



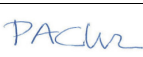




0	07/05/10	E	Para Construção
REVISÃO Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES
Tipo de Emissão	A. Preliminar	D. Para Cotação	G. Conforme Construído
	B. Para Aprovação	E. Para Construção	H. Cancelado
	C. Para Conhecimento	F. Conforme Comprado	J. De Trabalho
			
PROJETO:	REG 	MSTC 	DATA: 07/05/10
PROJETISTA:	-		DATA: 07/05/10
VERIFICAÇÃO:	ACMM 	PACL 	DATA: 07/05/10
APROVAÇÃO:	MOG 		DATA: 07/05/10
 <p align="center">MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL</p>			
ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DE OBRAS (ATO) - LOTE A			
<p align="center">NOTA TÉCNICA - ATO OBRAS CIVIS - LOTE 3 ANÁLISE DA CAPACIDADE ESTRUTURAL E DE VAZÃO DOS TUBOS HELICOIDAIS E CORRUGADOS PARA DRENAGEM INTERNA DOS CANAIS</p>			
	DATA	RUBRICA	APROVAÇÃO
PROJETISTA			Logos-Concremat
DESENHISTA			Logos-Concremat
VERIFICADO			
			CLIENTE
ESCALA	DOCUMENTO Nº		
	PROJETISTA:	885-MIN-ISF-NT-A0076	
	CLIENTE:	1210-NTC-1201-00-40-022	
			REVISÃO
			0

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

MI

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

ATO – Acompanhamento Técnico das Obras

NOTA TÉCNICA – ATO – LOTE 3

ANÁLISE DA CAPACIDADE ESTRUTURAL E DE VAZÃO DOS TUBOS HELICOIDAIS E CORRUGADOS PARA DRENAGEM INTERNA DOS CANAIS

885-MIN-ISF-NT-A0076
1210-NTC-1201-00-40-022
Maio/2010
Rev. 0

ÍNDICE

	PÁG.
1. OBJETIVO	3
2. ANÁLISE DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DOS TUBOS	3
3. ANÁLISE DA CAPACIDADE ESTRUTURAL DOS TUBOS	4
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	5
ANEXO I – CARTA CTE4874	6

1. OBJETIVO

Conforme solicitado pela Supervisora, através de carta datada de 24/03/2010, e pela carta CTE4874 da Gerenciadora, datada de 01/04/2010, esta nota técnica tem como objetivo verificar a possibilidade de utilização de tubos helicoidais e corrugados para os sistemas de drenagem interna, para o Lote 3, dos canais de adução do Eixo Norte - Lote A, do Projeto de Integração do São Francisco (PISF).

2. ANÁLISE DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DOS TUBOS

O dimensionamento do sistema de drenagem interna considerou o emprego de tubos perfurados de concreto, que apresentam coeficiente de Manning da ordem de 0,018. Para a alternativa analisada, que consiste no emprego de tubos helicoidais e/ou corrugados, adotou-se coeficiente de Manning de 0,010, conforme informações disponibilizadas pela fabricante.

O Quadro 2.1 apresenta as vazões de escoamento para os tubos drenos, com diâmetros de 200, 300, 400 e 500 mm, e declividade de 0,01%, considerando seção de escoamento de 95% da seção do tubo. Nestas análises foram considerados coeficientes de Manning variando de 0,010 a 0,018.

QUADRO 2.1
CAPACIDADE DRENANTE DOS TUBOS PERFURADOS DE CONCRETO

		Capacidade drenante – y/D = 95%				
		Diâmetro Interno				
		mm	200	300	400	500
i	n	Capacidade (l/s)				
0,01%	0,010	4,58	13,51	29,09	52,75	
	0,012	3,82	11,26	24,24	43,95	
	0,015	3,05	9,01	19,39	35,16	
	0,018	2,55	7,50	16,16	29,30	

Com o intuito de avaliar a vazão de escoamento, nos trechos com declividade de 0,01%, para diâmetros internos de tubos drenos variando de 100 a 500 mm, e coeficiente de Manning de 0,010 a 0,018, foi elaborado o gráfico da Figura 2.1. Com base neste gráfico, pode-se determinar a vazão de escoamento em função do diâmetro, para os coeficientes de Manning apresentados.

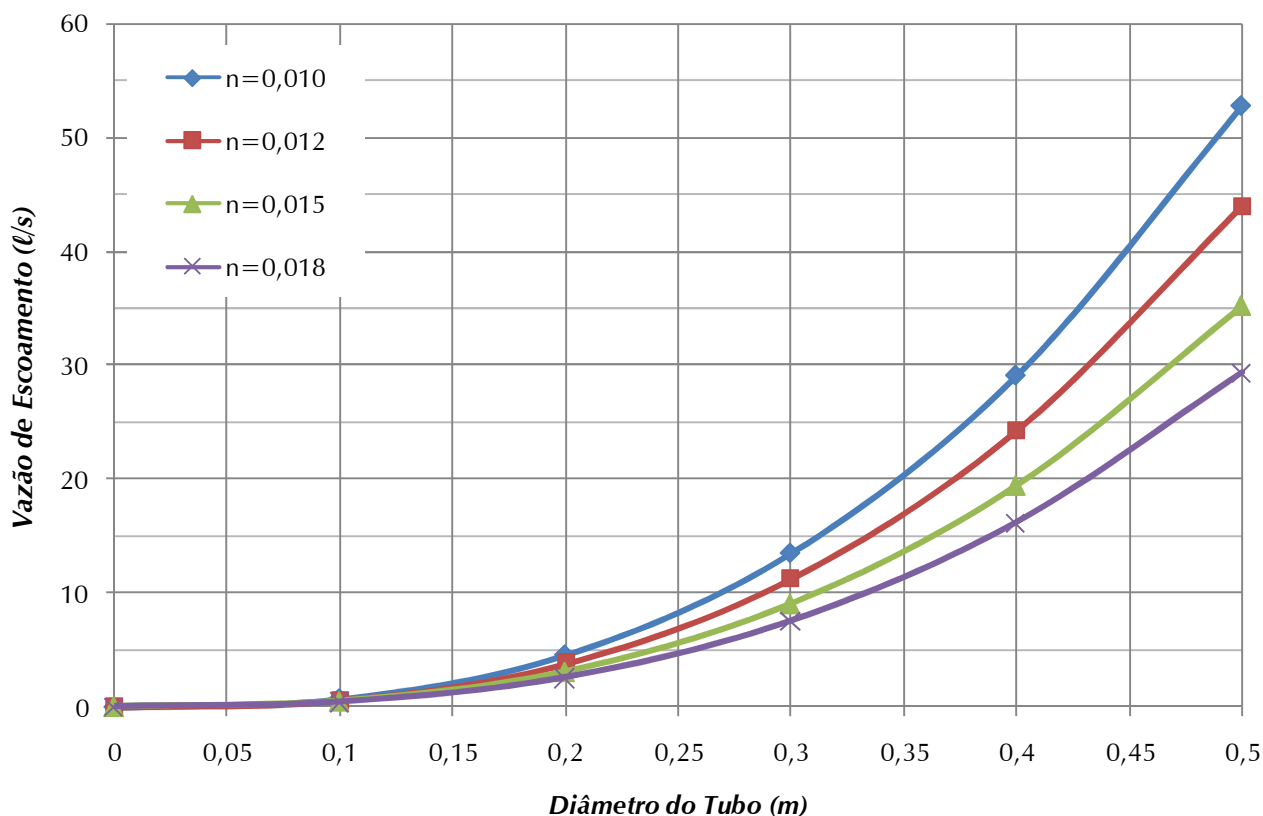


Figura 2.1 – Vazão de escoamento em função do diâmetro e coeficiente de Manning dos tubos

