50 = 10,26 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 10,26 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 a 0,40m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,28m)

- $SF =$ área da base da laje de fundação = $2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- | | | |
|----------------|--|-----------------------|
| $Pv =$ Paredes | $2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$ | $= 1,76 \text{ tf}$; |
| | $2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$ | $= 1,51 \text{ tf}$; |
| | $2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$ | $= 1,30 \text{ tf}$; |
| Viga superior | $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$ | $= 0,52 \text{ tf}$. |

- $P_v = 5,09 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{smin} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{ssup} = 3\Phi 10$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 10$;
 $A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

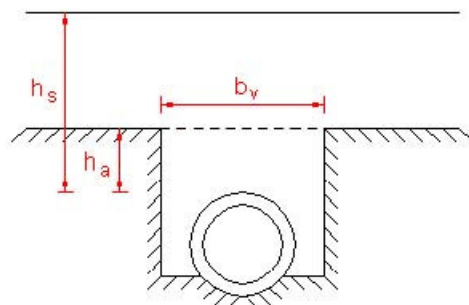
III.IV ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = 18,00 kN/m³;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = -0,4;
- Altura de terra (h_s): 6,24m;
- Largura da vala (b_v) = 2,65m;
- Altura (h_a) = 0,25m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



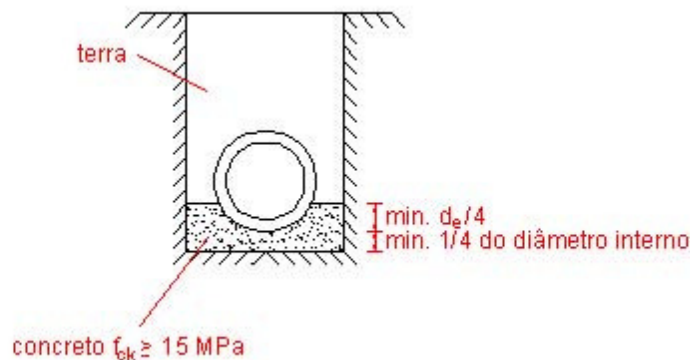
c) Dados da Sobrecarga

- Valor = 5,00 kN/m.

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 189,25 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.5.7 2713 - Obra 08 (BSTC-1,20) - Est. 4301+12,41m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa;
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = 2,56 Mpa = 25,6 Kgf/cm²;

- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $e = \text{cobrimento da armadura} = 5 \text{ cm}$;
- $w = \text{abertura de fissuras} < 0,2 \text{ mm. (n = 2)}$;
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- $D_i = \text{diâmetro interno} = 1,20\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 1,00\text{m}$;
- $L_{\text{TOTAL}} = 51,96 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala.
- ρ = razão de recalque = $0,50$ (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = $5,21\text{m}$;
- D_e = diâmetro externo do tubo = $1,46\text{m}$;
- b_v = largura da vala = $2,65\text{m}$;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,31\text{m}$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 5,21m;
- $P_{vs} = 5,21 \times 1,80 = 9,38 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$
Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 3,69m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;

- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = ar x br = 0,20m x 0,40m;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 3,69 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM =$ pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 6,64 + 1,14 + 0,50 = 9,38 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 9,38 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 a 0,40m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,28m)

- $SF =$ área da base da laje de fundação = $2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- $Pv =$ Paredes

$2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	= 1,76 tf;
$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50$	= 1,51 tf;
$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50$	= 1,30 tf;
Viga superior $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50$	= 0,52 tf.

- $P_v = 5,09 \text{ tf}$;
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{smin} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{ssup} = 3\Phi 10$;
 $A_{sinf} = 3\Phi 10$;
 $A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3$;
 $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

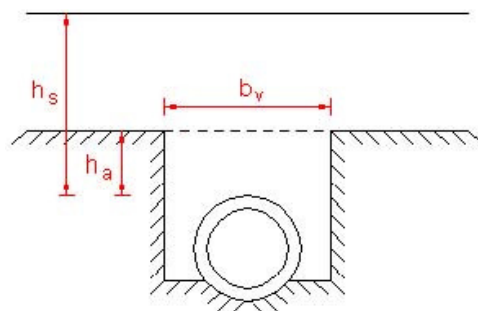
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = $-0,4$;
- Altura de terra (h_s): 5,21m;
- Largura da vala (b_v) = 2,65m;
- Altura (h_a) = 0,25m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



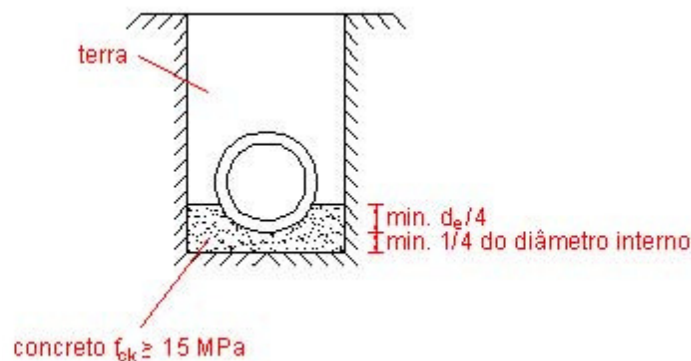
c) Dados da Sobrecarga

Valor = 5,00 kN/m

d) Dados da Base

Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



Fator de equivalência = 2,0

$\gamma_f = 1,50$.

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 156,17 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.6 SEGMENTO DE CANAL EBV-4 / RESERVATÓRIO BAGRES - OBRAS DE DRENAGEM

3.6.1 2715 - Obra 01 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 4879+0,00m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- S_c = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 42,58 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 8,20m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,70m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços Para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,55 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,82 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 5,07 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 11,45 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11450/(100 \times 25) = 6,41 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,55 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,88 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,88 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 6,43 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

$$X = -2,88 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$$

$$M = 3,97 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 5,27 \text{ cm}^2/\text{m};$$

$$V = 12,25 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 12250 / (100 \times 25) = 6,86 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2$$

OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

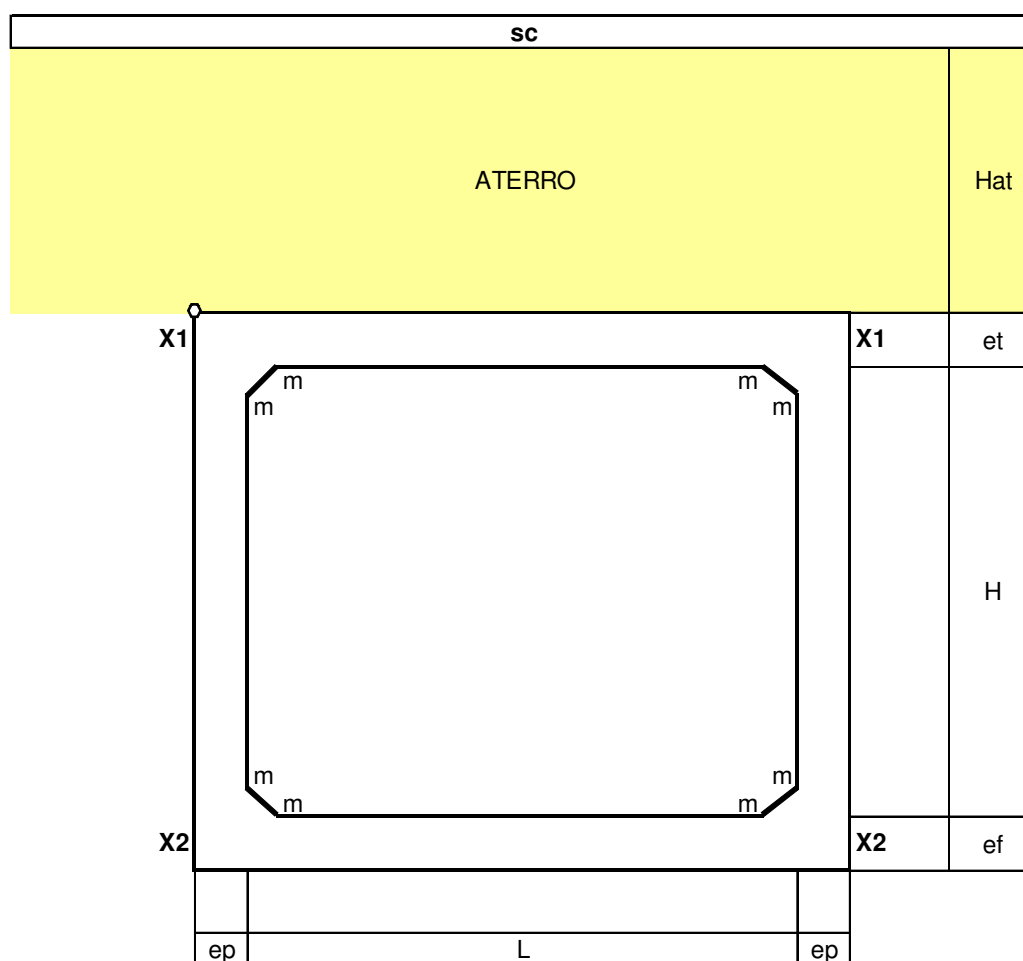
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - \text{ppf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 8,20 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$15,26tf/m^2$;
MÍN	$14,76tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$8,58tf/m^2$	K_o
MÍN	$5,49tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$16,33tf/m^2$;
MÍN	$15,08tf/m^2$.

V. HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

V.I HIPÓTESE 1 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÍNIMA (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $15,26tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $5,49tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $16,33tf/m^2$;
- L'_t = $1,80m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,80m$;
- S_1 = $14,44$;
- S_2 = $15,60$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,36tfm/m;$
- $X2 = -2,65tfm/m.$

V.II HIPÓTESE 2 : PRESSÃO VERTICAL MÍNIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 14,76tf/m^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,58tf/m^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 15,08tf/m^2;$
- $L't = 1,80m;$
- $L'p = 1,80m;$
- $L'f = 1,80m;$
- $S1 = 15,20;$
- $S2 = 15,92.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,50tfm/m;$
- $X2 = -2,68tfm/m.$

V.III HIPÓTESE 3 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 15,26tf/m^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,58tf/m^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 16,33tf/m^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 15,61;$
- $S2 = 16,93.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,55\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,88\text{tfm/m}.$

VI. ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,55\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,88\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 3,82\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 0,88\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 3,97\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 11,45\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 6,43\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 12,25\text{tf/m}.$

3.6.2 2715 - Obra 02 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 4911+4,54m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 50,90m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 6,10m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Vide Anexo I)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,50m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,32 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,48 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 4,60 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 10,43 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 10430/(100 \times 25) = 5,84 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,32 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,65 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,83 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 5,93 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,65 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 3,63 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 4,81 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 11,24 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11240 / (100 \times 25) = 6,29 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

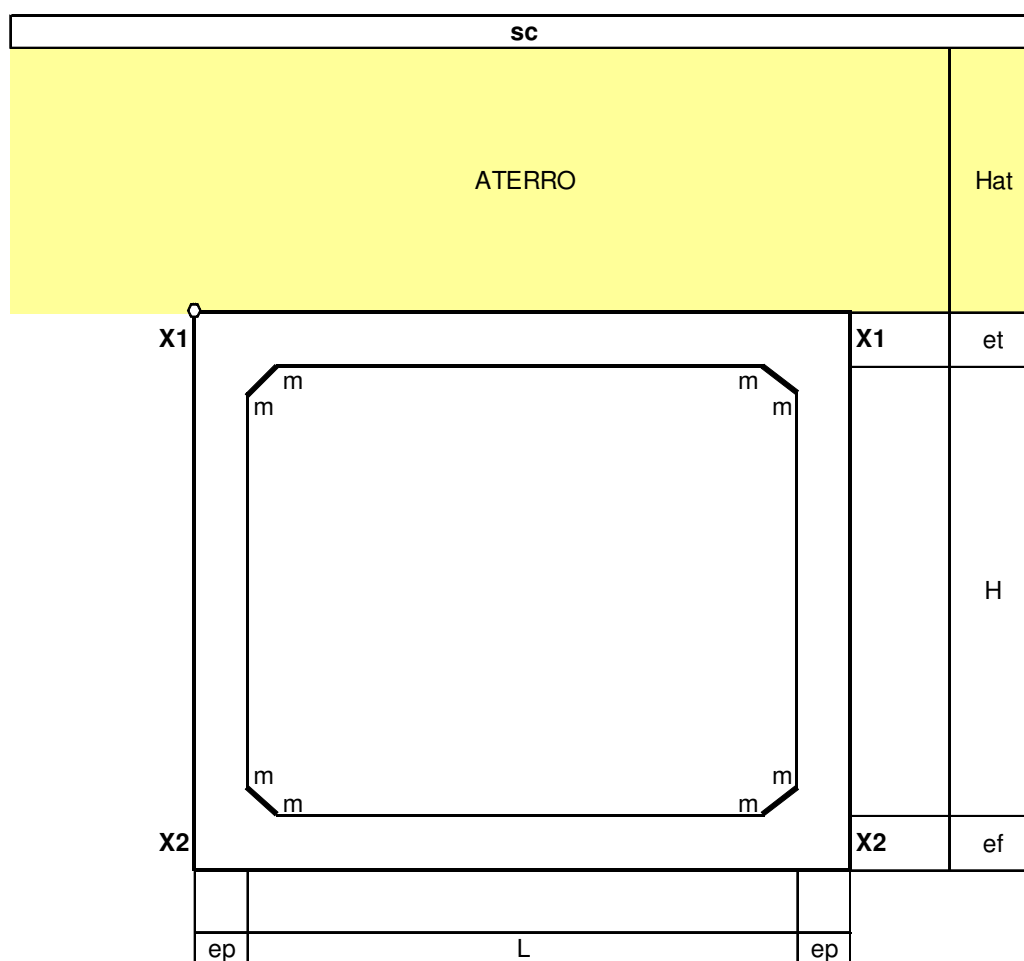
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	7,45	m
L = largura interna da galeria =	1,50	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,10	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$13,91tf/m^2$;
MÍN	$13,41tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$7,90tf/m^2$	K_o
MÍN	$5,05tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$14,98tf/m^2$;
MÍN	$13,73tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $13,91tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $5,05tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $14,98tf/m^2$;
- L'_t = $1,80m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,80m$;
- S_1 = $13,18$;
- S_2 = $14,32$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,15\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,43\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 13,41\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,90\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 13,73\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 13,85;$
- $S2 = 14,54.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,28\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,45\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 13,91\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,90\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 14,98\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 14,26;$
- $S2 = 15,55.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,32\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,65\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,32\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,65\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 3,48\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 0,83\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 3,63\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 10,43\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 5,93\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 11,24\text{tf/m}.$

3.6.3 2715 - Obra 03 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 4925+16,06m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 61,37 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 9,65m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,05m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços Para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -3,14 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 4,73 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 13,40 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 13400/(100 \times 30) = 6,25 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -3,14 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -3,54 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,04 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 7,44 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -3,54 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 4,89 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 5,39 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 14,30 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 14300 / (100 \times 30) = 6,67 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

