ANEXO X

ARMCO STACO S.A. Indústria. Metalúrgica	**MEMÓRIA DE CÁLCULO**	Nº 1
	CLIENTE: **DAE - Departamento de Águas e Esgoto de Jundiaí**	FOLHA
	EMPREENDIMENTO: TRAVESSIA SOB RODOVIA	
TÍTULO: **TUNNEL LINER ∅ 2,00m – Espessura de chapa 2,70 mm. ALTURA DE ATERRO mín=1,50m e máx= 7,70m**		

ÍNDICE DE REVISÕES	
REVISÃO	**DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS**
0	Emissão Preliminar

	REV. 0	REV. 1	REV. 2	REV. 3	REV. 4	REV. 5	REV. 6	REV. 7
DATA	25-04-18							
EXECUÇÃO	CBAHIA							
VERIFICAÇÃO	LAMP							
APROVAÇÃO								

1.0 – OBJETIVO

Esta memória de cálculo tem por objetivo apresentar o dimensionamento estrutural de túnel com diâmetro 2,00m, submetido a trem tipo Rodoviário-H20 e aterro mín=1,50m e máx=7,70m.

2.0 – NORMAS E ESPECIFICAÇÕES ADOTADAS:

2.1 - Da AASHTO – American Association of State Highway ant Transportation Officials, Seção 16 do Standart Specifications for Highway Bridges.

3.0 - MATERIAL A SER USADO:

Chapas de aço corrugadas espessuras de 2,70 mm:

Ligações principais: parafusos, porcas e arruelas: ASTM A-307 e ASTM A449.

4.0 - DIMENSIONAMENTO .

4.0 1 ***Dimensionamento.***

O procedimento deste cálculo tem como base o Handbook of Steel Drainage e Highway Construction Products, paginas 378 à 397, publicado pela American Iron Steel Institute - 5' Edição - 1994 e seção 15 do Standard Specification for Highway Bridges, publicado pela American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO, 17' Edição - 2002.

CRITÉRIOS PARA O DIMENSIONAMENTO:

PRODUTO : **TUNNEL LINER CIRCULAR**
DIÂMETRO: **2,00 m**
ESPESSURA DE CHAPA : **2,70 mm**
PROF. DO ATERRO ADOTADO: **mín=1,50m máx= 7,70m**
ANGULO DE ATRITO DO SOLO = **0º graus**
PESO ESPECIFICO DO SOLO(pelotas) = **1.922 kg/m^3**
TREM TIPO : **H-20 Rodoviário**

Nomenclaturas adotadas:

- fu = Limite de escoamento do aço = adotado 2.320 kg/cm^2 ;
- Fb = Pressão na chapa (kg/cm^2);
- Fc = Pressão máxima com fator de segurança (kg/cm^2);
- K = Fator que depende do angulo de atrito interno do solo = 0,22 ($\varnothing > 17^0$) ou 0,42 ($\varnothing < 17^0$);
- $\varnothing$ = Angulo de Atrito Interno do solo (^{0}) ;
- D = Diâmetro do tubo (cm);
- Dc = Diâmetro critico (cm);
- r = raio de giração da chapa = (cm) (TABELA I);
- E = módulo de elasticidade do aço = 2.110.000 kg/cm^2 **;**
- A = Área da seção da chapa de aço (cm^2/m) (TABELA I)**;**
- An = Área necessária da seção da chapa de aço (cm^2/m)**;**
- FSc = Fator segurança na costura = 3**;**
- CF = Coeficiente de flexibilidade para condições normais de instalação = 0,112 **;**
- Rc= Resistência da costura (Kg/m) (TABELA II)**;**
- γ = Peso especifico do solo= 1.922 kg/m^3;

16.2.4 In the absence of adequate borings and soil tests, the full overburden height should be the basis for P_d in the tunnel liner plate design.