3. ANÁLISE DA CAPACIDADE ESTRUTURAL DOS TUBOS

Para a análise da capacidade estrutural dos tubos helicoidais e corrugados, a Supervisora enviou à ENGEORPS, anexo à carta 4874, resultados dos ensaios de resistência à compressão e determinação da classe de rigidez, de empresas fabricantes. Estes estudos de tensão x deformação consideraram duas situações passíveis de ocorrência em campo.

O primeiro caso avaliou as deformações nos tubos, quando estes estão instalados no interior do canal, sendo submetidos aos esforços devido à sobrecarga do sistema de drenagem interna (areia e brita), da laje de concreto do revestimento do canal, além da sobrecarga devido à coluna d'água no interior do canal.

No segundo caso foram avaliadas as deformações nos tubos helicoidais e corrugados, quando estes são empregados nos dispositivos de saída lateral da drenagem interna, sendo submetidos à sobrecarga devido ao aterro e/ou enrocamento compactado ($h=7,0m$).

Nestas análises, verificou-se que as máximas deformações dos tubos helicoidais e corrugados estão dentro da faixa de valores aceitáveis. Portanto, para as obras do sistema de drenagem interna dos canais, podem ser empregados tubos helicoidais e corrugados perfurados para a captação de água sob a laje de fundo, como tubos helicoidais corrugados não perfurados conectando o sistema de drenagem aos dispositivos de saída lateral.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com relação aos aspectos hidráulicos, os tubos helicoidais corrugados podem ser empregados como alternativas aos tubos perfurados de concreto, no sistema de drenagem interna dos canais, já que para tubos de mesmo diâmetro, os tubos helicoidais corrugados possuem capacidade drenante superior aos tubos perfurados de concreto, para as análises realizadas no Projeto Executivo. Caso sejam empregados os tubos helicoidais corrugados perfurados de menor diâmetro em substituição aos tubos perfurados de concreto, deverão ser realizadas análises complementares, pelo Consórcio Construtor, sendo estas baseadas na planilha de vazões dos canais disponibilizada pela ENGECORPS à Supervisora, para eventuais ajustes em função da vazão de escoamento do tubo e da vazão contribuinte total, no trecho em que este será instalado.

Com relação à capacidade estrutural dos tubos helicoidais corrugados, estes atendem às exigências do Projeto Executivo, quanto à deformação máxima permitida. Ressalta-se que, para a instalação dos tubos helicoidais corrugados, deverá ser executada a base de assentamento para os tubos com material compactado, sendo que esta base deverá possuir compactação de moderada (grau de compactação de 85 a 95%) à boa (grau de compactação superior a 95%), além de serem mantidas as soluções de assentamento e envolvimento previstas no projeto.

ANEXO I – CARTA CTE4874

Brasília, 1/4/2010

CTE4874

Ao

Eng. Marcos Oliveira Godoi

ENGECORPS - Corpo de Engenheiros Consultores Ltda - (LOTE A)

Al. Tocantins, 125 - 4º andar - Ed. West Side - Alphaville

Barueri - SP

Cep.06455-020

Referência: Contrato nº 30/2007-MI - Lote A - Pacote 1210

Assunto: Drenagem Interna do Canal – Tubos de PEAD Perfurados

Prezado Senhor,

Pela presente encaminhamos para sua análise a solicitação do consórcio construtor do lote 03 de obras civis para substituição de tubos de drenagem em concreto armado perfurados por tubos de PEAD perfurados, a serem utilizados na drenagem interna dos canais.

Solicitamos o posicionamento de V.Sas.

Sendo o que tínhamos para o momento,

Atenciosamente,



Eng. Carlos Rosa

Supervisor do Contrato

Projeto de Integração do Rio São Francisco

Consórcio Logos-Concremat²

Anexos:

Carta DF. 19/02/608 – MWH Brasil

Carta CL/405-CSF-L03/10-385 – Encalso Construções Ltda.

Fc/PCT



MWH BRASIL

CONTRIBUINDO PARA UM MUNDO MELHOR

Salgueiro-PE, 24 de Março de 2010.
DF. 19/02/608

Ao
Consórcio LOGOS-CONCREMAT
Rua: João Veras de Siqueira, n.º 2113
Salgueiro - PE

Att.: **Gilmar Ferreira da Silva**
Supervisor de Contrato – Eixo Norte Lote 03

C.C. **José Luiz Godoy Vasconcellos**
Gestor de Contrato Eixo Norte Lote 03 do MI.
Renato Saraiva
Fiscal do MI (Campo)

Ref.: Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, Contrato Nº 15/2008 – MI, Pacote 1315 – Lote 03

Assunto: Drenagem Interna do Canal – Tubos de PEAD perfurados.

Prezado(s) Senhor(es),

Ao cumprimentá-lo cordialmente, estamos encaminhando ofício nº CL/405-CSF-L03/10/385 do consórcio ECAR, em que solicita substituição dos tubos de concreto armado perfurados, pela aplicação de tubos de PEAD perfurados, para execução da drenagem interna do canal.

Diante do exposto a supervisora solicita que seja submetida à análise da projetista ENGEORPS, para que a mesma emita parecer definitivo sobre material apresentado pelo consórcio construtor ECAR.

Colocando-nos ao inteiro dispor para quaisquer informações adicionais julgadas necessárias, aproveitamos para reiterar protestos de elevada estima e consideração.

Sendo o que nos apresenta para o momento, subscrevemo-nos.