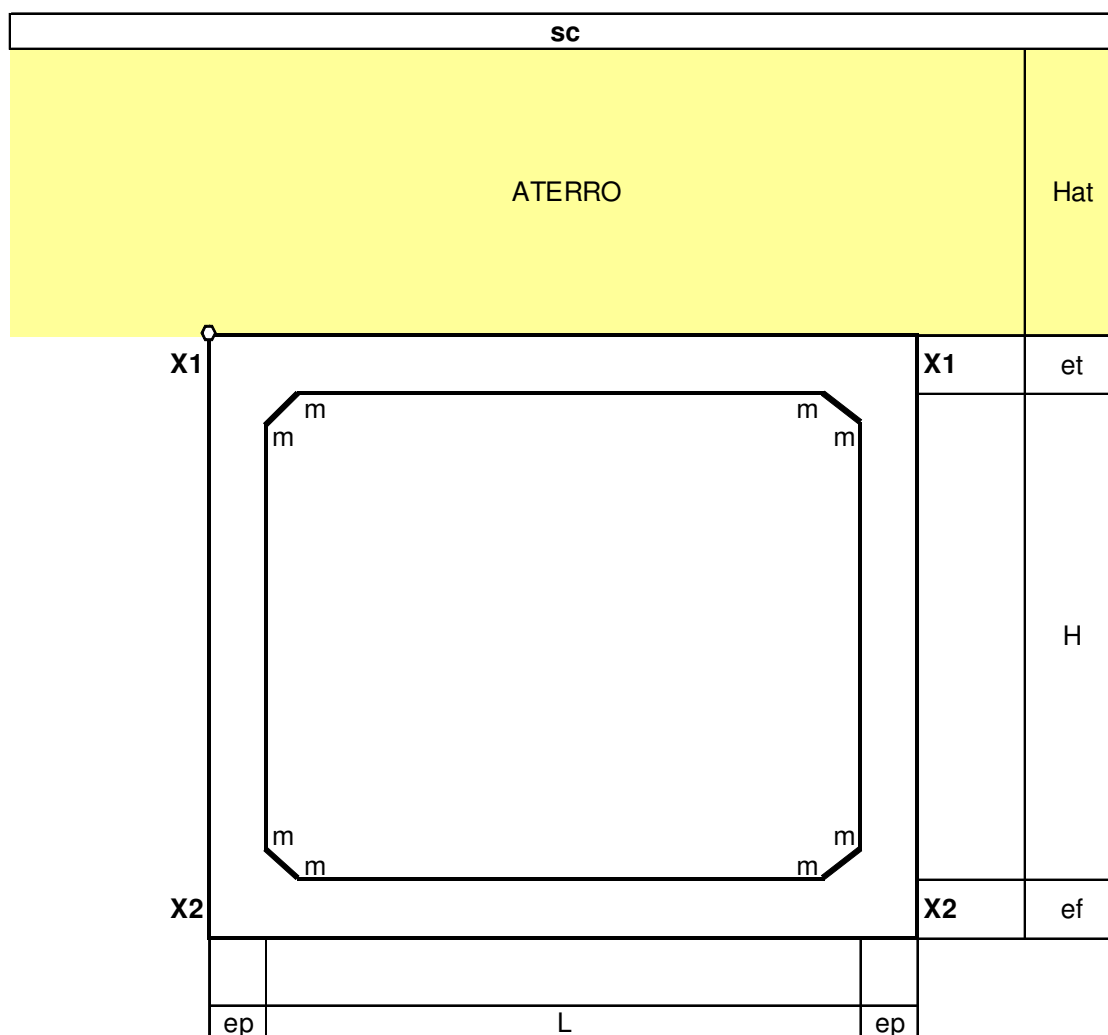
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20.}$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 9,65 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,35 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,35 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,35 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,85m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,85m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,85m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,85m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,85m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,85m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$17,87tf/m^2$;
MÍN	$17,37tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$9,93tf/m^2$	K_o
MÍN	$6,39tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$19,06tf/m^2$;
MÍN	$17,69tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $17,87tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $6,39tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $19,06tf/m^2$;
- L'_t = $1,85m$;
- L'_p = $1,85m$;
- L'_f = $1,85m$;
- S_1 = $17,84$;
- S_2 = $19,22$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,92tfm/m;$
- $X2 = -3,26tfm/m.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 17,37tf/m^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 9,93tf/m^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 17,69tf/m^2;$
- $L't = 1,85m;$
- $L'p = 1,85m;$
- $L'f = 1,85m;$
- $S1 = 18,83;$
- $S2 = 19,66.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,10tfm/m;$
- $X2 = -3,31tfm/m.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 17,87tf/m^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 9,93tf/m^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 19,06tf/m^2;$

- $L't = 1,85\text{m};$
- $L'p = 1,85\text{m};$
- $L'f = 1,85\text{m};$
- $S1 = 19,26;$
- $S2 = 20,84.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,14\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,54\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -3,14\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,54\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 4,73\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 1,04\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 4,89\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 13,40\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 7,44\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 14,30\text{tf/m}.$

3.6.4 2715 - Obra 06 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 4987+1,54m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 55,06 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 5,70m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,60m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,80 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,70 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 8,07 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8070/(100 \times 25) = 3,22 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -1,80 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,10 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,73 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 4,74 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,10 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 2,86 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,87 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8870 / (100 \times 25) = 3,54 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2$
OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

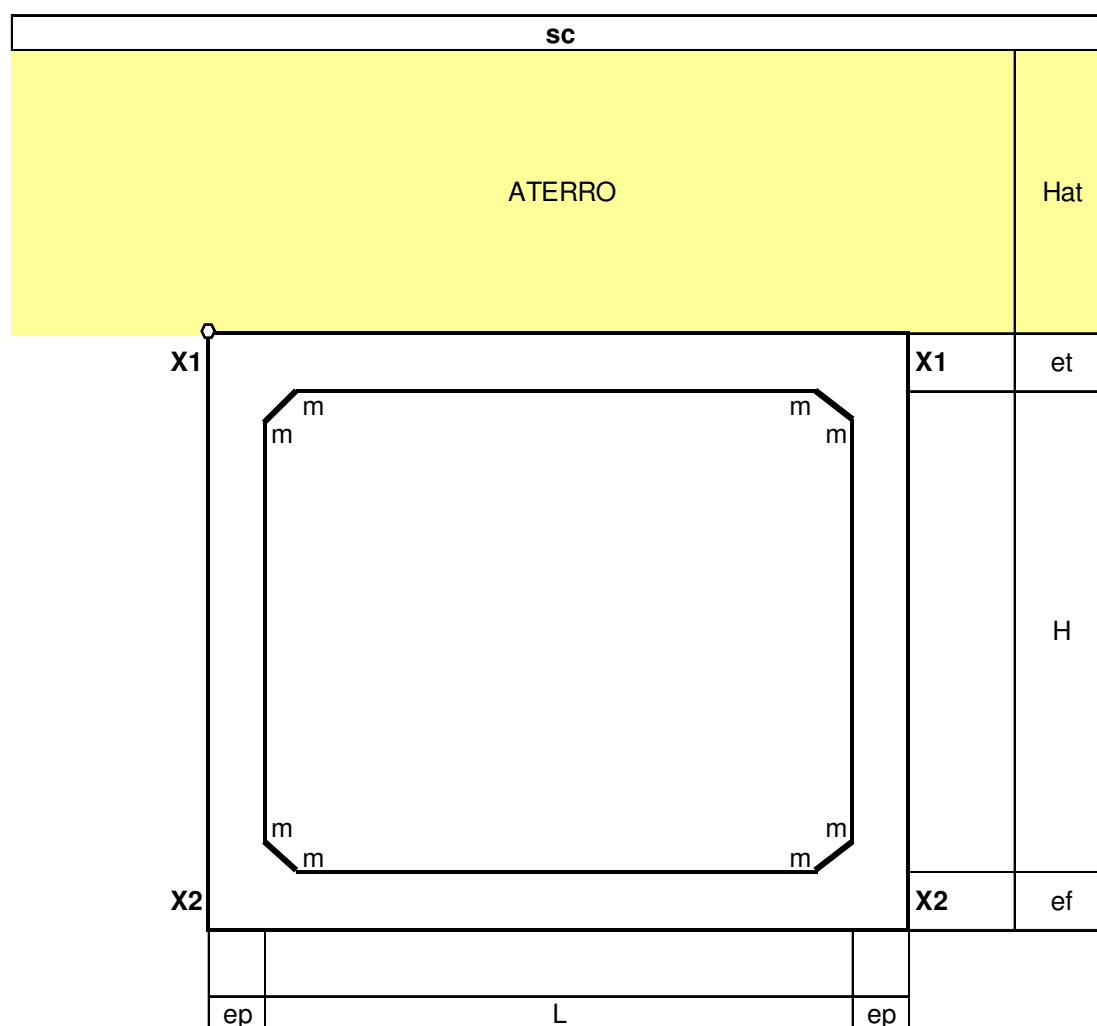
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 5,70 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ $L't$ = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$... $L'p$ = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ $L'f$ = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$10,76tf/m^2$;
MÍN	$10,26tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$6,33tf/m^2$	K_o
MÍN	$4,01tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$11,83tf/m^2$;
MÍN	$10,58tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I HIPÓTESE 1 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÍNIMA (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $10,76tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $4,01tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $11,83tf/m^2$;
- $L't$ = $1,80m$;
- $L'p$ = $1,80m$;
- $L'f$ = $1,80m$;
- S_1 = $10,23$;
- S_2 = $11,32$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,66\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,93\text{tfm/m}.$

IV.V.II HIPÓTESE 2 : PRESSÃO VERTICAL MÍNIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 10,26\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,33\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 10,58\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 10,70;$
- $S2 = 11,30.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,76\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,91\text{tfm/m}.$

IV.V.III HIPÓTESE 3 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 10,76\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,33\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 11,83\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 11,11;$
- $S2 = 12,32.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,80\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,10\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,80\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,10\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 2,70\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 0,73\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 2,86\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 8,07\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 4,74\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 8,87\text{tf/m}.$

3.6.5 2715 - Obra 07 (BSTC-1,20) - Est. 5019+12,95m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa};$

- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = 2,56 Mpa = 25,6 Kgf/cm²;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800$ Mpa = 238.000 Kgf/cm²;
- e = cobrimento da armadura = 3 cm;
- w = abertura de fissuras < 0,2 mm. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000$ kgf/cm²;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk}/(1,15 \times 1,40) = 3106$ Kgf/cm²;
- $E_s = 2.100.000$ Kgf/cm².

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = 1,20m;
- L = comprimento longitudinal = 1,00m;
- $L_{TOTAL} = 53,39$ m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = 1,80 tf/m³;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
 - k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
 - μ = coeficiente de atrito interno do solo;
 - μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala;
- ρ = razão de recalque = 0,50 (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 6,19m;
- D_e = diâmetro externo do tubo = 1,46m;
- b_v = largura da vala = 2,65m;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,31$ m.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 7,26m;
- $P_{vs} = 6,19 \times 1,80 = 11,14 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$
Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 4,43m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;

- Dimensões das rodas = ar x br = 0,20m x 0,40m;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 4,43 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 8,0 + 1,14 + 0,50 = 9,64 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 11,14 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25 a 0,40m)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão de vida à sobrecarga);
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,28m)

- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- $Pv = \text{Paredes } 2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50 = 1,76 \text{ tf}$;
- $2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50 = 1,51 \text{ tf}$;
- $2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50 = 1,30 \text{ tf}$;
- Viga superior $0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50 = 0,52 \text{ tf}$;
- $Pv = 5,09 \text{ tf}$;

- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2$;
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 4,2 \text{ cm}^2/\text{m}$.

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{smin} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{ssup} = 3\Phi 10$;
- $A_{sinf} = 3\Phi 10$;
- $A_{spele} = 2 \times 1\Phi 6.3$;
- $A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20$.

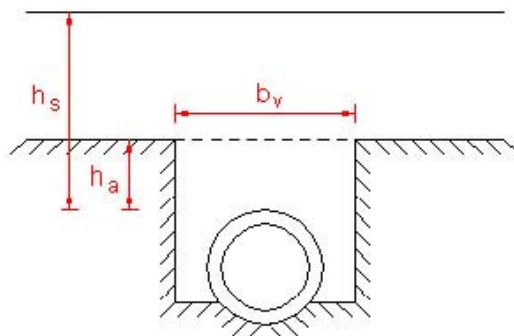
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa;
- Peso específico do solo = $18,00 \text{ kN/m}^3$;
- $k.u = 0,150$;
- Razão de recalque = $-0,4$;
- Altura de terra (h_s): 6,19;
- Largura da vala (b_v) = 2,65m;
- Altura (h_a) = 0,25 m;
- Aterro com boas condições de compactação: Não.



c) Dados da Sobrecarga

- Valor = 5,00 kN/m.

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.

- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 189,25 kN/m
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m;
 - Tubos Simples = não existe;
 - Classe do Tubo: PA4.