The following is one form of Marston's formula:

$$P_d = C_d W D \qquad (16\text{-}2)$$

where

C_d = coefficient for tunnel liner, Figure 16.2.3A;
W = total (moist) unit weight of soil;
D = horizontal diameter or span of the tunnel;
H = height of soil over the top of the tunnel.

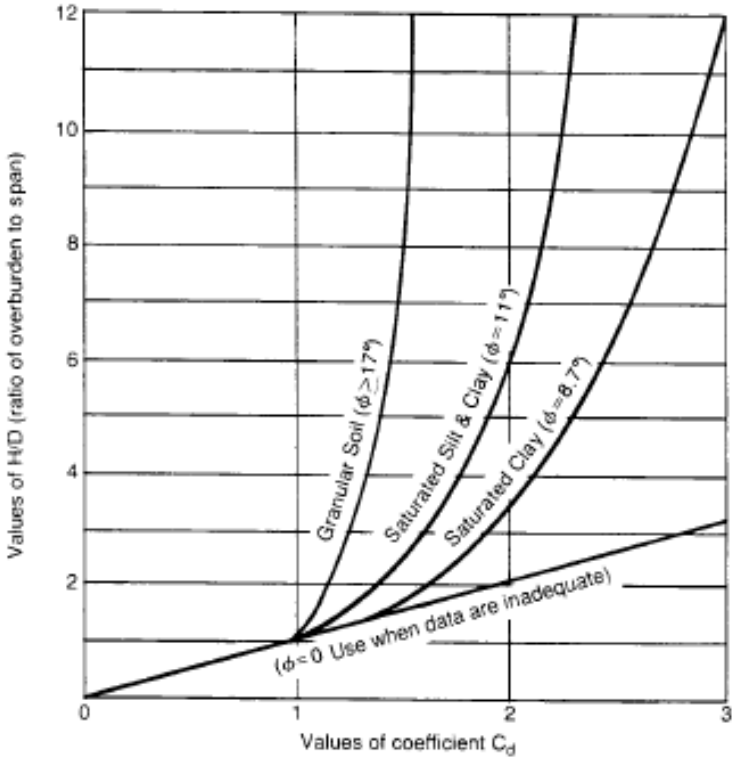

Figure 16.2.3A Diagram for Coefficient C_d for Tunnels in Soil (ϕ = Friction Angle)

4.1.1 *Cálculo da Carga Morta(CM).*

$Pd = Cd \times \gamma \times D$

$H/D_{mín}$= 1,50/ 2,00 = 0,75 , em função do ângulo de atrito gráfico Marston adotamos Cd = 1,00
$H/D_{máx}$= 7,70/ 2,00 = 3,85 , em função do ângulo de atrito gráfico Marston adotamos Cd = 3,85

$Pd_{mín}$ = 1,00x 1.922 x 2,00 = 3.844,00 Kg/m^2
$Pd_{máx}$= 3,85 x 1.922 x 2,00 = 14.799,40 Kg/m^2

Onde: D - vão ou diâmetro (m)
gama - peso específico do solo (kg/m^3)
Cd - coef. de Marston

4.1.2 *Cálculo da Carga Viva (CV) (Kg/m^2)*

$CV_{mín}$= 1.269,00 Kg/m^2 **(TABELA III)**
$CV_{máx}$ = 0 Kg/m^2 **(TABELA III)**

4.1.3 *Cálculo de pressão de projeto (Pp)*

Pp = Pd + CV

$Pp_{mín}$ = 3.844,00 + 1.269,00 = 5.113,00 Kg/m
$Pp_{máx}$ = 14.799,40 + 0 = 14.799,40 Kg/m

4.1.4 *Cálculo do esforço de Compressão (C) (kg/m)*

C = Pp x D / 2

$C_{mín}$ = 5.113,00 x 2,00 /2 = 5.113,00 Kg/m
$C_{máx}$ = 14.799,40 x 2,00 /2 = 14.799,40 Kg/m