Atenciosamente,

MWH BRASIL

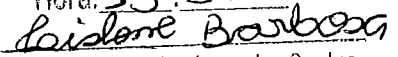
Judas Tadeu Braga
Engenheiro Residente

Consórcio Logos Concremat

Recebido em:

24/03/2010

Hora: 15:38


Lislene Daiana Barbosa dos Santos



Consórcio Encalso-Convap-Arvek-Record

Salgueiro (PE), 22 de Março de 2010
CL/405-CSF-L03/10/385

À
MWH Brasil
Av. Antônio Angelim, nº 580, 2º Andar; Sala 201
Centro Empresarial Gonzaga Patriota - Centro
Salgueiro - PE
CEP - 56.000-000

At.: Judas Tadeu Braga / Engenheiro Residente.
Ref: Contrato Administrativo 26/2008 – MI – Lote 03 – Pacote 1420.
Construção das Obras do Projeto de Integração do Rio São Francisco.
Assunto: **Drenagem Interna do Canal - Tubos de PEAD perfurados**

Prezados Senhores,

Para execução da drenagem interna do canal, os tubos de concreto armado especificados no projeto executivo nº 1210-DEP-1218-04-57-002-R.0 - Nota 06, pode ser substituído pela aplicação de tubos de PEAD perfurados, determinado na Nota 08 do projeto executivo nº 1210-DEP-1218-04-57-001-R.0, que diz: **Como alternativa ao tubo de concreto, poderá ser utilizado tubo PEAD corrugado e perfurado tipo Kananet ou macho e fêmea, os tubos perfurados dispensam o rejuntamento.**

Desta forma, o Consórcio construtor solicita aprovação da substituição dos tubos de concreto armado perfurados, pelos tubos de PEAD perfurados, tendo como possíveis fornecedores, as empresas cujas especificações técnicas e estudos de viabilidade técnica estão anexas a esta correspondência.

Sendo o que tínhamos para o momento, nos colocamos à disposição para maiores esclarecimentos.

Atenciosamente,


Eng. Marcelo de Souza Felizardo
Consórcio Encalso-Convap-Arvek-Record

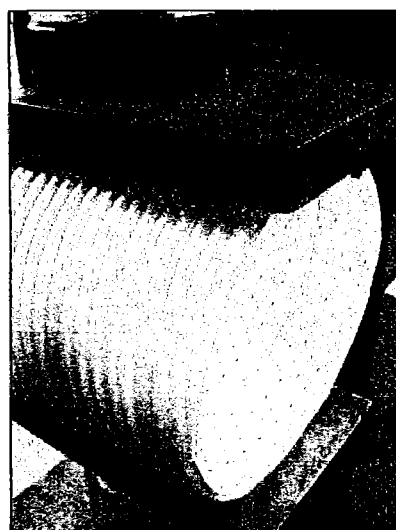
Consórcio Encalso-Convap-Arvek-Record

Rua Luiz Soares Diniz, 106 - Jd. Primavera – Salgueiro - PE – Fone: (87) 3871-6380
Página 1 de 1

MWH BRASIL
Recebido em:
<u>24/03/10</u>
Hora: <u>08:01</u>
Ass. <u>MARCO</u>



Utilização de Tubos Helicoidais de PVC na Drenagem Interna dos Canais de Adução do Projeto de Integração do Rio São Francisco



Memória de Cálculo Estrutural
Revisão 3

Engº Luiz Bandeira de Mello Laterza

Março de 2010



PARTE 1

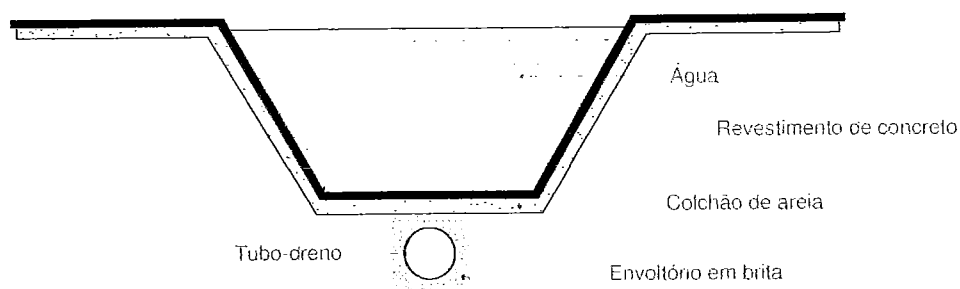
Tubos perfurados sob o canal (Tubos-Dreno)

AQUEDUTO

Projeto de Engenharia

1. Geometria do canal

Considerou-se a utilização de tubos helicoidais de PVC perfurados (tubos-dreno) na trincheira drenante existente sob o canal de adução com a seguinte seção transversal típica prevista em projeto (sem escala):



2. Cargas atuantes

Na análise estrutural da tubulação enterrada foram consideradas as seguintes cargas permanentes:

- a) peso da coluna d'água (altura de 6 metros)
- b) peso do revestimento de concreto do fundo do canal (espessura de 7 cm)
- c) peso do colchão drenante de areia (espessura de 10 cm)
- d) peso do recobrimento de brita na trincheira drenante (espessura de 15 cm)

Foram considerados os seguintes pesos específicos:

- a) peso específico da água: $\gamma_{\text{água}} = 10 \text{ kN/m}^3$
- b) peso específico do concreto: $\gamma_{\text{concreto}} = 25 \text{ kN/m}^3$
- c) peso específico da areia: $\gamma_{\text{areia}} = 20 \text{ kN/m}^3$
- d) peso específico da brita: $\gamma_{\text{brita}} = 22 \text{ kN/m}^3$

Portanto, a carga vertical atuante no plano horizontal tangente a geratriz superior do tubo será:

$$\sigma_v = 6 \cdot \gamma_{\text{água}} + 0,07 \cdot \gamma_{\text{concreto}} + 0,1 \cdot \gamma_{\text{areia}} + 0,15 \cdot \gamma_{\text{brita}}$$

$$\sigma_v = 6 \cdot 10 + 0,07 \cdot 25 + 0,1 \cdot 20 + 0,15 \cdot 22$$

$$\sigma_v = 67,05 \text{ kN/m}^2$$



Considerando-se as imprecisões construtivas, adotaremos nos cálculos, a favor da segurança, uma carga vertical de 71 kN/m^2 .

3. Análise estrutural da tubulação

A análise do sistema solo – tubo flexível frente às solicitações é efetuada levando-se em conta 4 estados limites que devem ser evitados com razoável segurança:

- deformação diametral excessiva
- instabilidade elástica (flambagem da parede)
- compressão limite da parede
- alongamento unitário limite das fibras da parede

3.1 Verificação do critério de deformação diametral

A deformação diametral relativa em tubulações flexíveis enterradas tem sido tradicionalmente calculada pela fórmula de Spangler, modificada por Watkins, que passou a ser denominada como fórmula de Iowa-modificada

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{K(p+q)}{8 \cdot R_A + 0,061E'}$$

Onde,

Δy = deformação diametral (m)

D = diâmetro da tubulação (m)

K = Constante de assentamento (adimensional)

p = carga permanente (kN/m^2)

q = carga acidental (kN/m^2)

R_A = rigidez anular da tubulação (kN/m^2)

E' = módulo reativo do solo de envolvimento (kPa)

A constante de assentamento (K) depende do berço de apoio da tubulação flexível enterrada. É função do ângulo de apoio da tubulação que define a área resistente e, conseqüentemente, a distribuição das tensões. Varia entre 0,083 e 0,110 e normalmente adota-se o valor $K=0,1$.