3.6.6 2715 - Obra 08 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5063+5,39m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- S_c = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = 2,40 tf/m³;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = 2,50 tf/m³;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 52,74 m.

b) Dados Da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção Sob O Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 5,90m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,15m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $a_r \times b_r = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;

- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m;$
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m.$

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM \text{ (Carga Móvel) } + pp;$
- $CM = \text{pressão produzida pela carga móvel} = q + Qvs;$
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv);$
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf};$
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2;$
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2;$
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2.$

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,79 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/m;$
- $M = 2,67 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/m;$
- $V = 8,00 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8000/(100 \times 25) = 4,48 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kg/cm² OK

Paredes Laterais:

- $Xs = -1,79 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/m;$
- $Xi = -2,09 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/m;$
- $M = 0,72 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/m;$
- $V = 4,71 \text{ tf/m} \rightarrow OK$

Laje Inferior:

- $X = -2,09 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/m;$

- $M = 2,84 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,81 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8810 / (100 \times 25) = 4,93 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

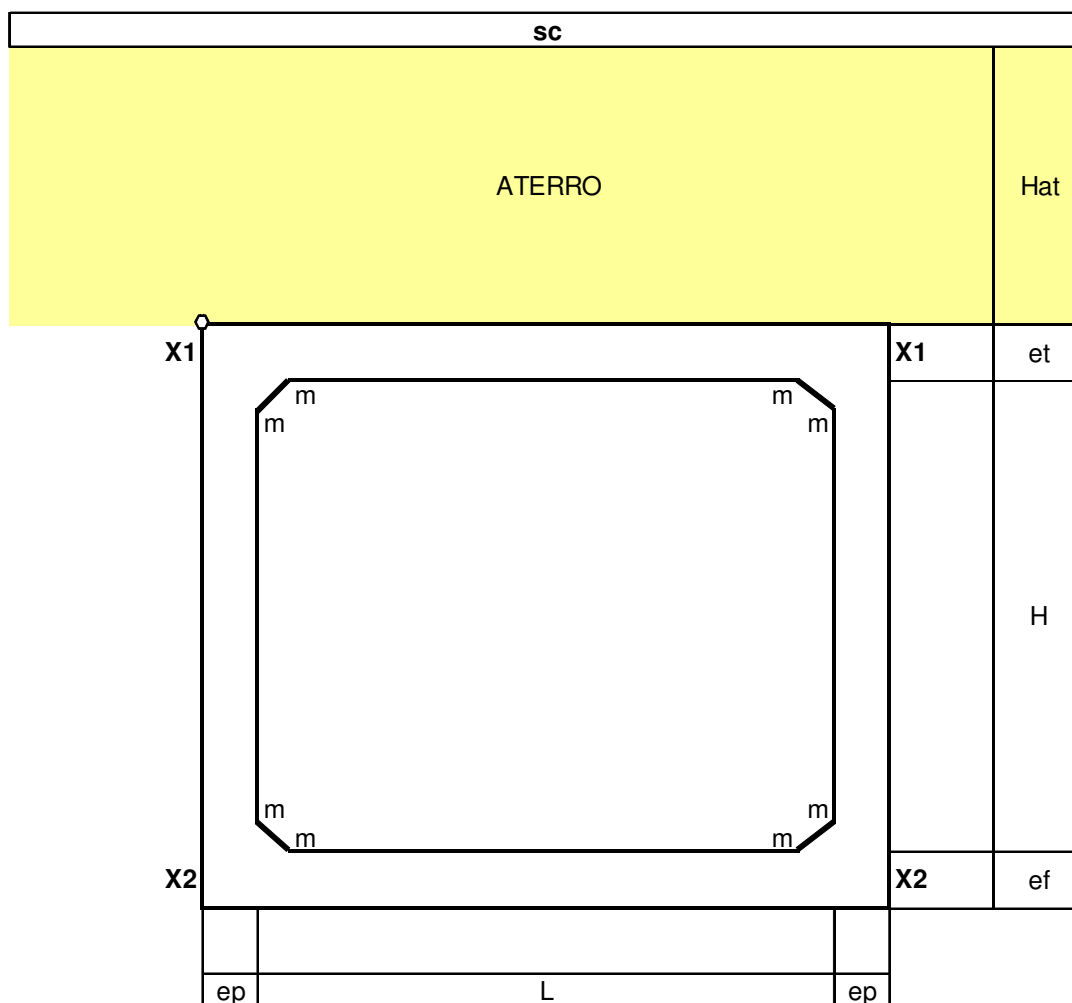
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - \text{ppf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	5,65	m
L = largura interna da galeria =	1,50	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,30	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,30	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,30	m
m = extensão da mísula =	0,10	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- qt = carga uniforme na tampa =

MÁX	$10,67tf/m^2$
MÍN	$10,17tf/m^2$
- qp = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$6,28tf/m^2$	K_o
MÍN	$3,98tf/m^2$	K_a
- qf = carga uniforme no fundo =

MÁX	$11,74tf/m^2$
MÍN	$10,49tf/m^2$

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- qt (MÁX) = $10,67tf/m^2$;
- qp (MÍN) = $3,98tf/m^2$;
- qf (MÁX) = $11,74tf/m^2$;
- L'_t = $1,80m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,80m$;
- S_1 = $10,15$;

- $S2 = 11,23$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -1,65 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -1,92 \text{ tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 10,17 \text{ tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,28 \text{ tf/m}^2$;
- $qf \text{ (MÍN)} = 10,49 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{ m}$;
- $L'p = 1,80 \text{ m}$;
- $L'f = 1,80 \text{ m}$;
- $S1 = 10,61$;
- $S2 = 11,21$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -1,74 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -1,89 \text{ tfm/m}$.

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 10,67 \text{ tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,28 \text{ tf/m}^2$;

- $q_f (\text{MÁX}) = 11,74 \text{ tf/m}^2$;
- $L't = 1,80 \text{ m}$;
- $L'p = 1,80 \text{ m}$;
- $L'f = 1,80 \text{ m}$;
- $S1 = 11,02$;
- $S2 = 12,22$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -1,79 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -2,09 \text{ tfm/m}$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,79 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -2,09 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{tampa}} = 2,67 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{parede}} = 0,72 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{fundo}} = 2,84 \text{ tfm/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 8,00 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 4,71 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 8,81 \text{ tf/m}$.

3.6.7 2715 - Obra 10 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5090+16,93m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2$;
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3$;
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3$;

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- $B_i = \text{largura interna} = 1,50\text{m}$;
- $L_i = \text{altura interna} = 1,50\text{m}$;
- $L = \text{comprimento longitudinal} = 68,91 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- $k_a = \text{coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine)} = 0,33$;
- $k_0 = \text{coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine)} = 0,50$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- $h_s = \text{altura de terra acima da laje superior do tubo} = 6,45\text{m}$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- $h_s = \text{aterro sobre a galeria} = 1,65\text{m}$;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- $Q = \text{peso total do veículo} = 30 \text{ tf}$;
- $q = \text{carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados} = 0,5 \text{ tf/m}^2$;

- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,02 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,03 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 9,08 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 9080/(100 \times 25) = 5,08 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,02 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,34 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,77 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 5,25 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,34 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 3,19 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 9,89 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 9890 / (100 \times 25) = 5,53 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

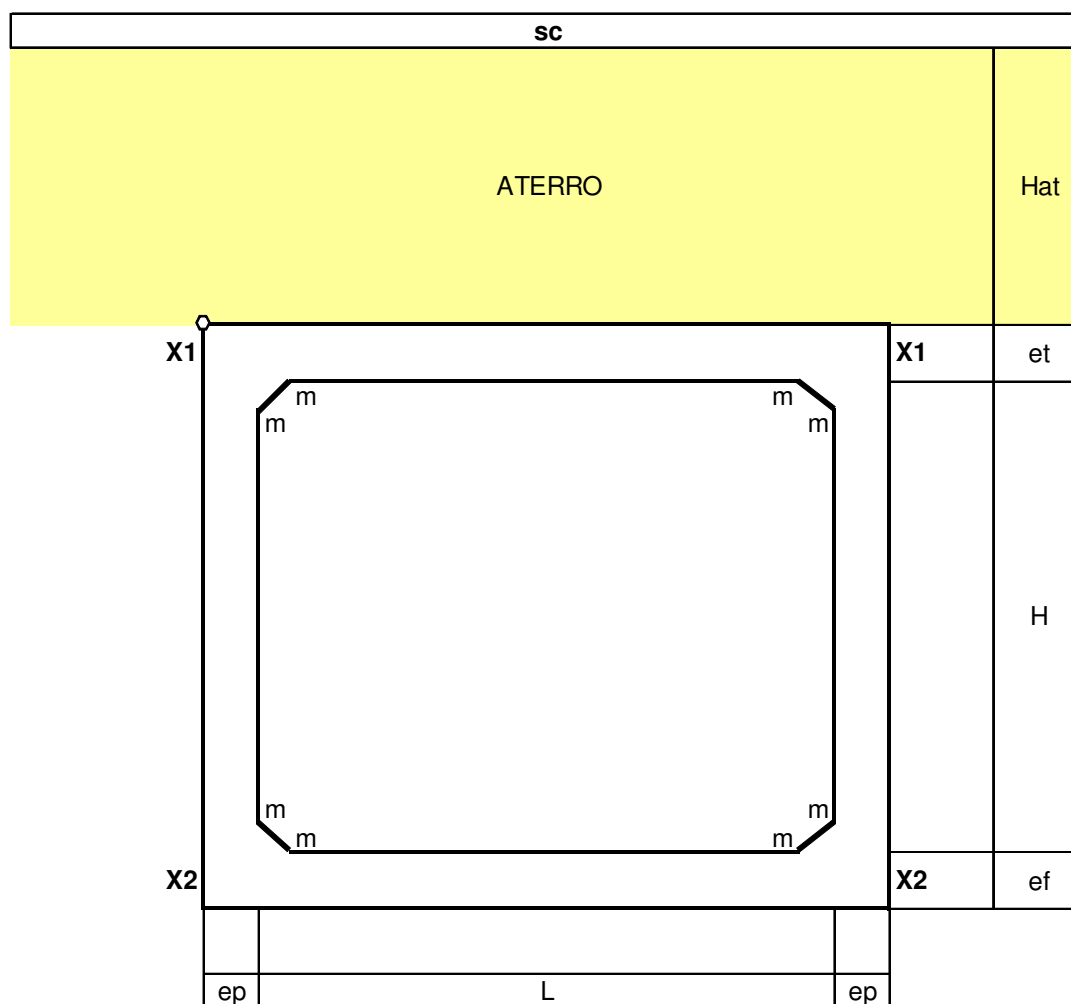
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 6,45 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$12,11tf/m^2$;
MÍN	$11,61tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$7,00tf/m^2$	K_o
MÍN	$4,46tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$13,18tf/m^2$;
MÍN	$11,93tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I HIPÓTESE 1 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÍNIMA (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $12,11tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $4,46tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $13,18tf/m^2$;
- L'_t = $1,80m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,80m$;
- S_1 = $11,50$;
- S_2 = $12,60$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,87tfm/m;$
- $X2 = -2,15tfm/m.$

IV.V.II HIPÓTESE 2 : PRESSÃO VERTICAL MÍNIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 11,61tf/m^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,00tf/m^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 11,93tf/m^2;$
- $L't = 1,80m;$
- $L'p = 1,80m;$
- $L'f = 1,80m;$
- $S1 = 12,05;$
- $S2 = 12,69.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,98tfm/m;$
- $X2 = -2,14tfm/m.$

IV.V.III HIPÓTESE 3 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 12,11tf/m^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,00tf/m^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 13,18tf/m^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 12,46;$
- $S2 = 13,70.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,02\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,34\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,02\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,34\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 3,03\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 0,77\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 3,19\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 9,08\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 5,25\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 9,89\text{tf/m}.$

3.7 SEGMENTO DE CANAL RESERVATÓRIO BAGRES / AQUEDUTO CAETITU - OBRAS DE DRENAGEM

3.7.1 2716 - Obra 01 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 5272+8,82m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$

- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 2,00m;
- L_i = altura interna = 2,00m;
- L = comprimento longitudinal = 56,55 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 5,75m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,70m;
- Carga Móvel: Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;

- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = $1,50\text{m}$;
- er = distância entre rodas = $2,00\text{m}$;
- Área de projeção do veículo = $3,00\text{m} \times 6,00\text{m}$;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a $1,00\text{m}$ ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços Para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -3,11 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 4,63 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;

- $V = 10,85 \text{ tf/m}$ → $\tau_{wd} = 1,4 \times 10850 / (100 \times 30) = 5,06 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kg/cm² OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -3,11 \text{ tfm/m}$ → $As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -3,71 \text{ tfm/m}$ → $As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,39 \text{ tfm/m}$ → $As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 6,64 \text{ tf/m}$ → OK

Laje Inferior:

- $X = -3,71 \text{ tfm/m}$ → $As_{mín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 4,98 \text{ tfm/m}$ → $As = 5,49 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 12,15 \text{ tf/m}$ → $\tau_{wd} = 1,4 \times 12150 / (100 \times 30) = 5,67 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kg/cm² OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow As_{mín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

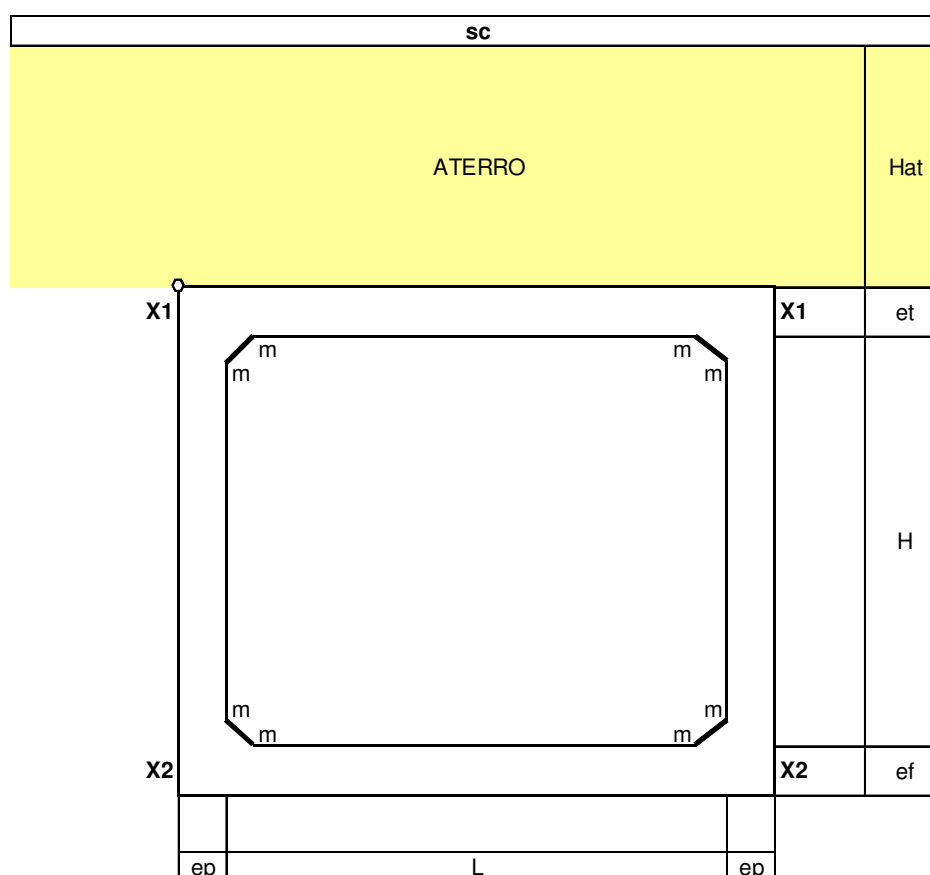
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m}$ → $As_{min} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0$ → $As_{min} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $As_{mín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow Assup = 3\Phi 12,5;$
 $As_{inf} = 3\Phi 12,5;$
 $As_{pele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $As_w = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.I CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 5,75 m

L = largura interna da galeria = 2,00 m

H = altura interna da galeria = 2,00 m

et = espessura da laje de tampa = 0,35 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,35 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,35 m

m = extensão da mísula = 0,20 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;

- K_a = coeficiente de empuxo ativo = 0,33;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = 0,50.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = 2,35m..... L'_t = comp. elástico da tampa = 2,35m;
- L_p = comprimento das paredes = 2,35m ... L'_p = comp. elástico das paredes = 2,35m;
- L_f = comprimento do fundo = 2,35m..... L'_f = comp. elástico do fundo = 2,35m.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	10,85tf/m ² ;
MÍN	10,35tf/m ² .
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	6,64tf/m ²	K_o
MÍN	4,22tf/m ²	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	12,15tf/m ² ;
MÍN	10,77tf/m ² .