Onde:
D = diâmetro ou vão (m)
C = esforço de compressão (kg/m)

Pp = pressão de projeto (kg/m)

4.1.5 *Calculo do Esforço Admissível na Chapa (Fc)*

Para $D < r / K \times (24 \times E / fu)^{0,5}$

Temos:
$Fb = fu - (fu^2 / 48 E) \times (K \times D / r)^2$

Para $D > r / K \times (24 \times E / fu)^{0,5}$

Temos:

$Fb = 12 \times E / (K \times D / r)^2$
Diâmetro cm = 200 < 523,81

Fb = 2,150,89 kg/cm^2

Fc = Fb / 2 ➔ Fc = 1075,45 kg/cm^2
Onde Fc =< Fy/2 = 1160 kg/cm^2, ou seja, o esforço na chapa não devera ultrapassar com segurança igual a 2, o limite de escoamento do aço.

4.1.6 *Espessura necessária da Chapa*

An(cm^2/m) = C (kg/m)/ Fc (kg/cm^2)

$An_{mín}$ = 5.113,00 / 1075,45 = 4,75 cm^2/m
$An_{máx}$ = 14.799,40 / 1075,45 = 13,76 cm^2/m

Onde: An = área necessária da parede.

Em função de An, escolhe-se a espessura que tenha uma A > An **TABELA I**

$An_{mín}$ = 4,75 < 32,14 (14,69/ 0,457) cm^2/m > **VERIFICAÇÃO OK**
$An_{máx}$ = 13,76 < 32,14 (14,69/ 0,457) cm^2/m > **VERIFICAÇÃO OK**

4.1.7 *Verificação de flexibilidade (CF)*

Fator de Flexibilidade (CF) = $(L)^2$ / EI

onde L(cm) = L(m) x 100

E= módulo de elasticidade do aço = 2,11 x $(10)^6$ kg/cm^2
I= momento de inércia em (cm^4/cm) = I(cm^4/m) x 0,01

CF max = 0,112

CF = 0,02424

CF = 0,02424 < 0,112 **VERIFICAÇÃO OK**

4.1.8 *Verificação das costuras*

Fator de Segurança na Costura = RES. ULT. NA COSTURA / C
ONDE RES. ULT. na costura é obtida por meio da tabela II
O fator de segurança na costura deve ser > 3.

$F_{mín}$ = 44.630 / 5.113,00 = 8,73 $\geq$ 3 **VERIFICAÇÃO OK**

$F_{máx}$ = 44.630 / 14.799,40 = 3,02 $\geq$ 3 **VERIFICAÇÃO OK**

TABELA I

TABELA DE PROPRIEDADES FISICAS DAS CHAPAS DE TUNNEL LINER (Ago06)
PARA SEÇOES DE 0.457M

Espessura Nominal (negra) (mm)	Área (cm^2)	Momento de Inércia (cm4)	Módulo de Seção (cm^3)	Raio de Giração (cm)
2.00 (1.80)	10,57	25,45	9,45	1,55
2.20 (2.00)	11,74	28,29	10,50	1,55
2.70 (2.50)	14,69	35,74	13,15	1,56
3.40 (3.20)	18,78	45,32	16,47	1,55
3.90 (3.75)	22,01	53,29	19,16	1,56
4.70 (4.50)	26,39	64,08	22,74	1,56
6.50 (6.35)	36,90	90,63	31,30	1,57

TABELA II

RESISTENCIA MAXIMA DAS COSTURAS

ESPESSURA (mm)	REST. MAX (kg/m)
2,0	28.110
2,2	31.234
2,7	44.630
3,4	65.241
3,9	76.656
4,7	92.230
6,5	143.163

TABELA III

CARGA VIVA

TREM TIPO RODOVIÁRIO H 20

H (m)	1,20	1,50	1,80	7,70
P1 ($kgxm^2$)	1.830	1.269	927	0