A Rigidez Anular (R_A) é uma característica da tubulação utilizada que traduz a resistência que o anel oferece à sua deformação transversal. Pode ser calculada analiticamente utilizando-se a teoria da elasticidade a partir da geometria da parede e do módulo de elasticidade do material. A tabela abaixo mostra os valores teóricos calculados para a rigidez anular dos tubos fabricados pela Aqueduto.

AQUEDUTO

Tira Perfilada	Diâmetro (mm)	Rigidez Anelar (N/m/m)
84 BR1	200	1369
	250	812
	300	514
112 BR1	350	1.758
	400	1.348
	450	1.041
140 BR1	500	1.510
	550	1.220
	600	995
140 BR2	650	1.629
	700	1.361
	750	1.146
	800	974
	850	833
168 BR2	900	1.393
	950	1.214
	1000	1.063

No entanto, é mais usual medir esta propriedade através de ensaios de compressão diametral em uma prensa de pratos paralelos como mostra a figura apresentada na capa deste trabalho. Este procedimento é normalizado pela norma ISO 9969.

Por simplicidade e a favor da segurança, consideraremos nos cálculos a seguir um valor da Rigidez Anelar de 500 N/m/m, inferior ao menor valor obtido nos ensaios realizados ao longo dos últimos anos de acordo com a norma acima indicada.

O módulo reativo do solo E' é o parâmetro mais importante no cálculo da deformação diametral, mas também é o mais difícil de ser determinado, pois depende da complexa interação entre solo e tubo. Para tubulações plásticas, como os tubos helicoidais de PVC, recomenda-se a utilização de materiais granulares, preferencialmente com grãos de formato cúbico e arestas. Tais materiais são classificados na USCS como GW, GP, SW, SP, GM, GC, SM e SC. Para esses tipos de solo, podem-se adotar os valores obtidos por Howard e publicados pelo U.S. Bureau of Reclamation. A tabela a seguir apresenta os valores indicados para o módulo reativo do solo E' (em kPa), de acordo com a sua condição de compactação:

solo granular	classificação USCS	sem compactação material despejado	leve compactação < 65% Proctor < 40% Dens. Relat.	moderada compactação 85% a 95% Proctor 40% a 70% Dens. Relat.	boa compactação > 95% Proctor > 70% Dens. Relat.
com finos (entre 12 e 25%)	GM GC SM SC	700	2800	7.000	14.000
sem finos (menos de 12%)	GW GP SW SP	1.400	7.000	14.000	21.000
pedra britada		7.000	21.000	21.000	21.000

AQUEDUTO

Como os tubos estarão instalados em uma trincheira drenante e serão confinados por pedra britada, mesmo que a brita seja simplesmente despejada na vala (sem compactação) o módulo reativo (E') será superior a 7.000 kN/m^2 .

Portanto, a deformação diametral relativa ($\Delta y/D$) esperada para a tubulação será:

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{0,1 \times (71)}{8 \times 0,5 + 0,061 \times 7000}$$

$$\frac{\Delta y}{D} = 0,016 = 1,6 \%$$

Considerando-se que o limite de deformação diametral normalmente admitido para tubulações plásticas enterradas é de 7,5%, estaremos trabalhando com elevado coeficiente de segurança.

Mesmo que o envolvimento da tubulação seja feito com material inferior contendo finos e com leve compactação ($E' = 2.800 \text{ kPa}$), ainda assim teríamos deformações diametraes aceitáveis:

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{0,1 \times (71)}{8 \times 0,5 + 0,061 \times 2800} = 0,041 = 4,1 \%$$

3.2 Verificação da estabilidade elástica da parede

A verificação da estabilidade elástica da tubulação pode ser efetuada determinando-se a pressão que causa o colapso (flambagem) da parede pela fórmula oriunda da teoria da elasticidade (Timoshenko):

$$P_c = \frac{24 \frac{EI}{D^3}}{1 - \nu^2} = \frac{24 R_A}{1 - \nu^2}$$

Onde:

P_c = pressão crítica que causa a flambagem da parede;

E = módulo de elasticidade do material (PVC);

I = momento de inércia da parede do tubo;

D = diâmetro referido à linha neutra da parede;

R_A = rigidez anular da tubulação;

ν = coeficiente de Poisson do material (PVC);

AQUEDUTO

A fórmula acima foi deduzida teoricamente considerando-se uma tubulação perfeitamente circular e elástica, submetida a uma pressão hidrostática externa. Como as tubulações normalmente apresentam ovalizações, costuma-se adotar coeficientes de redução desta pressão crítica de colapso da ordem de 30%.

Por outro lado, no caso de tubulações enterradas, o próprio solo de envolvimento atua no sentido de dificultar a instabilidade da parede. Este efeito pode ser levado em conta corrigindo-se o valor da pressão crítica de flambagem utilizando-se a fórmula:

$$P_{cf} = 1,15k_o\sqrt{P_c E'}$$

Onde P_{cf} é a nova pressão de colapso corrigida.

Adotando-se o coeficiente de Poisson do PVC ($\nu = 0,35$) e um coeficiente de redução devido a ovalizações de 30% ($k_o=0,7$) e, por outro lado, assumindo os valores já adotados para o módulo reativo do solo ($E' = 7.000 \text{ kN/m}^2$) e para a rigidez anular da tubulação ($RA = 0,5 \text{ kN/m/m}$), podemos calcular a pressão crítica de flambagem:

$$P_c = \frac{24 \times 0,5}{1 - 0,35^2} = 13,68 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{cf} = 1,15 \times 0,7 \sqrt{13,68 \times 7.000}$$

$$P_{cf} = 249,06 \text{ kN/m}^2$$

Caso o envolvimento da tubulação seja feito com material inferior ou com menor compactação ($E' = 2.800 \text{ kPa}$), a carga crítica de flambagem será:

$$P_{cf} = 1,15 \times 0,7 \sqrt{13,68 \times 2.800}$$

$$P_{cf} = 157,55 \text{ kN/m}^2$$

Em ambos os casos, a carga crítica de flambagem é bem superior à pressão máxima atuante no solo ao redor da tubulação (71 kN/m^2).

No entanto, como a pressão crítica de flambagem foi majorada levando-se em conta o efeito favorável do envolvimento, mas, na prática, esse envolvimento nem sempre é uniforme nas obras, recomenda-se trabalhar com um coeficiente de segurança em torno de 2,5 neste critério de desempenho.

Portanto, recomenda-se que seja utilizado um procedimento de envolvimento da tubulação que resulte em um $E' \geq 3.600 \text{ kN/m}^2$.



3.3. Verificação do estado de compressão na parede

O objetivo desta consideração de projeto consiste em verificar se as tensões de compressão na parede da tubulação não ultrapassam o limite de escoamento do material.