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = 10,85tf/m²;
- q_p (MÍN) = 4,22tf/m²;
- q_f (MÁX) = 12,15tf/m²;
- L'_t = 2,35m;
- L'_p = 2,35m;
- L'_f = 2,35m;
- S_1 = 17,70;
- S_2 = 19,87.

b) Momentos nos Nós

- m_1 = 5,00;
- m_2 = 5,00;

- $m_1 \cdot m_2 - 1 = 24,00$;
- $X_1 = -2,86 \text{ tfm/m}$;
- $X_2 = -3,40 \text{ tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÍN}) = 10,35 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 6,64 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÍN}) = 10,77 \text{ tf/m}^2$;
- $L'_t = 2,35 \text{ m}$;
- $L'_p = 2,35 \text{ m}$;
- $L'_f = 2,35 \text{ m}$;
- $S_1 = 18,57$;
- $S_2 = 19,76$.

b) Momentos nos Nós

- $m_1 = 5,00$;
- $m_2 = 5,00$;
- $m_1 \cdot m_2 - 1 = 24,00$;
- $X_1 = -3,05 \text{ tfm/m}$;
- $X_2 = -3,34 \text{ tfm/m}$.

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $q_t (\text{MÁX}) = 10,85 \text{ tf/m}^2$;
- $q_p (\text{MÁX}) = 6,64 \text{ tf/m}^2$;
- $q_f (\text{MÁX}) = 12,15 \text{ tf/m}^2$;
- $L'_t = 2,35 \text{ m}$;
- $L'_p = 2,35 \text{ m}$;
- $L'_f = 2,35 \text{ m}$;

- $S1 = 19,26$;
- $S2 = 21,66$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -3,11 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -3,71 \text{ tfm/m}$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -3,11 \text{ tfm/m}$;
- $X2 = -3,71 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{tampa}} = 4,63 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{parede}} = 1,39 \text{ tfm/m}$;
- $M_{\text{fundo}} = 4,98 \text{ tfm/m}$;
- $V_{\text{tampa}} = 10,85 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{parede}} = 6,64 \text{ tf/m}$;
- $V_{\text{fundo}} = 12,15 \text{ tf/m}$.

3.7.2 2716 - Obra 02 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 5281+10,77m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- Sc = sobrecarga no terreno = $0,50 \text{ tf/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo natural = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 2,00m;
- L_i = altura interna = 2,00m;
- L = comprimento longitudinal = 52,97 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 5,65m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,70m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -3,06 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 4,55 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 10,67 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 10670/(100 \times 30) = 4,97 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -3,06 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -3,66 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,38 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 6,55 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -3,66 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 4,91 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 5,41 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 11,97 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11970 / (100 \times 30) = 5,58 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

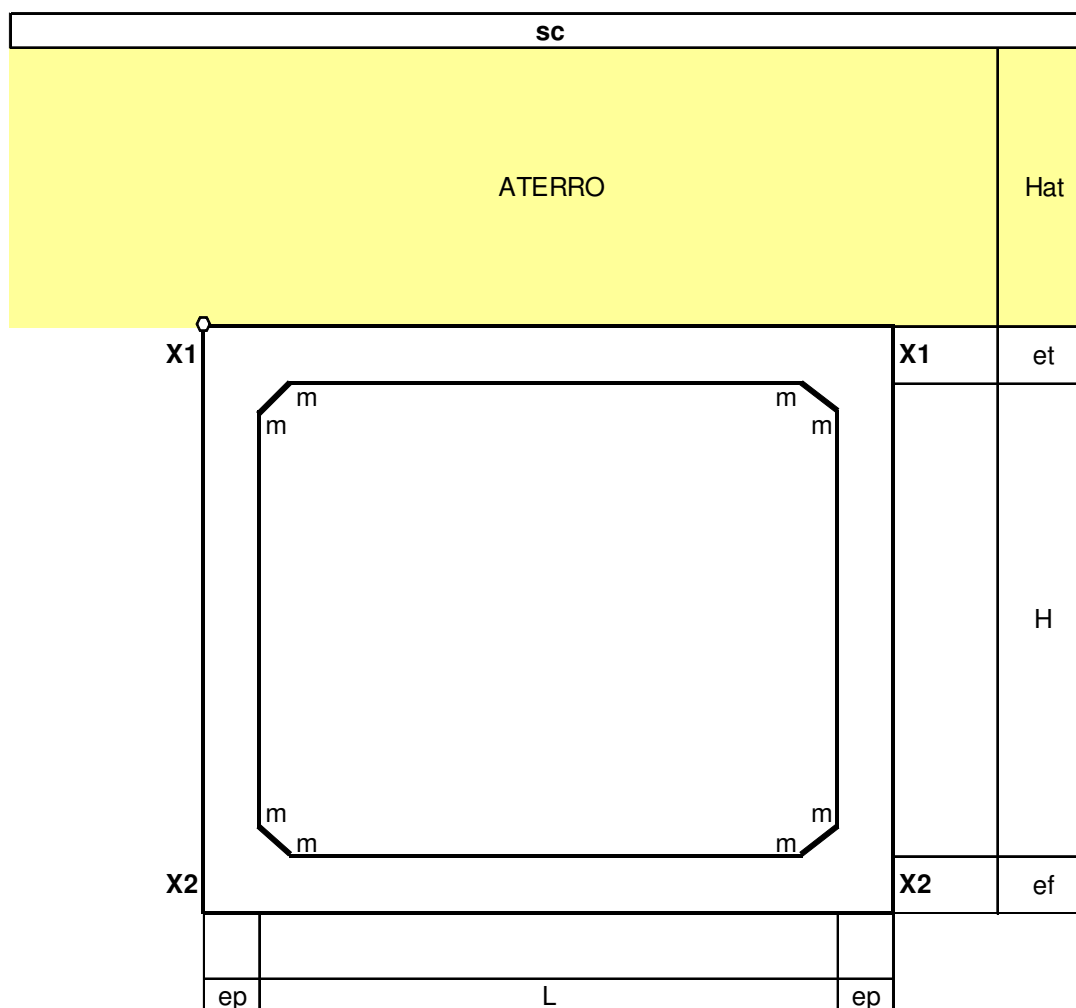
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 5,65 m

L = largura interna da galeria = 2,00 m

H = altura interna da galeria = 2,00 m

et = espessura da laje de tampa = 0,35 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,35 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,35 m

m = extensão da mísula = 0,20 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $2,35m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $2,35m$;
- L_p = comprimento das paredes = $2,35m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $2,35m$;
- L_f = comprimento do fundo = $2,35m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $2,35m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$10,67tf/m^2$;
MÍN	$10,17tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$6,55tf/m^2$	K_o
MÍN	$4,16tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$11,97tf/m^2$;
MÍN	$10,59tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $10,67tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $4,16tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $11,97tf/m^2$;
- L'_t = $2,35m$;
- L'_p = $2,35m$;
- L'_f = $2,35m$;
- S_1 = $17,41$;
- S_2 = $19,58$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,81\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,35\text{tfm/m}.$

IV.V.II5.2. Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima E Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 10,17\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,55\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 10,59\text{tf/m}^2;$
- $L't = 2,35\text{m};$
- $L'p = 2,35\text{m};$
- $L'f = 2,35\text{m};$
- $S1 = 18,27;$
- $S2 = 19,45.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,00\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,29\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 10,67\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,55\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 11,97\text{tf/m}^2;$

- $L't = 2,35\text{m};$
- $L'p = 2,35\text{m};$
- $L'f = 2,35\text{m};$
- $S1 = 18,96;$
- $S2 = 21,34.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,06\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,66\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -3,06\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,66\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 4,55\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 1,38\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 4,91\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 10,67\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 6,55\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 11,97\text{tf/m}.$

3.7.3 2716 - Obra 03 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5317+18,32m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 102,49m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 8,00m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,90m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,49 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,73 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 4,94 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 11,18 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11180/(100 \times 25) = 6,26 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,49 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,82 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,87 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 6,30 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,82 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 3,88 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 5,15 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 11,98 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11980 / (100 \times 25) = 6,71 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

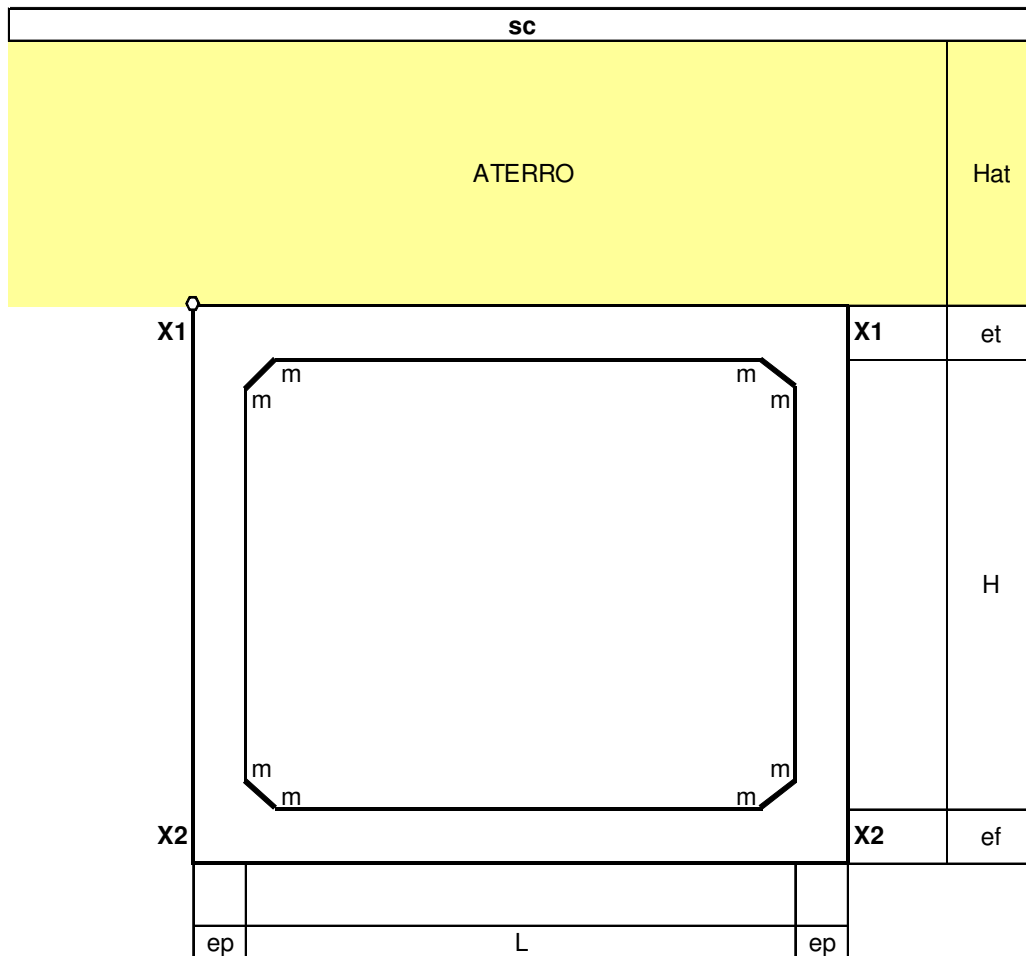
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 8,00 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5\text{t/m}^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8\text{t/m}^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5\text{t/m}^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80\text{m}$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80\text{m}$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80\text{m}$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80\text{m}$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80\text{m}$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80\text{m}$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$14,9\text{tf/m}^2$;
MÍN	$14,4\text{ tf/m}^2$;
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$8,40\text{tf/m}^2$	K_o
MÍN	$5,38\text{ tf/m}^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$15,97\text{tf/m}^2$;
MÍN	$14,72\text{tf/m}^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima E Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $14,90\text{tf/m}^2$;
- q_p (MÍN) = $5,38\text{tf/m}^2$;
- q_f (MÁX) = $15,97\text{tf/m}^2$;
- L'_t = $1,80\text{m}$;
- L'_p = $1,80\text{m}$;
- L'_f = $1,80\text{m}$;
- S_1 = $14,10$;
- S_2 = $15,26$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,30\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,59\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 14,40\text{tf/m}^2$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,40\text{tf/m}^2$
- $qf \text{ (MÍN)} = 14,72\text{tf/m}^2$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 14,84;$
- $S2 = 15,55.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,44\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,62\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 14,90\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,40\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 15,97\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 15,25;$
- $S2 = 16,56.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,49\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,82\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,49\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,82\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 3,73\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 0,87\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 3,88\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 11,18\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 6,30\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 11,98\text{tf/m}.$

3.7.4 2716 - Obra 04 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 5331+2,75m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 2,00m;
- L_i = altura interna = 2,00m;
- L = comprimento longitudinal = 65,39 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 7,65m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50$ tf/m².

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,70m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = 0,5 tf/m²;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -4,25 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 6,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 14,27 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 14270/(100 \times 35) = 5,70 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -4,25 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -4,96 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,68 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,40 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -4,96 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 6,74 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 6,37 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 15,70 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 15700 / (100 \times 35) = 6,28 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

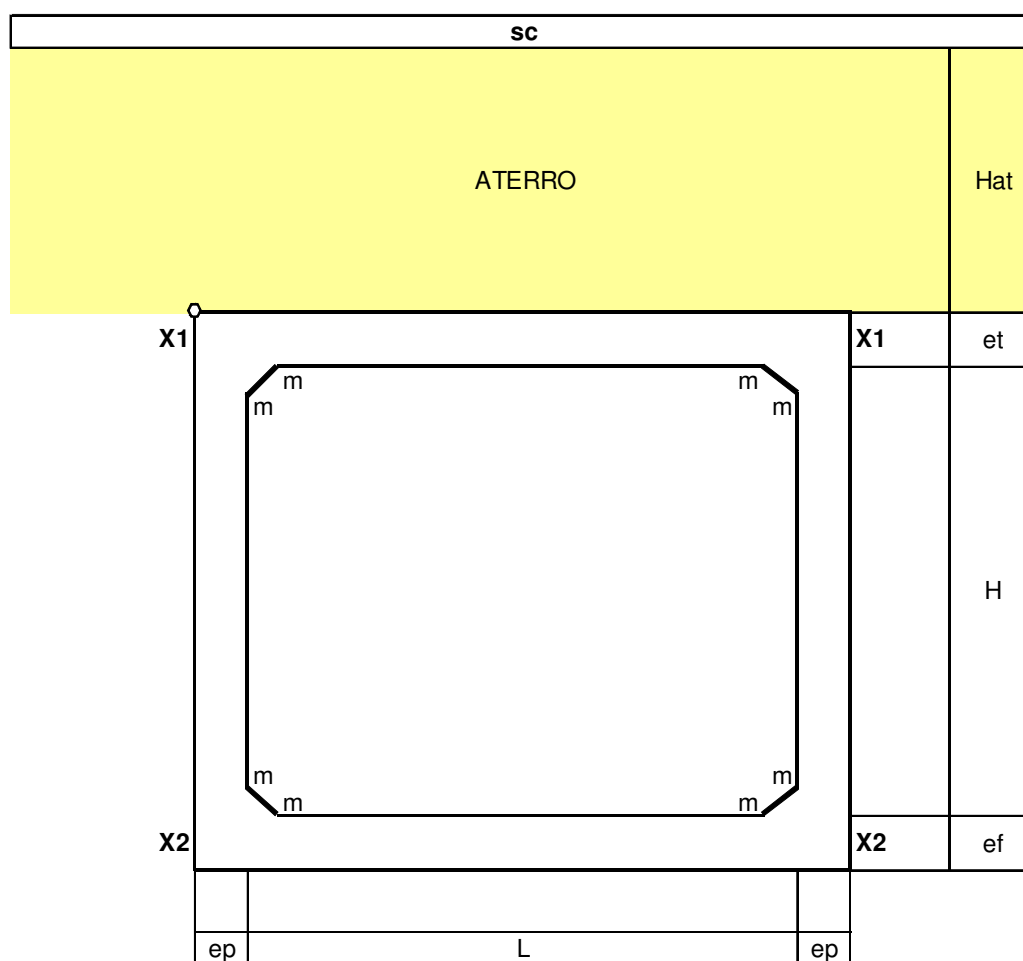
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20.}$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	7,65	m
L = largura interna da galeria =	2,00	m
H = altura interna da galeria =	2,00	m
et = espessura da laje de tampa =	0,40	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,40	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,40	m
m = extensão da mísula =	0,15	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $2,40m$ $L't$ = comp. elástico da tampa = $2,40m$;
- L_p = comprimento das paredes = $2,40m$... $L'p$ = comp. elástico das paredes = $2,40m$;
- L_f = comprimento do fundo = $2,40m$ $L'f$ = comp. elástico do fundo = $2,40m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$14,27tf/m^2$;
MÍN	$13,77tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$8,40tf/m^2$	K_o
MÍN	$5,38tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$15,70tf/m^2$;
MÍN	$14,20tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $14,27tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $5,38tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $15,70tf/m^2$;
- $L't$ = $2,40m$;
- $L'p$ = $2,40m$;
- $L'f$ = $2,40m$;
- S_1 = $24,17$;
- S_2 = $26,73$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,92\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,56\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 13,77\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,40\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 14,20\text{tf/m}^2;$
- $L't = 2,40\text{m};$
- $L'p = 2,40\text{m};$
- $L'f = 2,40\text{m};$
- $S1 = 25,48;$
- $S2 = 26,89.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -4,19\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,54\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 14,27\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,40\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 15,70\text{tf/m}^2;$