A tensão de compressão nas paredes pode ser calculada simplesmente dividindo-se a carga total aplicada pela área da seção resistente:

$$\sigma_c = \frac{(p + q) \cdot D}{2 \cdot A}$$

Onde:

A = área da seção longitudinal da parede da tubulação

As tiras perfiladas utilizadas na fabricação dos tubos helicoidais de PVC da Aqueduto possuem as seguintes características nominais:

Tira Perfilada	Altura Total (mm)	Linha Neutra (mm)	Área da parede (mm ² /m)
84 BR1	6,10	2,00	1.285
112 BR1	13,50	4,19	2.216
140 BR1	17,00	5,66	2.782
140 BR2	19,50	7,46	4.091
168 BR2	23,20	8,78	6.293

Portanto, os tubos produzidos com essas tiras, quando sujeitos ao carregamento acima estabelecido, ficarão sujeitos às seguintes tensões de compressão nas paredes:

Tira Perfilada	Diâmetro			Carregamento 71 kN/m ²
	Interno (mm)	Externo (mm)	Linha Neutra (mm)	Tensão na parede (MPa)
84 BR1	200	212,2	204,0	5,6
	250	262,2	254,0	7,0
	300	312,2	304,0	8,4
112 BR1	350	377,0	358,4	5,7
	400	427,0	408,4	6,5
	450	477,0	458,4	7,3
140 BR1	500	534,0	511,3	6,5
	550	584,0	561,3	7,2
	600	634,0	611,3	7,8
140 BR2	650	689,0	664,9	5,8
	700	739,0	714,9	6,2
	750	789,0	764,9	6,6
	800	839,0	814,9	7,1
	850	889,0	864,9	7,5
168 BR2	900	946,4	917,6	5,2
	950	996,4	967,6	5,5
	1000	1046,4	1017,6	5,7



Como a resistência do PVC à compressão é superior a 30 Mpa (entre 32 e 35 Mpa), estaremos trabalhando com coeficientes de segurança superiores a 3,6.

3.4. Verificação do alongamento unitário das fibras da parede

A aplicação deste critério de projeto é controvertida no meio técnico, quando se trata de tubos de PVC (vários pesquisadores vêm questionando a existência de valores limite para este tipo de material neste tipo de aplicação). Por outro lado, ele não costuma ser um critério limitante, principalmente para tubos muito flexíveis (pequena rigidez anular) como será demonstrado abaixo.

O alongamento das fibras devido à flexão da parede, quando um tubo se deforma diametralmente, pode ser calculado pela fórmula de Molin:

$$\varepsilon = 6 \left(\frac{t}{D} \right) \cdot \left(\frac{\Delta y}{D} \right)$$

Onde:

ε = alongamento unitário das fibras

Δy = deformação diametral

D = diâmetro referido à linha neutra

t = altura total da parede

Portanto, os alongamentos unitários das fibras para a deformação diametral prevista de 1,6 % e para o limite aceitável de 7,5% serão:

Tira Perfilada	Diâmetro	Deformação Diametral ($\Delta y/D$)	
	(mm)	1,6%	7,5%
84 BR1	200	0,29%	1,35%
	250	0,23%	1,08%
	300	0,19%	0,90%
112 BR1	350	0,36%	1,70%
	400	0,32%	1,49%
	450	0,28%	1,33%
140 BR1	500	0,32%	1,50%
	550	0,29%	1,36%
	600	0,27%	1,25%
140 BR2	650	0,28%	1,32%
	700	0,26%	1,23%
	750	0,24%	1,15%
	800	0,23%	1,08%
	850	0,22%	1,01%
168 BR2	900	0,24%	1,14%
	950	0,23%	1,08%
	1000	0,22%	1,03%



Ou seja, para a deformação esperada de 1,6% o alongamento das fibras não ultrapassa 0,36% quando o controvertido limite é de 2,5 a 3 %. Mesmo para deformações máximas admissíveis de 7,5%, o alongamento das fibras não ultrapassa 1,7 % o que mostra que também neste critério estamos trabalhando com razoável coeficiente de segurança.

4. Conclusão

Do ponto de vista estrutural, os tubos helicoidais de PVC com perfurações (tubos-dreno) fabricadas pela Aqueduto atendem com segurança as solicitações previstas no projeto de drenagem interna dos canais de adução do projeto de integração do rio São Francisco com bacias hidrográficas do nordeste setentrional.

De fato, os coeficientes de segurança resultantes da análise do sistema solo-tubo frente às solicitações previstas estão dentro dos critérios considerados adequados no projeto de tubulações plásticas enterradas:

critério de projeto	unidade	valor máximo	limite	Coef. Segurança
deformação diametral relativa	(%)	1,6	< 7,5	4,6
instabilidade elástica (pressão de colapso)	kN/m ²	71	< 249	3,5
compressão da parede	MPa	8,4	< 32	3,8
alongamento unitário das fibras	(%)	0,36	< 2,5	6,9



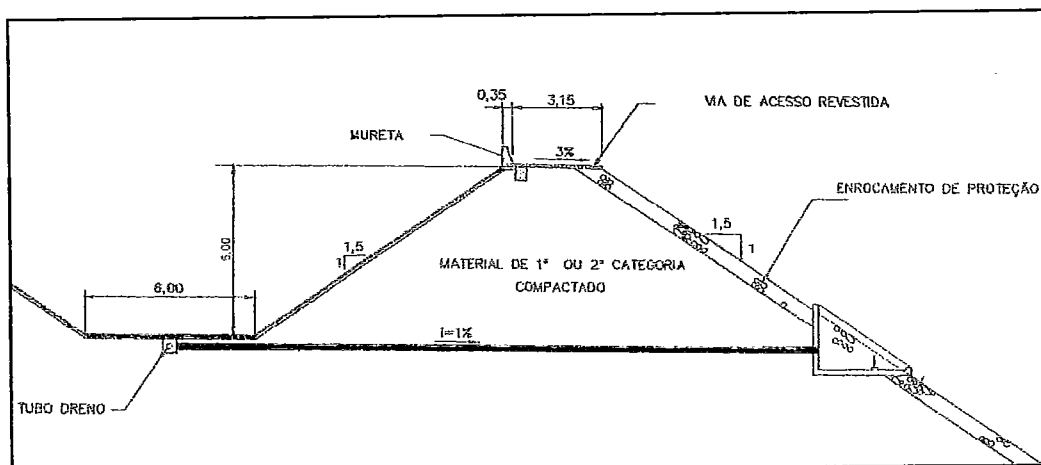
PARTE 2

Tubos não-perfurados sob o aterro (Saídas Laterais)

AQUEDUTO

1. Geometria da seção

Considerou-se a utilização de tubos helicoidais de PVC não-perfurados no sistema de saída lateral da drenagem interna. Estes tubos serão instalados perpendicularmente ao eixo do canal, de acordo com a seguinte seção transversal típica:



2. Cargas atuantes

Na análise estrutural desta tubulação enterrada foi considerada apenas a carga permanente correspondente ao peso do aterro existente sobre a tubulação pois, na profundidade em que o tubo estará enterrado, as cargas de tráfego na via de acesso podem ser consideradas desprezíveis.

Para o cálculo da altura de aterro sobre o tubo foi considerada a diferença de cotas entre o topo e o fundo do canal (6 metros), o revestimento do fundo do canal (7 cm), a espessura do colchão drenante (10 cm), o recobrimento do tubo (10 cm) e a diferença entre o diâmetro do maior tubo-dreno e o tubo de saída lateral (500 - 300 mm), além do acréscimo devido à declividade da tubulação.

Quando chega na vertical que passa pela extremidade da via de acesso (início do enrocamento de proteção do talude), a tubulação terá caminhado: 3,0 m (metade da largura do canal) + 6,0 x 1,5 (sob o talude interno do canal) + 0,35 (sob a mureta) + 3,15 m (sob a largura da via de acesso) = 15,50 metros. Assim, o acréscimo de profundidade devido à declividade será: $0,01 \times 15,50 = 0,155$ metros.

A altura total de aterro será portanto: $6,00 + 0,07 + 0,10 + 0,20 + 0,16 = 6,53$ metros.

Considerando-se que o aterro será feito com rocha, adotaremos para o cálculo da carga sobre o tubo um peso específico de 22 kN/m^3 .



Portanto, a carga vertical atuante no plano horizontal tangente a geratriz superior do tubo será:

$$\sigma_v = H \cdot \gamma_{solo}$$

$$\sigma_v = 6,53 \times 22$$

$$\sigma_v = 143,66 \text{ kN/m}^2$$

A favor da segurança, adotaremos uma carga vertical de 145 kN/m^2 .

3. Análise estrutural da tubulação

Para esta tubulação com declividade superior a dos tubos-dreno, considerou-se a utilização de um tubo de 300 mm de diâmetro fabricado com a tira perfilada 112 BR1. As características deste tubo estão indicadas na tabela abaixo.

Tira Perfilada	Características da Tira Perfilada			Diâmetro do Tubo			Rigidez Anelar
	Altura Total	Linha Neutra	Área da parede	Interno	Externo	Linha Neutra	
	(mm)	(mm)	(mm ² /m)	(mm)	(mm)	(mm)	
112 BR1	13,50	4,19	2.216	300	327,0	308,4	2.262

3.1 Verificação do critério de deformação diametral

Conforme apresentado na parte 1 deste trabalho, a deformação diametral relativa foi calculada pela fórmula de Iowa-modificada, considerando-se o carregamento acima definido e uma constante de assentamento $K=0,1$.

Considerou-se que o tubo será confinado em uma vala ou aterro (largura superior a $2 \times DE$) com pedra britada ou outro material granular bem compactado que possibilite a obtenção de um módulo reativo do solo E' igual ou superior a 7.000 kN/m^2 .

Portanto, a deformação diametral relativa ($\Delta y/D$) esperada para a tubulação será:

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{0,1 \times (145)}{8 \times 2,26 + 0,061 \times 7000}$$

$$\frac{\Delta y}{D} = 0,033 = 3,3 \%$$



Considerando-se que o limite de deformação diametral normalmente admitido para tubulações plásticas enterradas é de 7,5%, estaremos trabalhando com elevado coeficiente de segurança.

Caso o envolvimento da tubulação seja feito com material inferior contendo finos e com leve compactação ($E' = 2.800$ kPa), as deformações diametraes poderão ficar ligeiramente acima do limite aceitável de 7,5%:

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{0,1 \times (145)}{8 \times 2,26 + 0,061 \times 2800} = 0,077 = 7,7 \%$$

Recomenda-se, portanto, que o envoltório da tubulação seja efetuado com módulo reativo do solo superior a 3.300 kPa.

3.2 Verificação da estabilidade elástica da parede

Como foi apresentada na parte 1 deste trabalho, a verificação da estabilidade elástica da parede da tubulação foi efetuada determinando-se a pressão que causa o colapso da parede.

Adotando-se o coeficiente de Poisson do PVC ($\nu = 0,35$), um coeficiente de redução devido a ovalizações de 30% ($k_o = 0,7$) e os valores considerados para o módulo reativo do solo ($E' = 7.000$ kN/m²) e para a rigidez anelar da tubulação ($RA = 2,26$ kN/m/m), a pressão crítica de flambagem obtida foi de:

$$P_c = \frac{24 \times 2,26}{1 - 0,35^2} = 61,81 \text{ kN/m}^2$$

e a pressão de colapso corrigida de:

$$P_{cf} = 1,15 \times 0,7 \sqrt{61,81 \times 7.000}$$

$$P_{cf} = 529,52 \text{ kN/m}^2$$

Caso o envolvimento da tubulação seja feito com material inferior ou com menor compactação ($E' = 2.800$ kPa), a carga crítica de flambagem será:

$$P_{cf} = 1,15 \times 0,7 \sqrt{61,81 \times 2.800}$$

$$P_{cf} = 334,90 \text{ kN/m}^2$$



Em ambos os casos, a carga crítica de flambagem é bem superior à pressão máxima atuante no solo ao redor da tubulação (145 kN/m^2).

No entanto, como o coeficiente de segurança recomendado é de 2,5, recomenda-se a utilização de um procedimento de envolvimento da tubulação que resulte em um módulo reativo do solo E' superior 3.300 kN/m^2 .

3.3. Verificação do estado de compressão da parede

A tensão de compressão nas paredes neste caso será:

$$\sigma_c = \frac{145 \times 308,4}{2 \times 2.216} = 10,09$$

Como a resistência do PVC à compressão é superior a 30 Mpa, estaremos trabalhando com um coeficiente de segurança em torno de 3,0.

3.4. Verificação do alongamento unitário das fibras da parede

O alongamento das fibras devido à flexão da parede será, para uma deformação diametral relativa de 3,1 %:

$$\varepsilon = 6 \left(\frac{13,5}{308,4} \right) \cdot (0,031) = 0,00814$$

Ou seja:

$$\varepsilon = 0,81 \%$$

quando o alongamento limite é de 2,5 a 3 %.

Mesmo para deformações diametraes de 7,5%, o alongamento das fibras não chegaria a 2,0 %, o que mostra que também neste critério estamos trabalhando com razoável coeficiente de segurança.

4. Conclusão

Do ponto de vista estrutural, os tubos helicoidais de PVC de 300 mm de diâmetro, fabricadas pela Aqueduto com a tira perfilada 112 BR1, atendem com segurança as solicitações previstas no projeto de drenagem interna dos canais de adução do projeto de integração do rio São Francisco com bacias hidrográficas do nordeste setentrional.