- $L't = 2,40\text{m};$
- $L'p = 2,40\text{m};$
- $L'f = 2,40\text{m};$
- $S1 = 26,20;$
- $S2 = 29,05.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -4,25\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,96\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -4,25\text{tfm/m};$
- $X2 = -4,96\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 6,35\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 1,68\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 6,74\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 14,27\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 8,40\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 15,70\text{tf/m}.$

3.7.5 2716 - Obra 05 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5368+10,94m - Lote 10

I. GENERALIDADES

$Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$

$\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$

$\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$

$\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 70,99 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 9,80m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,25m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -3,19 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 4,80 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 5,29 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 13,61 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 13610/(100 \times 30) = 6,35 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $Xs = -3,19 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;

- $X_i = -3,59 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,05 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 7,55 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -3,59 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 4,96 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 5,47 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 14,50 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 14500 / (100 \times 30) = 6,76 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

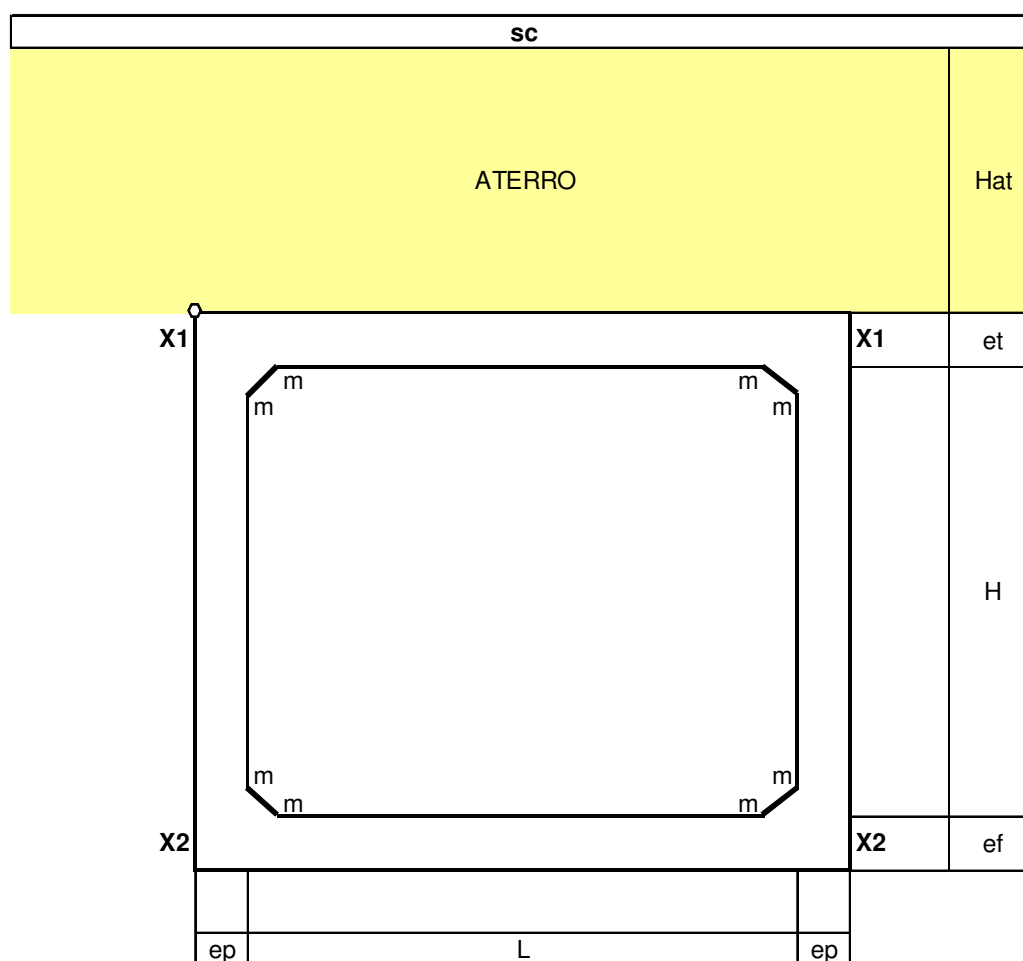
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 9,80 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,35 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,35 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,35 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,85m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,85m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,85m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,85m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,85m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,85m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$18,14tf/m^2$;
MÍN	$17,64tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$10,06tf/m^2$	K_o
MÍN	$6,47tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$19,33tf/m^2$;
MÍN	$17,96tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $18,14tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $6,47tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $19,33tf/m^2$;
- L'_t = $1,85m$;
- L'_p = $1,85m$;
- L'_f = $1,85m$;
- S_1 = $18,11$;
- S_2 = $19,50$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,96\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,31\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 17,64\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 10,06\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 17,96\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,85\text{m};$
- $L'p = 1,85\text{m};$
- $L'f = 1,85\text{m};$
- $S1 = 19,12;$
- $S2 = 19,96.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,15\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,36\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima E Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 18,14\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 10,06\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 19,33\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,85\text{m};$
- $L'p = 1,85\text{m};$
- $L'f = 1,85\text{m};$
- $S1 = 19,54;$
- $S2 = 21,13.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -3,19\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,59\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -3,19\text{tfm/m};$
- $X2 = -3,59\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 4,80\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 1,05\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 4,96\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 13,61\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 7,55\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 14,50\text{tf/m}.$

3.7.6 2716 - Obra 06 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 5390+14,14m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 2,00m;
- L_i = altura interna = 2,00m;
- L = comprimento longitudinal = 67,76 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 10,45m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,50m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -5,97 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 8,96 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 7,41 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 19,31 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 19310/(100 \times 40) = 6,75 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -5,97 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -6,82 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 2,09 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 10,96 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -6,82 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 9,37 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 7,76 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 20,86 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 20860 / (100 \times 40) = 7,30 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

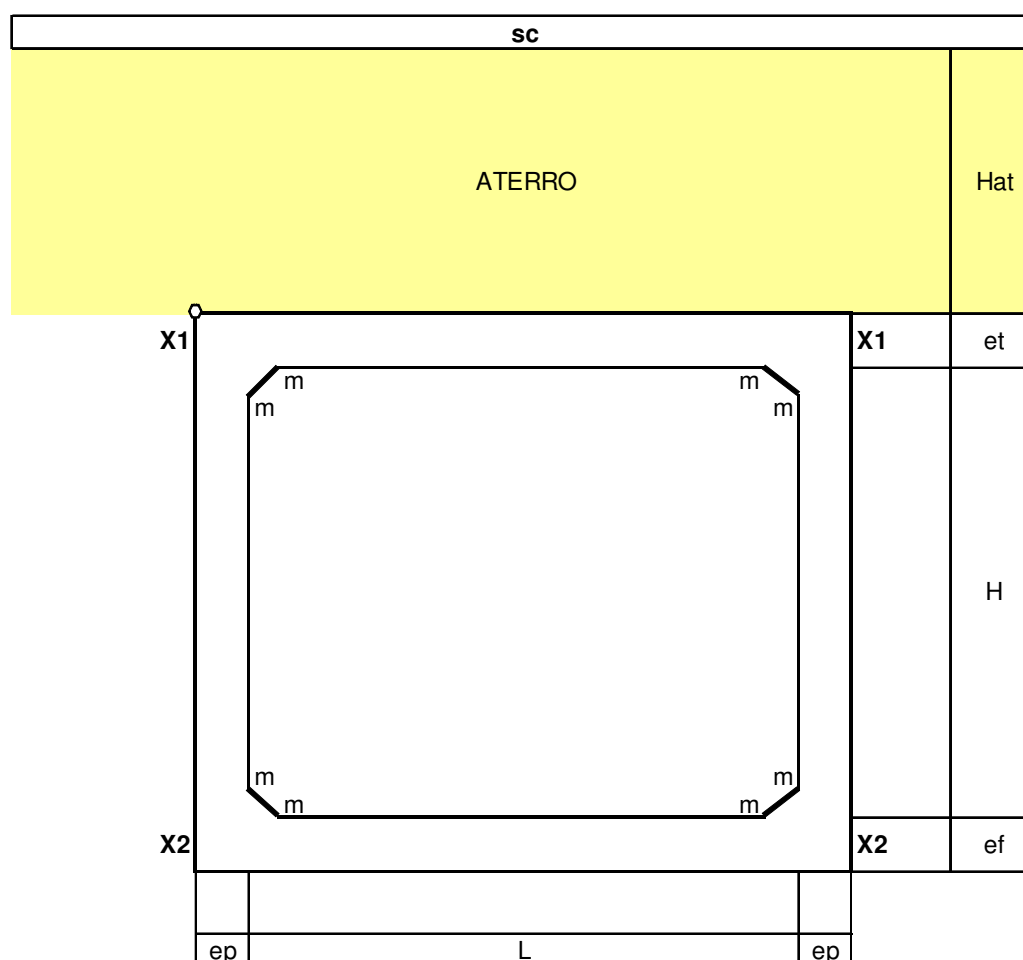
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 10,45 m

L = largura interna da galeria = 2,00 m

H = altura interna da galeria = 2,00 m

et = espessura da laje de tampa = 0,45 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,45 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,45 m

m = extensão da mísula = 0,15 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $2,45m$ $L't$ = comp. elástico da tampa = $2,45m$;
- L_p = comprimento das paredes = $2,45m$... $L'p$ = comp. elástico das paredes = $2,45m$;
- L_f = comprimento do fundo = $2,45m$ $L'f$ = comp. elástico do fundo = $2,45m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$19,31tf/m^2$;
MÍN	$18,81tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$10,96tf/m^2$	K_o
MÍN	$7,07tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$20,86tf/m^2$;
MÍN	$19,24tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $19,31tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $7,07tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $20,86tf/m^2$;
- $L't$ = $2,45m$;
- $L'p$ = $2,45m$;
- $L'f$ = $2,45m$;
- S_1 = $33,93$;
- S_2 = $36,96$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -5,53\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,29\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 18,81\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 10,96\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 19,24\text{tf/m}^2;$
- $L't = 2,45\text{m};$
- $L'p = 2,45\text{m};$
- $L'f = 2,45\text{m};$
- $S1 = 35,91;$
- $S2 = 37,64.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -5,91\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,35\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 19,31\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 10,96\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 20,86\text{tf/m}^2;$

- $L't = 2,45\text{m};$
- $L'p = 2,45\text{m};$
- $L'f = 2,45\text{m};$
- $S1 = 36,66;$
- $S2 = 40,08.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -5,97\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,82\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -5,97\text{tfm/m};$
- $X2 = -6,82\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 8,96\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 2,09\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 9,37\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 19,31\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 10,96\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 20,86\text{tf/m}.$

3.7.7 2716 - Obra 07 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5447+16,29m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 50,18 m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 5,55m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação.
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 2,95m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços Para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -1,76 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 2,63 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 7,87 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 7870/(100 \times 25) = 4,40 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -1,76 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,06 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,72 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 4,64 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,06 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 2,79 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,67 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 8670 / (100 \times 25) = 4,85 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kgf/cm}^2$
OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

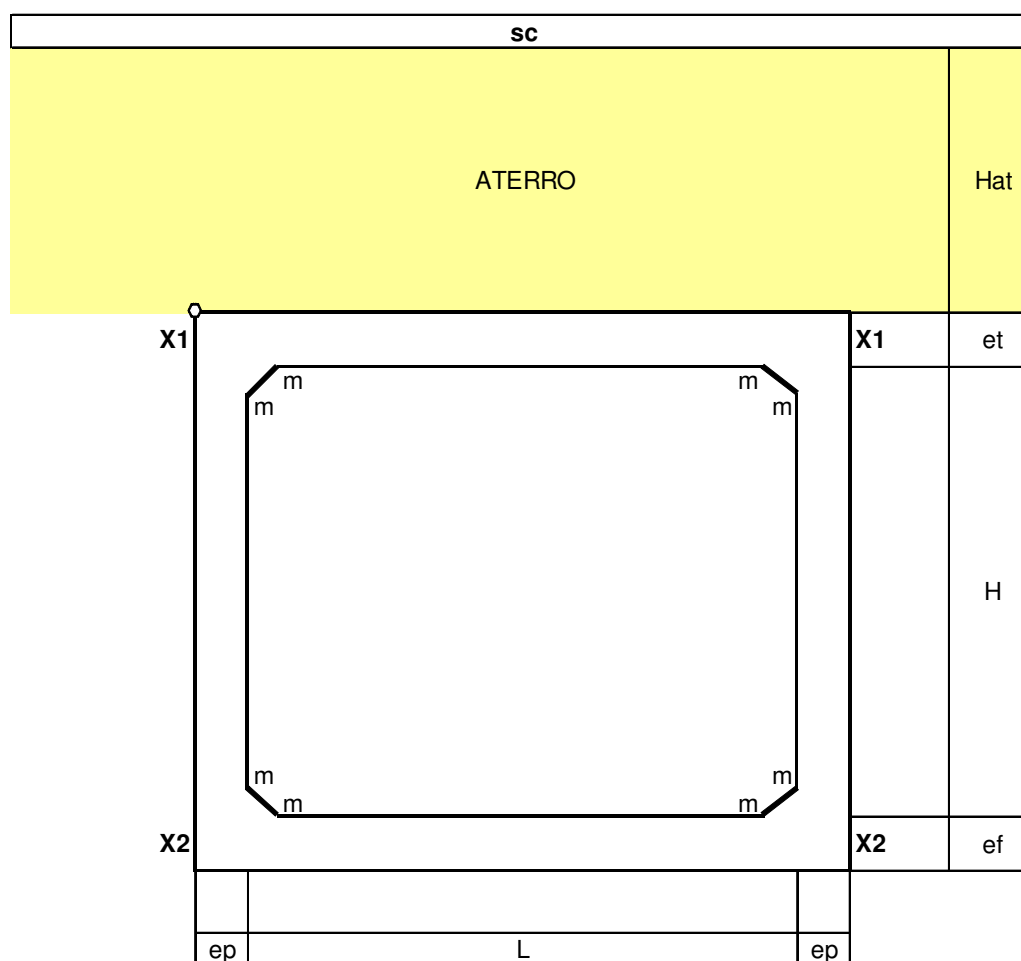
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20.}$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 5,55 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$10,49tf/m^2$;
MÍN	$9,99tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$6,19tf/m^2$	K_o
MÍN	$3,92tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$11,56tf/m^2$;
MÍN	$10,31tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $10,49tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $3,92tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $11,56tf/m^2$;
- L'_t = $1,80m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,80m$;
- S_1 = $9,98$;
- S_2 = $11,06$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,62\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,89\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 9,99\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,19\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 10,31\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 10,43;$
- $S2 = 11,03.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,71\text{tfm/m};$
- $X2 = -1,86\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 10,49\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 6,19\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 11,56\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 10,84;$
- $S2 = 12,04.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -1,76\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,06\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -1,76\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,06\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 2,63\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 0,72\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 2,79\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 7,87\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 4,64\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 8,67\text{tf/m}.$