De fato, os coeficientes de segurança resultantes da análise do sistema solo-tubo frente às solicitações previstas estão dentro dos critérios considerados adequados no projeto de tubulações plásticas enterradas:

critério de projeto	unidade	valor resultante	limite	Coef. Segurança
deformação diametral relativa	(%)	3,3	< 7,5	2,3
instabilidade elástica (pressão de colapso)	kN/m ²	145	< 529	3,6
compressão da parede	MPa	10,1	< 32	3,2
alongamento unitário das fibras	(%)	0,81	< 2,5	3,1

São Paulo, 19 de Março de 2010

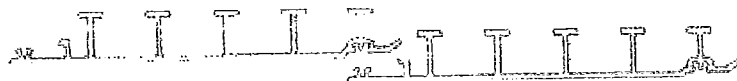
Luiz Bandeira de Mello Laterza
Engenheiro Civil – CREA 0600928360
Mestre em Engenharia de Construção Civil
Doutor em Engenharia Mecânica

Tubos Helicoidais de PVC para Dreno Subsuperficiais

Tubos Helicoidais de PVC

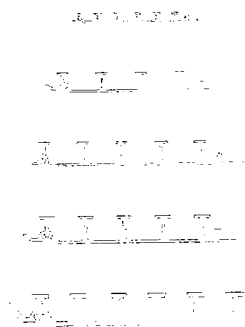
Os tubos helicoidais de PVC são fabricados pelo processo de enrolamento de tiras de PVC nervuradas.

As tiras de PVC são produzidas por um processo convencional de extrusão e possuem, em suas bordas, encaixes macho-fêmea que propiciam o seu intertravamento durante o processo de enrolamento helicoidal. Além do travamento mecânico, as tiras são também soldadas quimicamente, através da aplicação de um adesivo no encaixe, o que garante total estanqueidade à junta helicoidal assim formada.



As nervuras existentes nos perfis de PVC, em forma de "T", servem como elementos de reforço da parede do tubo, aumentando a sua inércia e, conseqüentemente, a rigidez diametral da tubulação. Assim, pode-se dizer que este tipo de tubulação possui parede estruturalmente otimizada, uma vez que sua resistência aos esforços solicitantes aumenta sem um proporcional acréscimo de sua massa.

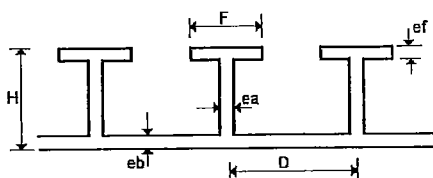
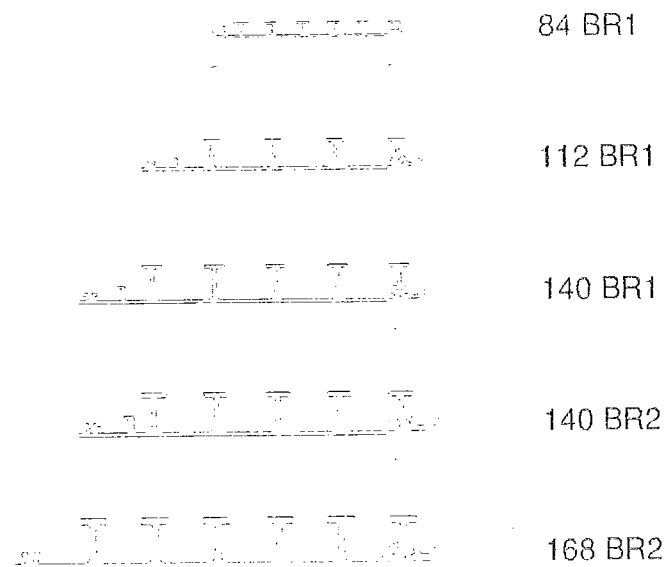
Utilizando-se 5 diferentes tiras de PVC, é possível produzir tubos helicoidais com boa rigidez diametral na faixa entre 200 e 1.200 mm de diâmetro.



O enrolamento das tiras é efetuado por um equipamento de pequeno porte, capaz de fabricar tubos de diferentes diâmetros e comprimentos. Essa simplicidade e versatilidade do processo permitem que a fabricação dos tubos seja efetuada na própria obra, quando isto for necessário ou conveniente.

As tiras de PVC são produzidas na fábrica da Aqueduto em Cabreúva - SP e acondicionados em bobinas metálicas que podem armazenar grande quantidade de material. A seguir, essas bobinas são transportadas até o local de fabricação dos tubos, que pode ficar na própria fábrica, na obra ou em alguma localidade próxima.

As figuras e a tabela abaixo mostram as principais dimensões das tiras perfiladas de PVC que são utilizadas na fabricação dos tubos helicoidais.



Dimensão			Tira Perfilada				
posição		unidade	84 BR1	112 BR1	140 BR1	140 BR2	168 BR2
Largura da Tira Perfilada	L	mm	84	112	140	140	168
Número de Tês	n	-	6	4	5	5	6
Distância entre Tês	D	mm	14	28	28	28	28
Altura Total da Tira Perfilada	H	mm	6,1	13,5	17	19,5	23,2
Largura da Flange	F	mm	6,2	8	9	13	13
Espessura da Flange	ef	mm	0,8	1,3	1,5	2	3
Espessura da Alma	ea	mm	0,9	1,4	1,6	2,1	2,8
Espessura da Base	eb	mm	0,8	1,3	1,5	2	3,2

A tabela abaixo mostra os diâmetros interno e externo e os pesos aproximados dos tubos helicoidais produzidos com as tiras perfiladas acima apresentadas.

Tira Perfilada	Diâmetro		Peso Aproximado (Kg/m)
	Interno (mm)	Externo (mm)	
84 BR1	200	212,2	1,5
	250	262,2	1,9
	300	312,2	2,2
112 BR1	350	377,0	4,4
	400	427,0	5,0
	450	477,0	5,6
140 BR1	500	534,0	7,1
	550	584,0	7,8
	600	634,0	8,5
140 BR2	650	689,0	13,3
	700	739,0	14,3
	750	789,0	15,3
	800	839,0	16,3
	850	889,0	17,3
168 BR2	900	946,4	28,3
	950	996,4	29,8
	1000	1046,4	31,4

Os tubos helicoidais de PVC fornecidos pela Aqueduto destinam-se à condução de efluentes em regime de escoamento livre cuja temperatura não ultrapasse 40°C. Podem ser enterrados em valas ou utilizados sob aterros.

São particularmente adequados para aplicação em sistemas de drenagem pluvial ou sub-superficial, onde a tubulação opera sob a ação da gravidade, sem pressão interna.

O coeficiente de rugosidade de Manning recomendado para as tubulações de PVC varia entre $n=0,007$ para pequenos diâmetros e altas velocidades e $n=0,010$ para grandes diâmetros e baixas velocidades. Ensaio realizado pela FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, com os tubos de 500 mm, indicaram um valor do coeficiente de rugosidade $n=0,00922$.

Os tubos helicoidais de PVC apresentam comportamento estrutural de tubos flexíveis e, portanto, derivam sua capacidade de suportar cargas da interação entre o tubo e o solo que o envolve.

Devem ser instalados sobre um berço contínuo composto por camada de brita, areia ou pó de pedra, com pelo menos 15 centímetros de espessura.

A tubulação de ser envolvida com material selecionado e cuidadosamente disposto ao redor da tubulação. Recomenda-se que o material de envolvimento seja granular e bem graduado. Brita graduada e areia são particularmente recomendados.