3.7.8 2716 - Obra 08 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5485+17,46m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 60,65 m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 8,05m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação.
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,50m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,50 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,75 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 4,97 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 11,24 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11240/(100 \times 25) = 6,29 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,50 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,83 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,87 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 6,33 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,83 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 3,90 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 5,18 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 12,05 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11050 / (100 \times 25) = 6,18 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

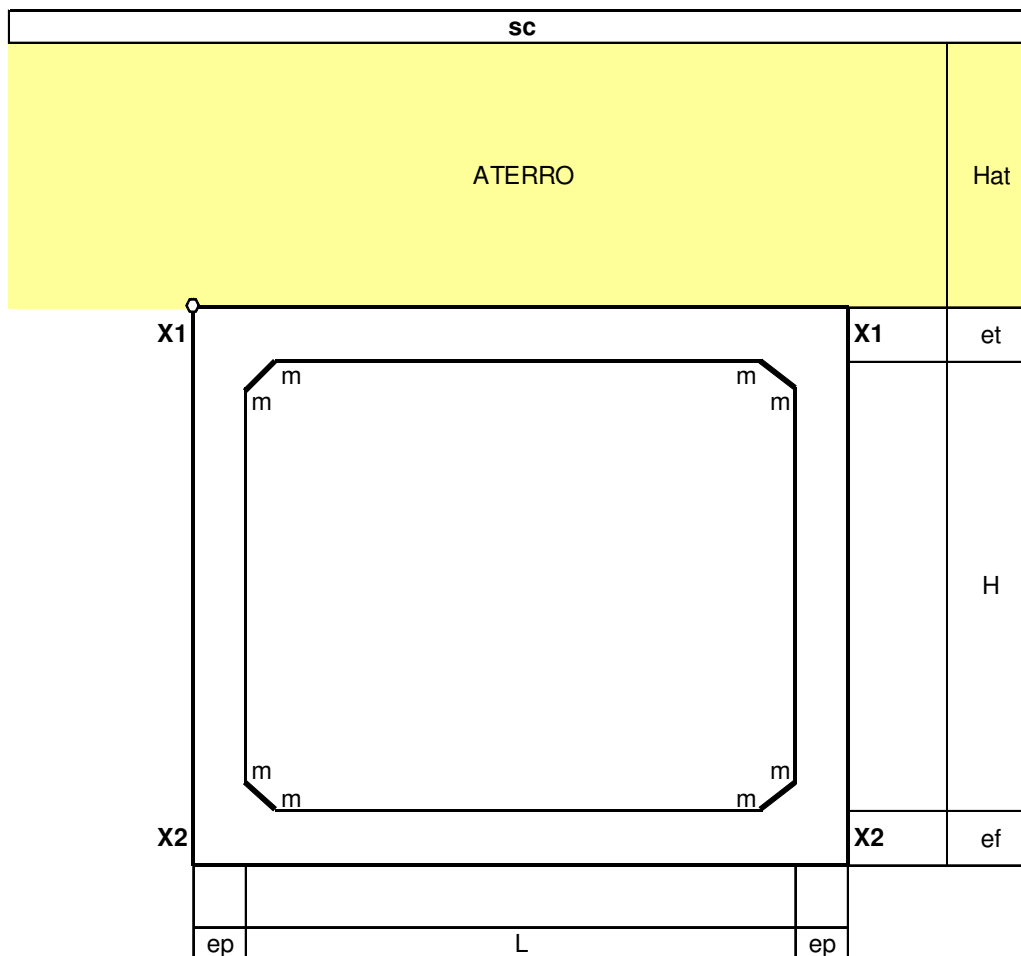
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 8,05 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ $L't$ = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$... $L'p$ = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ $L'f$ = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$14,99tf/m^2$;
MÍN	$14,49tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$8,44tf/m^2$	K_o
MÍN	$5,41tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$16,06tf/m^2$;
MÍN	$14,81tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima E Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $14,99tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $5,41tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $16,06tf/m^2$;
- $L't$ = $1,80m$;
- $L'p$ = $1,80m$;
- $L'f$ = $1,80m$;
- S_1 = $14,19$;
- S_2 = $15,34$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,32\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,61\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 14,49\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,44\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 14,81\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 14,93;$
- $S2 = 15,64.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,46\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,64\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 14,99\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,44\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 16,06\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 15,33647944;$
- $S2 = 16,65583714.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,50\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,83\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,50\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,83\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 3,75\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 0,87\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 3,90\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 11,24\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 6,33\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 12,05\text{tf/m}.$

3.7.9 2716 - Obra 09 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5511+1,18m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 55,87 m;

b) Dados Da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 7,25m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,25m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,26 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,39 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 10,16 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 10160/(100 \times 25) = 5,68 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,26 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,58 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,82 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 5,79 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,58 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$
- $M = 3,55 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 4,70 \text{ cm}^2/\text{m}$
- $V = 10,97 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 10970 / (100 \times 25) = 6,14 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

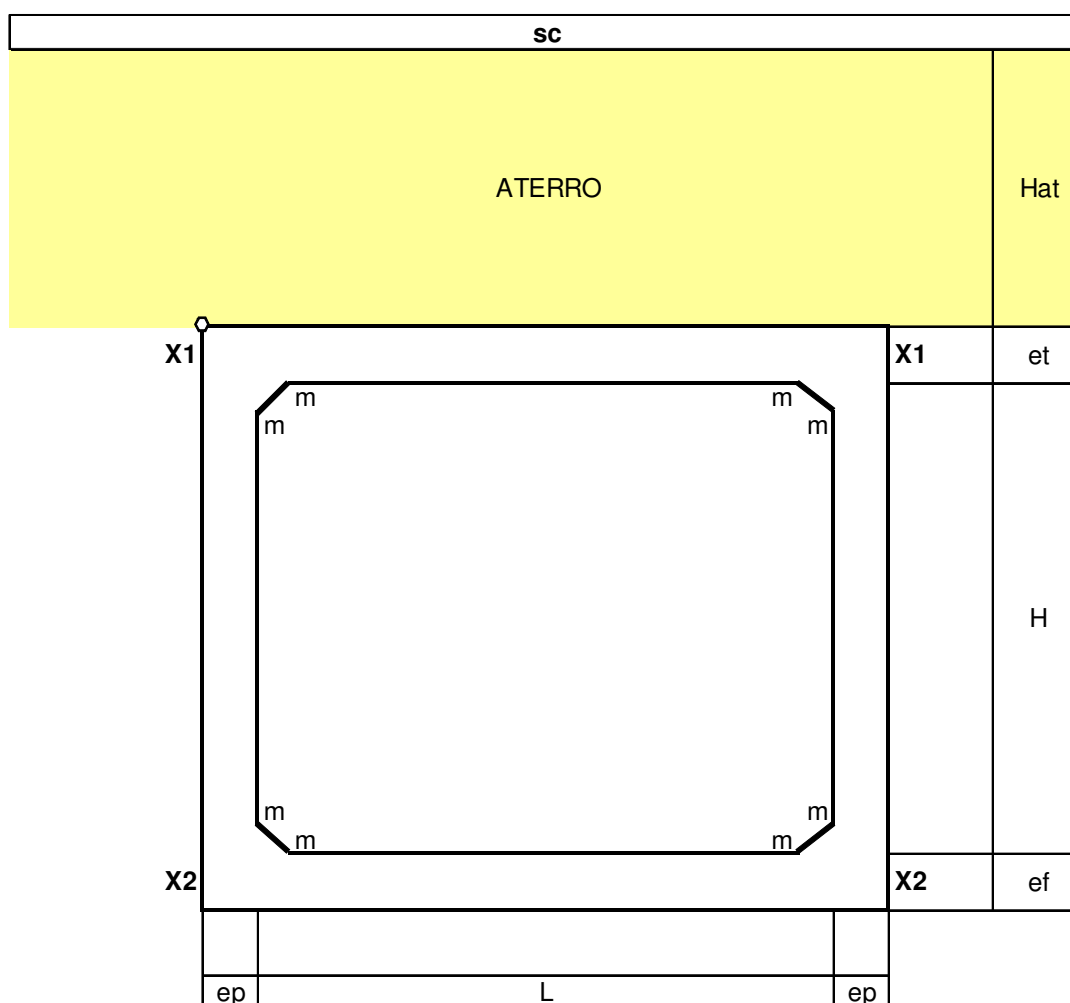
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. } 20.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 7,25 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ $L't$ = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$... $L'p$ = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ $L'f$ = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$13,55tf/m^2$;
MÍN	$13,05tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$7,72tf/m^2$	K_o
MÍN	$4,93tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$14,62tf/m^2$;
MÍN	$13,37tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I HIPÓTESE 1 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÍNIMA (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $13,55tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $4,93tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $14,62tf/m^2$;
- $L't$ = $1,80m$;
- $L'p$ = $1,80m$;
- $L'f$ = $1,80m$;
- S_1 = $12,84$;
- S_2 = $13,97$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,09\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,38\text{tfm/m}.$

IV.V.II HIPÓTESE 2 : PRESSÃO VERTICAL MÍNIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 13,05\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,72\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 13,37\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 13,49;$
- $S2 = 14,17;$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,22\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,39\text{tfm/m}.$

IV.V.III HIPÓTESE 3 : PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA E PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 13,55\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 7,72\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 14,62\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 13,90;$
- $S2 = 15,18.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,26\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,58\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,26\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,58\text{tfm/m};$
- $M_{tampa} = 3,39\text{tfm/m};$
- $M_{parede} = 0,82\text{tfm/m};$
- $M_{fundo} = 3,55\text{tfm/m};$
- $V_{tampa} = 10,16\text{tf/m};$
- $V_{parede} = 5,79\text{tf/m};$
- $V_{fundo} = 10,97\text{tf/m}.$

3.7.10 2716 - Obra 11 (BSCC-2,00 x 2,00) - Est. 5584+4,63m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 2,00m;
- L_i = altura interna = 2,00m;
- L = comprimento longitudinal = 60,35 m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 8,10m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese** : Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese** : Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese** : Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,50m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -4,67 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 7,00 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 15,08 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 15080/(100 \times 40) = 6,26 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -4,67 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -5,47 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,83 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 8,85 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -5,47 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 7,44 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 16,63 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 16630 / (100 \times 40) = 6,71 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

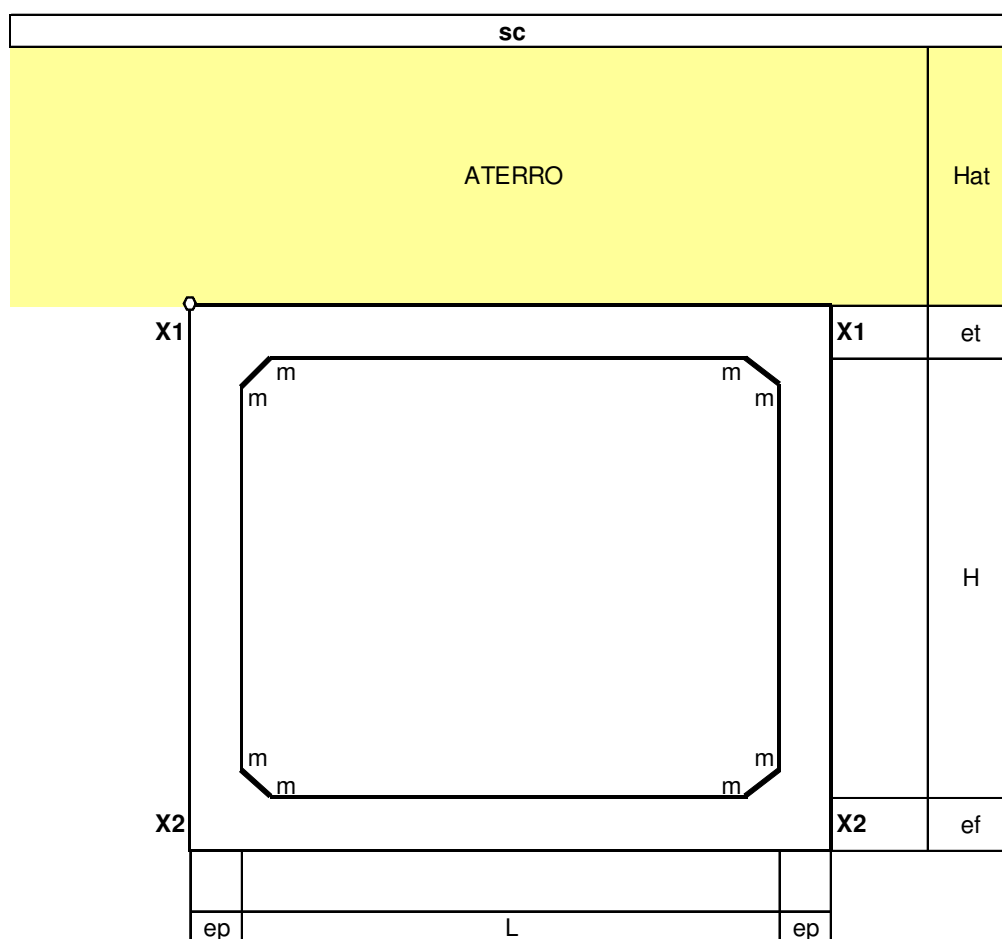
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 8,10 m

L = largura interna da galeria = 2,00 m

H = altura interna da galeria = 2,00 m

et = espessura da laje de tampa = 0,45 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,45 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,45 m

m = extensão da mísula = 0,15 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $2,45m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $2,45m$;
- L_p = comprimento das paredes = $2,45m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $2,45m$;
- L_f = comprimento do fundo = $2,45m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $2,45m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$15,08tf/m^2$;
MÍN	$14,58tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$8,85tf/m^2$	K_o
MÍN	$5,67tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$16,63tf/m^2$;
MÍN	$15,01tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $15,08tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $5,67tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $16,63tf/m^2$;
- L'_t = $2,45m$;
- L'_p = $2,45m$;
- L'_f = $2,45m$;
- S_1 = $26,61$;
- S_2 = $29,50$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -4,31\text{tfm/m};$
- $X2 = -5,04\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÍN)} = 14,58\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,85\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 15,01\text{tf/m}^2;$
- $L't = 2,45\text{m} \quad ;$
- $L'p = 2,45\text{m} \quad ;$
- $L'f = 2,45\text{m} \quad ;$
- $S1 = 28,08;$
- $S2 = 29,60.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -4,62\text{tfm/m};$
- $X2 = -5,00\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)

a) Termos de Carga

- $qt \text{ (MÁX)} = 15,08\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,85\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 16,63\text{tf/m}^2;$

- $L't = 2,45\text{m};$
- $L'p = 2,45\text{m};$
- $L'f = 2,45\text{m};$
- $S1 = 28,83;$
- $S2 = 32,04.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -4,67\text{tfm/m};$
- $X2 = -5,47\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -4,67\text{tfm/m};$
- $X2 = -5,47\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 7,00\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 1,83\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 7,44\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 15,08\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 8,85\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 16,63\text{tf/m}.$

3.7.11 2716 - Obra 12 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5676+9,81m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{ca} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,50 \text{ tf/m}^3;$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}.$

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 75,95 m;

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 8,15m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$.

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 0,75m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;

- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20m \times 0,40m$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,53 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 3,80 \text{ tfm/m} \rightarrow As = 5,04 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $V = 11,38 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 11380/(100 \times 25) = 6,37 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,53 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -2,86 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0,88 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 6,40 \text{ tf/m} \rightarrow \text{OK}$

Laje Inferior:

- $X = -2,86 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 3,94 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{As} = 5,23 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 12,18 \text{ tf/m} \rightarrow \tau_{wd} = 1,4 \times 12180 / (100 \times 25) = 6,82 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66 \text{ Kg/cm}^2 \text{ OK}$

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow \text{Asmín} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

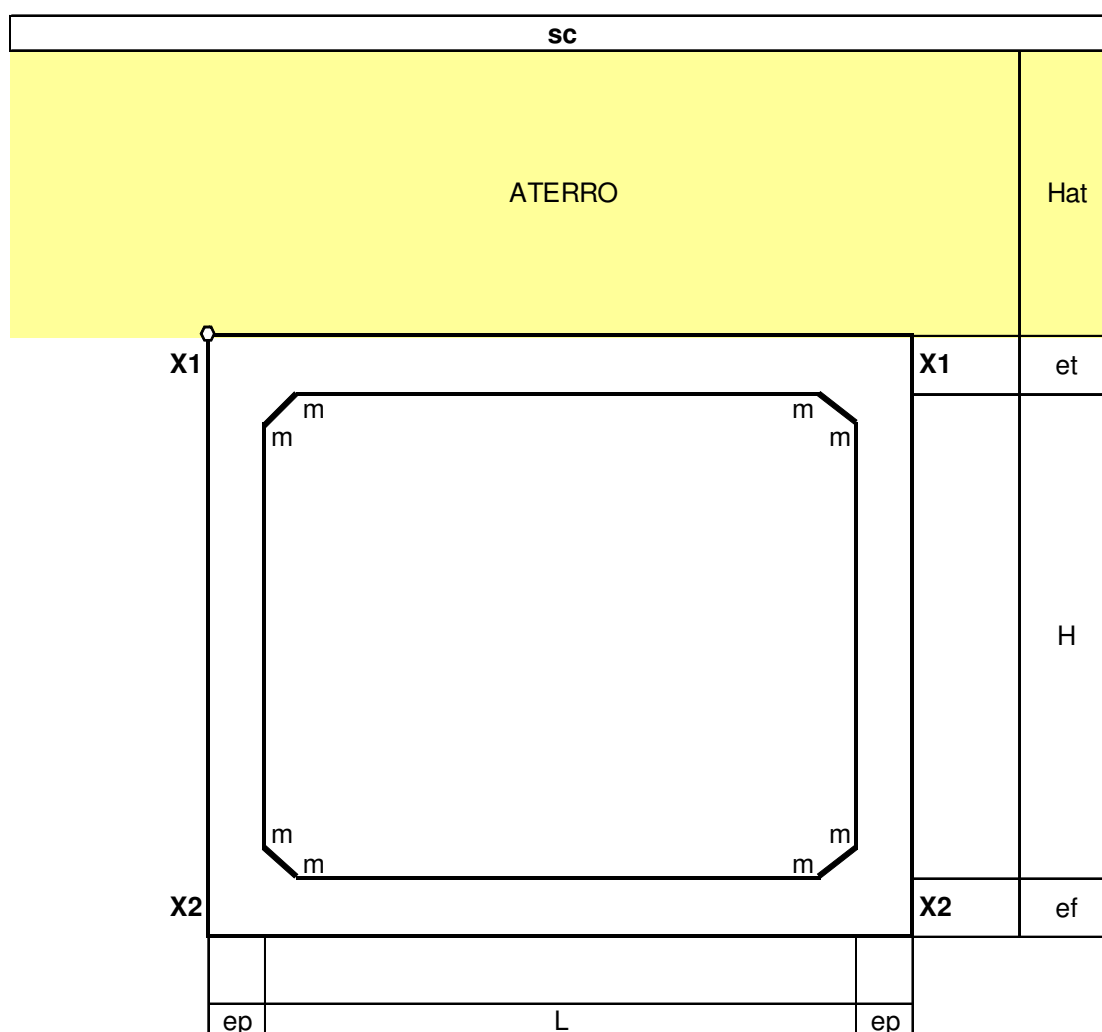
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m} \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0 \rightarrow \text{Asmin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $\text{Asmín} = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Assup} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Asinf} = 3\Phi 12,5;$
 $\text{Aspele} = 2 \times 4\Phi 6,3;$
 $\text{Asw} = \Phi 6,3 \text{ c. 20}.$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUI BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa = 8,15 m

L = largura interna da galeria = 1,50 m

H = altura interna da galeria = 1,50 m

et = espessura da laje de tampa = 0,30 m

ef = espessura da laje de fundo = 0,30 m

ep = espessura das paredes laterais = 0,30 m

m = extensão da mísula = 0,10 m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,80m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,80m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,80m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,80m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,80m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,80m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$15,17 \text{ tf/m}^2$
MÍN	$14,67 \text{ tf/m}^2$
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$8,53 \text{ tf/m}^2$	K_o
MÍN	$5,46 \text{ tf/m}^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$16,24 \text{ tf/m}^2$;
MÍN	$14,99 \text{ tf/m}^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $15,17 \text{ tf/m}^2$;
- q_p (MÍN) = $5,46 \text{ tf/m}^2$;
- q_f (MÁX) = $16,24 \text{ tf/m}^2$;
- L'_t = $1,80m$;
- L'_p = $1,80m$;
- L'_f = $1,80m$;
- S_1 = $14,36$;
- S_2 = $15,52$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,34\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,63\text{tfm/m}.$

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 14,67\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,53\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÍN)} = 14,99\text{tf/m}^2;$
- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 15,11;$
- $S2 = 15,83.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1*m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,49\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,67\text{tfm/m}.$

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 15,17\text{tf/m}^2;$
- $qp \text{ (MÁX)} = 8,53\text{tf/m}^2;$
- $qf \text{ (MÁX)} = 16,24\text{tf/m}^2;$

- $L't = 1,80\text{m};$
- $L'p = 1,80\text{m};$
- $L'f = 1,80\text{m};$
- $S1 = 15,52;$
- $S2 = 16,84.$

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00;$
- $m2 = 5,00;$
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00;$
- $X1 = -2,53\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,86\text{tfm/m}.$

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,53\text{tfm/m};$
- $X2 = -2,86\text{tfm/m};$
- $M_{\text{tampa}} = 3,80\text{tfm/m};$
- $M_{\text{parede}} = 0,88\text{tfm/m};$
- $M_{\text{fundo}} = 3,94\text{tfm/m};$
- $V_{\text{tampa}} = 11,38\text{tf/m};$
- $V_{\text{parede}} = 6,40\text{tf/m};$
- $V_{\text{fundo}} = 12,18\text{tf/m}.$

3.8 SEGMENTO DE CANAL AQUEDUTO CAETITU / RESERVATÓRIO COPITI – OBRAS DE DRENAGEM

3.8.1 2717 - Obra 01 (BSTC-1,20) - Est. 5774+7,05m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- $Sc = \text{sobrecarga no terreno} = 0,50 \text{ tf/m}^2;$
- $\gamma_s = \text{peso específico do solo natural} = 1,80 \text{ tf/m}^3;$
- $\gamma_{cs} = \text{peso específico do concreto simples} = 2,40 \text{ tf/m}^3;$

- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- f_{ck} = 25 MPa.
- $f_{tk} = 0,30 \times (f_{ck})^{2/3}$ em Mpa = 2,56 Mpa = $25,6 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_c = 0,85 \times 5600 \times \text{SQRT}(f_{ck}) = 23.800 \text{ Mpa} = 238.000 \text{ Kgf/cm}^2$;
- e = cobrimento da armadura = 5 cm;
- w = abertura de fissuras < 0,2 mm. ($n = 2$);
- Aço CA-50;
- $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$;
- $\eta_b = 1,5$;
- $\sigma_s = f_{yk} / (1,15 \times 1,40) = 3106 \text{ Kgf/cm}^2$;
- $E_s = 2.100.000 \text{ Kgf/cm}^2$.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS CIRCULARES (TIPO : PONTA E BOLSA)

a) Geometria

- D_i = diâmetro interno = 1,20m;
- L = comprimento longitudinal = 1,00m;
- $L_{TOTAL} = 91,15 \text{ m}$.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa;
- Tipo de terreno = solo saturado;
- Peso específico do solo saturado = $1,80 \text{ tf/m}^3$;
- $k_\mu = k_{\mu'} = 0,15$, onde:
- k = coeficiente de empuxo ativo do solo (coeficiente de Rankine);
- μ = coeficiente de atrito interno do solo;
- μ' = coeficiente de atrito do solo contra as paredes da vala;
- ρ = razão de recalque = 0,50 (Solo natural comum);
- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 7,82m;

- D_e = diâmetro externo do tubo = 1,20m;
- b_v = largura da vala = 2,65m;
- h_a = altura do tubo acima do fundo da vala = $0,90 \times D_e = 1,31\text{m}$.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da geratriz superior do tubo = 7,87m;
- $P_{vs} = 7,82 \times 1,80 = 14,08 \text{ tf/m}^2$;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação;
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$
Para assentamento dos tubos em vala considerar-se-á “BASES DE CONCRETO OU CLASSE A”, ou seja: São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} > 15 \text{ MPa}$ e cuja espessura sob o tubo, deve ser no mínimo $\frac{1}{4}$ do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente até $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo. O material de enchimento deve ser apiloado em camadas de espessura não superior a 15cm;
- Será considerado um aterro sem boas condições de compactação;
- O berço deve ser concretado sem juntas horizontais de construção;
- Para a especificação de classe será utilizado o programa “TUBOS” elaborado pela ABTC (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto) com patrocínio do IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), que resulta em tubo classe PA4.

Ver Item IV.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 6,14m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação.
- Q = peso total do veículo = 30 tf;
- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- h_{cl} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;
- longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- h_{ct} = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção;

- transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = 1,50m;
- er = distância entre rodas = 2,00m;
- Área de projeção do veículo = 3,00m x 6,00m;
- Dimensões das rodas = $ar \times br$ = 0,20m x 0,40m;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93m$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14m$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a 1,00m ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 6,14 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 11,05 + 1,14 + 0,50 = 12,69 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço ($Pvs = 14,08 \text{ tf/m}^2$).

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS ($e = 0,25$ a $0,40m$)

- $p1 = 0,33 \times 0,50 = 0,17 \text{ tf/m}^2$ (pressão devido à sobrecarga);
- $p2 = 0,17 + 0,60 \times (0,60 + 1,63)/2 = 0,84 \text{ tf/m}^2$;
- $X = 0,17 \times (1,12)^2/2 + (0,84 - 0,17) \times 1,12 \times 1,12/6 = 0,35 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/m$.

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO ($e = 0,28m$)

- SF = área da base da laje de fundação = $2,20 \times 2,30 = 5,06 \text{ m}^2$;
- Pv = Paredes $2 \times 0,60 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50 = 1,76 \text{ tf}$;

$$2 \times 1,03/2 \times 1,80 \times (0,25 + 0,40)/2 \times 2,50 = 1,51 \text{ tf};$$

$$2 \times 0,40 \times 0,40 \times 1,63 \times 2,50 = 1,30 \text{ tf};$$

$$\text{Viga superior} \quad 0,40 \times 0,43 \times 1,20 \times 2,50 = 0,52 \text{ tf}.$$

- $P_v = 5,09 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v/SF = 5,09/5,06 - 0,28 \times 2,50 = 0,31 \text{ tf/m}^2;$
- $M = 0,31 (1,20)^2/8 = 0,06 \text{ tfm/m} \rightarrow A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III “CUTOFF” (28/66)

- $A_{smín} = 2,77 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{sup} = 3\Phi 10;$

$$A_{sinf} = 3\Phi 10;$$

$$A_{spele} = 2 \times 2\Phi 6.3;$$

$$A_{sw} = \Phi 6.3 \text{ c. } 20.$$

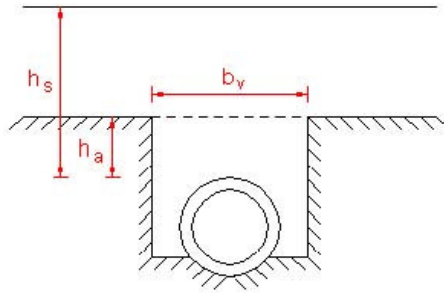
IV. ESPECIFICAÇÃO DA CLASSE DO TUBO

a) Dados da Geometria

- Diâmetro interno = 1200 mm;
- Finalidade: Águas pluviais;
- Comprimento longitudinal = 1,00 m;
- Tipo: Ponta e bolsa.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação: Aterro com projeção negativa
- Peso específico do solo = 18,00 kN/m³
- $k.u = 0,150$
- Razão de recalque = -0,4
- Altura de terra (h_s): 7,82 m;
- Largura da vala (b_v) = 2,65 m
- Altura (h_a) = 0,25 m
- Aterro com boas condições de compactação: Não



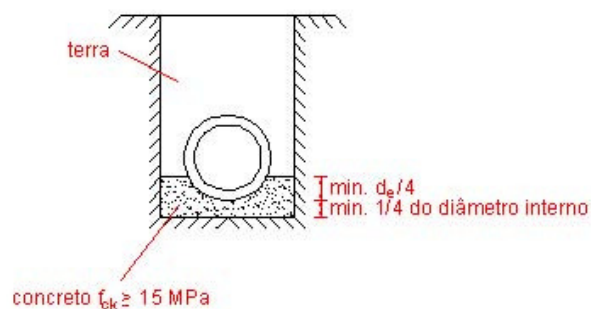
c) Dados da Sobrecarga

- Valor = 5,00 kN/m.

d) Dados da Base

- Tipo: Base de concreto (Classe A).

São aquelas em que a face inferior dos tubos é assente num berço de concreto, com resistência característica do concreto maior ou igual a 15 MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo 1/4 do diâmetro interno, e estendendo-se verticalmente, até 1/4 do diâmetro externo.



- Fator de equivalência = 2,0 $\gamma_f = 1,50$.

e) Resultados - Classe

- Resistência necessária (calculada) = 215,16 kN/m;
- Carga mínima de ruptura (conforme classe):
 - Tubos Armados = 216,00 kN/m
 - Tubos Simples = não existe
 - Classe do Tubo: PA4

3.8.2 2717 - Obra 02 (BSCC-1,50 x 1,50) - Est. 5798+11,02m - Lote 10

I. GENERALIDADES

- S_c = sobrecarga no terreno = 0,50 tf/m²;
- γ_s = peso específico do solo natural = 1,80 tf/m³;

- γ_{cs} = peso específico do concreto simples = $2,40 \text{ tf/m}^3$;
- γ_{ca} = peso específico do concreto armado = $2,50 \text{ tf/m}^3$;
- f_{ck} = 25 MPa.

II. PROJETO DA TUBULAÇÃO

II.I TUBOS RETANGULARES (ADUELAS)

a) Geometria

- B_i = largura interna = 1,50m;
- L_i = altura interna = 1,50m;
- L = comprimento longitudinal = 62,74 m.

b) Dados da Instalação

- Tipo de instalação = aterro com projeção negativa ou positiva;
- k_a = coeficiente de empuxo ativo do solo (Rankine) = 0,33;
- k_0 = coeficiente de empuxo em repouso do solo (Rankine) = 0,50.

c) Seção sob o Aterro Principal

- h_s = altura de terra acima da laje superior do tubo = 9,00m;
- Será considerado um aterro com boas condições de compactação.
- Não existindo carga de natureza rodoviária, adotar-se-á a sobrecarga $Sc = 0,50 \text{ tf/m}^2$

c.1) Cálculo dos Esforços Solicitantes (Ver Item IV)

Os esforços solicitantes serão calculados para as hipóteses a seguir:

- **1ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal mínima;
- **2ª Hipótese:** Pressão vertical mínima e pressão horizontal máxima;
- **3ª Hipótese:** Pressão vertical máxima e pressão horizontal máxima.

d) Seção sob o Aterro da Estrada de Serviço

- h_s = aterro sobre a galeria = 1,30m;
- Carga Móvel : Trem-tipo - CLASSE 30;
- Tráfego perpendicular ao eixo da tubulação;
- Q = peso total do veículo = 30 tf;

- q = carga uniformemente distribuída que considera outros veículos mais afastados = $0,5 \text{ tf/m}^2$;
- hcl = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção longitudinal da tubulação para as linhas de 3 rodas cada;
- hct = profundidade a partir da qual vai ocorrer uma superposição dos efeitos na direção transversal da tubulação para as rodas igualmente espaçadas;
- ee = distância entre eixos = $1,50\text{m}$;
- er = distância entre rodas = $2,00\text{m}$;
- Área de projeção do veículo = $3,00\text{m} \times 6,00\text{m}$;
- Dimensões das rodas = $ar \times br = 0,20\text{m} \times 0,40\text{m}$;
- $hcl = (ee - ar)/1,4 = (1,50 - 0,20)/1,4 = 0,93\text{m}$;
- $hct = (er - br)/1,4 = (2,00 - 0,40)/1,4 = 1,14\text{m}$.

Tendo em vista que estes valores estão próximos e que existe uma certa aproximação no ângulo de propagação das tensões, admitir-se-á, para fins práticos, que para hequiv maior ou igual a $1,00\text{m}$ ocorra a superposição das forças das rodas.

Pressões Verticais na Laje Superior:

- $Pvs = 2,00 \times 1,80 + CM$ (Carga Móvel) + pp ;
- CM = pressão produzida pela carga móvel = $q + Qvs$;
- $Qvs = Qred/(a + 1,4hequiv)(b + 1,4hequiv)$;
- $Qred = Q - a \times b \times q = 30 - 3 \times 6 \times 0,5 = 21 \text{ tf}$;
- $Qvs = 21/(3,00 + 1,4 \times 1,00)(6,00 + 1,4 \times 1,00) = 0,64 \text{ tf/m}^2$;
- $CM = 0,50 + 0,64 = 1,14 \text{ tf/m}^2$;
- $Pvs = 3,60 + 1,14 + 0,75 = 5,49 \text{ tf/m}^2$.

Como se pode observar, as tensões que governarão o dimensionamento serão as induzidas pelo aterro principal, por serem superiores às induzidas na seção da estrada de serviço.

e) Esforços para Dimensionamento

Laje Superior:

- $X = -2,94 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- $M = 4,42 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$;

- $V = 12,53 \text{ tf/m}$ → $\tau_{wd} = 1,4 \times 12530 / (100 \times 30) = 5,84 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kgf/cm² OK

Paredes Laterais:

- $X_s = -2,94 \text{ tfm/m}$ → $Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $X_i = -3,33 \text{ tfm/m}$ → $Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 1,00 \text{ tfm/m}$ → $Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 7,01 \text{ tf/m}$ → OK

Laje Inferior:

- $X = -3,33 \text{ tfm/m}$ → $Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 4,59 \text{ tfm/m}$ → $Asmín = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $V = 13,42 \text{ tf/m}$ → $\tau_{wd} = 1,4 \times 13420 / (100 \times 30) = 6,26 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{rd} = 7,66$
Kgf/cm² OK

III. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA

III.I PAREDES LATERAIS (e = 0,25m)

- $p_1 = 0,33 \times 0,50 = 0,16 \text{ tf/m}^2;$
- $p_2 = 0,16 + 0,60 \times 2,00/2 = 0,16 + 0,60 = 0,76 \text{ tf/m}^2;$
- $X = 0,16 \times (1,00)^2/2 + (0,76 - 0,16) \times (1,00)^2/6 = 0,08 + 0,10 = 0,18 \text{ tfm/m} \rightarrow Asmín = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.II LAJE DE FUNDAÇÃO (e = 0,25m)

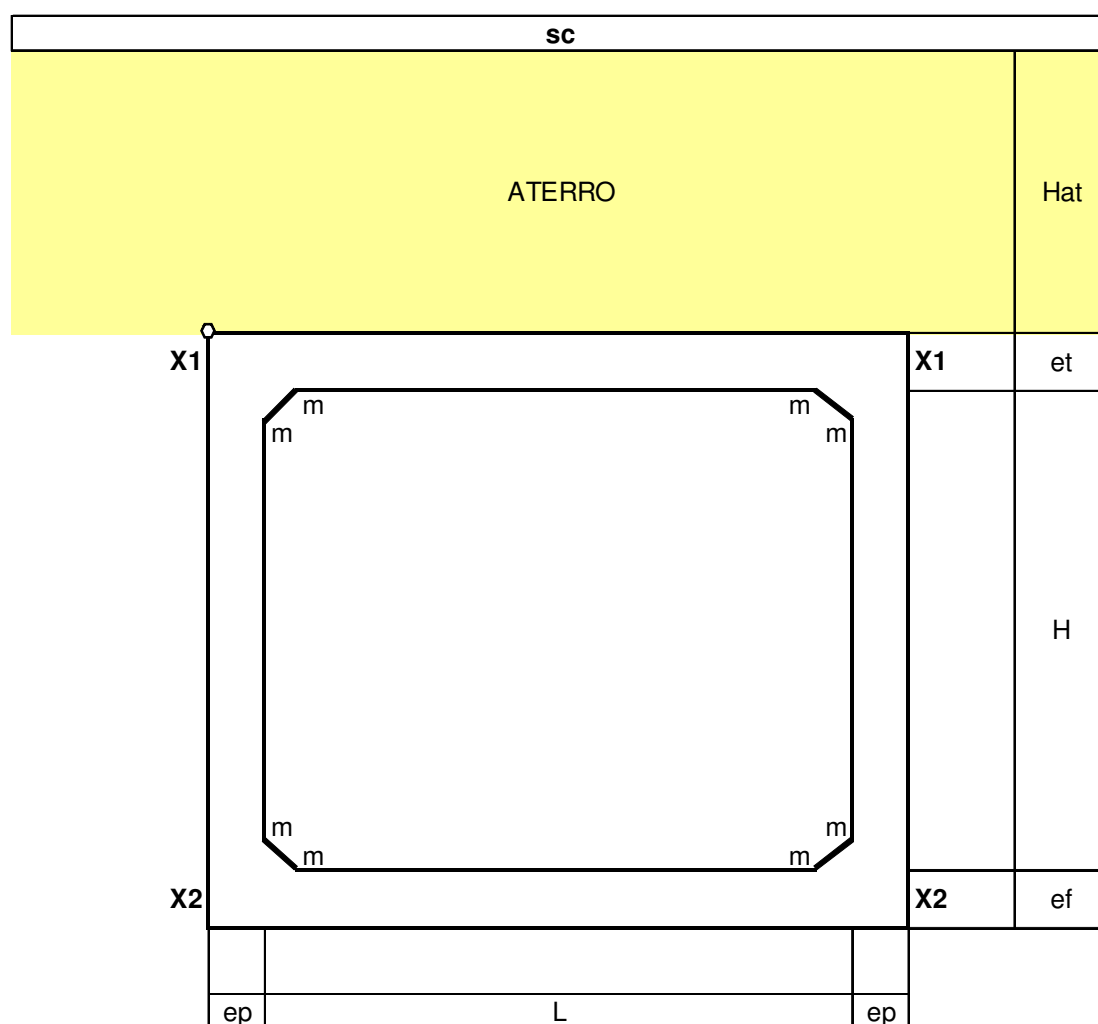
- $SF = \text{área da base da laje de fundação} = 3,20 \times (2,10 + 5,40)/2 = 12,00 \text{ m}^2;$
- $P_v = \text{Paredes} \quad 2 \times 4,30 \times 2,00/2 \times 0,25 \times 2,50 = 5,38 \text{ tf};$
- $q = \sigma_s = P_v(\text{paredes})/SF - p_{pf}(\text{laje}) = 5,38/12,00 - 0,25 \times 2,50 < 0;$
- $X = 0,18 = \text{tfm/m}$ → $Asmin = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m};$
- $M = 0$ → $Asmin = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}.$

III.III "CUTOFF" (25/80)

- $Asmín = 3,00 \text{ cm}^2 \rightarrow Assup = 3\Phi 12,5;$
 $Asinf = 3\Phi 12,5;$
 $Aspele = 2 \times 4\Phi 6.3;$
 $Asw = \Phi 6.3 \text{ c. 20.}$

IV. ESFORÇOS SOLICITANTES

IV.1 CROQUIS BÁSICO PARA ANÁLISE



Hat = altura do aterro sobre a tampa =	9,00	m
L = largura interna da galeria =	1,50	m
H = altura interna da galeria =	1,50	m
et = espessura da laje de tampa =	0,35	m
ef = espessura da laje de fundo =	0,35	m
ep = espessura das paredes laterais =	0,35	m
m = extensão da mísula =	0,10	m

IV.II DADOS GERAIS

- sc = sobrecarga no topo do aterro = $0,5t/m^2$;
- γ_s = peso específico do solo do aterro = $1,8t/m^3$;
- γ_c = peso específico do concreto armado = $2,5t/m^3$;
- K_a = coeficiente de empuxo ativo = $0,33$;
- K_o = coeficiente de empuxo em repouso = $0,50$.

IV.III COMPRIMENTOS ELÁSTICOS

- L_t = comprimento da tampa = $1,85m$ L'_t = comp. elástico da tampa = $1,85m$;
- L_p = comprimento das paredes = $1,85m$... L'_p = comp. elástico das paredes = $1,85m$;
- L_f = comprimento do fundo = $1,85m$ L'_f = comp. elástico do fundo = $1,85m$.

IV.IV CARREGAMENTOS

- q_t = carga uniforme na tampa =

MÁX	$16,7tf/m^2$;
MÍN	$16,2tf/m^2$.
- q_p = carga uniforme média nos lados =

MÁX	$9,34tf/m^2$	K_o
MÍN	$6,00tf/m^2$	K_a
- q_f = carga uniforme no fundo =

MÁX	$17,89tf/m^2$;
MÍN	$16,52tf/m^2$.

IV.V HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

IV.V.I Hipótese 1 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Mínima (K_a)

a) Termos de Carga

- q_t (MÁX) = $16,70tf/m^2$;
- q_p (MÍN) = $6,00tf/m^2$;
- q_f (MÁX) = $17,89tf/m^2$;
- L'_t = $1,85m$;
- L'_p = $1,85m$;
- L'_f = $1,85m$;
- S_1 = $16,69$;
- S_2 = $18,05$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -2,72 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -3,06 \text{tfm/m}$.

IV.V.II Hipótese 2 : Pressão Vertical Mínima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÍN)} = 16,20 \text{tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 9,34 \text{tf/m}^2$;
- $qf \text{ (MÍN)} = 16,52 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,85 \text{m}$;
- $L'p = 1,85 \text{m}$;
- $L'f = 1,85 \text{m}$;
- $S1 = 17,60$;
- $S2 = 18,40$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -2,90 \text{tfm/m}$;
- $X2 = -3,10 \text{tfm/m}$.

IV.V.III Hipótese 3 : Pressão Vertical Máxima e Pressão Horizontal Máxima (Ko)**a) Termos de Carga**

- $qt \text{ (MÁX)} = 16,70 \text{tf/m}^2$;
- $qp \text{ (MÁX)} = 9,34 \text{tf/m}^2$;
- $qf \text{ (MÁX)} = 17,89 \text{tf/m}^2$;
- $L't = 1,85 \text{m}$;

- $L'p = 1,85m$;
- $L'f = 1,85m$;
- $S1 = 18,02$;
- $S2 = 19,57$.

b) Momentos nos Nós

- $m1 = 5,00$;
- $m2 = 5,00$;
- $m1 \cdot m2 - 1 = 24,00$;
- $X1 = -2,94tfm/m$;
- $X2 = -3,33tfm/m$.

IV.VI ESFORÇOS PARA DIMENSIONAMENTO

- $X1 = -2,94tfm/m$;
- $X2 = -3,33tfm/m$;
- $M_{tampa} = 4,42tfm/m$;
- $M_{parede} = 1,00tfm/m$;
- $M_{fundo} = 4,59tfm/m$;
- $V_{tampa} = 12,53tf/m$;
- $V_{parede} = 7,01tf/m$;
- $V_{fundo} = 13,42tf/m$.