Tubos Dreno

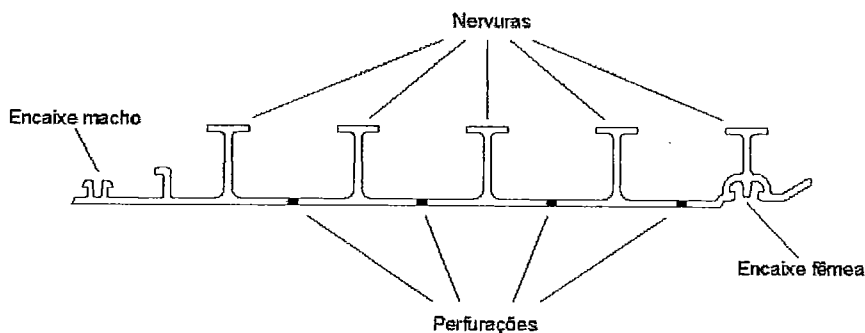
Os tubos dreno são utilizados em projetos de drenagem que requerem tubos perfurados para a infiltração ou exfiltração de efluentes através de suas paredes.

Possuem elevada flexibilidade, grande resistência ao impacto e são resistentes a solos e águas agressivas, ambientes anaeróbios e águas carreando sais como sulfatos. Nesses aspectos apresentam vantagens em relação às tradicionais manilhas de concreto (porosas ou perfuradas), além de possuírem baixo peso, o que facilita a sua manipulação e instalação.

Os tubos helicoidais de PVC para dreno possuem a parede interna lisa, o que não cria dificuldades ao escoamento, dificultando a formação de depósitos de sedimentos e facilitando a limpeza. A superfície interna lisa resulta num baixo coeficiente de rugosidade das paredes (baixo n de Manning) o que confere elevada velocidade ao escoamento, permitindo o escoamento de elevadas vazões. Nesse aspecto apresentam vantagem sobre outros tubos plásticos corrugados de Polietileno (PEAD) ou de PVC.

São fabricados perfurando-se as tiras de PVC antes de seu enrolamento para produzir os tubos helicoidais. As perfurações são feitas mecanicamente, com espaçamento uniforme e tamanho controlado, o que propicia uma ótima filtração do envoltório

No sistema de perfuração adotado, são produzidas pequenas ranhuras com aproximadamente 1,0 mm de largura e 5,0 mm de comprimento com espaçamento de aproximadamente 25 mm, situadas entre as nervuras da parede externa. Este tipo de perfuração facilita a entrada da água no tubo, otimizando as propriedades hidráulicas da infiltração. Sua localização na parede não interfere na estabilidade estrutural do tubo e as dimensões dos furos não se alteram quando ele é enterrado.

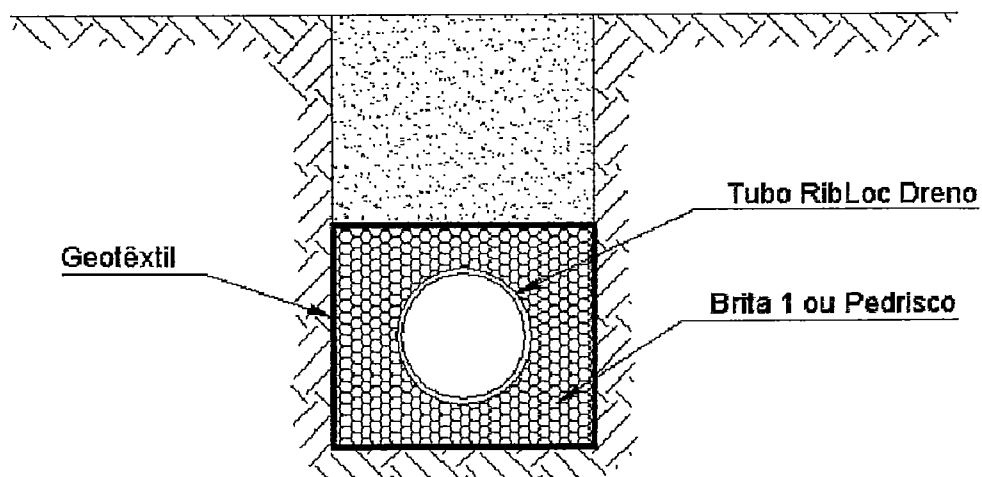


O número de perfurações e a área aberta (área perfurada) estão indicados na tabela a seguir para os diversos diâmetros de tubos:

Tira Perfilada	Diâmetro Interno (mm)	número de perfurações (furos/m)	área perfurada (cm ² /m)
84 BR1	200	1290	64
	250	1612	81
	300	1934	97
112 BR1	350	1016	51
	400	1161	58
	450	1306	65
140 BR1	500	1548	77
	550	1702	85
	600	1857	93
140 BR2	650	2012	101
	700	2167	108
	750	2321	116
	800	2476	124
	850	2631	132
168 BR2	900	2902	145
	950	3063	153
	1000	3224	161

Os tubos são fabricados em barras de grandes comprimentos (6, 8 ou 12 metros) e a rigidez longitudinal dos tubos, ao mesmo tempo em que permite o seu assentamento com declividade e alinhamento controlados, oferece também a possibilidade de fazer curvas com raio longo e acompanhar eventuais movimentações do solo.

A figura a seguir ilustra uma seção transversal típica de um dreno sub-superficial.



São Paulo, 23 de Março de 2.010.

Ao

Consórcio Encalso Covap Arvek Recoder (Lotes 3 e 4 - Transposição)

Sr. Eng. Alex Silveira (alexsilveira.eng@encalso.com.br)
(87) 3871-5318

CC:

À MWH Global Engenharia e Projetos Ltda.

Sr. Eng. Flávio Tonelli (flavio.pimenta@mwhglobal.com)
(11) 5081-9900

Assunto: Tubos corrugados de PEAD para drenagem.

Prezados Senhores,

Informamos abaixo as vazões de escoamento calculadas para os tubos KN-S de nossa fabricação, considerando:

- Coeficiente de rugosidade de Manning: 0,010;
- Declividade da instalação: 0,01%;
- Seção drenante: 95% da seção do tubo e
- Fórmula: $Q = A/n \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2}$, onde Q = Vazão,
 A = Área molhada,
 n = Coeficiente de rugosidade de Manning,
 R_h = Raio hidráulico,
 I = Declividade.

	KN-S DN 230	KN-S DN 340	KN-S DN 450
Diâmetro interno do tubo (mm)	198,0	302,0	400,0
Vazão de influxo (l/s.m)	16,53	23,96	27,74
Área molhada (m²)	0,030205	0,070268	0,123272
Raio hidráulico (m)	0,056756	0,086568	0,114659
Velocidade de escoamento (m/s)	0,147687	0,195691	0,236015
Vazão de escoamento (m³/s.m)	0,004461	0,013751	0,029094
Vazão de escoamento (l/s.m)	4,46	13,75	29,09

Lilian Matsura
Supervisor da Qualidade

Escritório Comercial:
Rua Edward Joseph, 122 - Andar Intermediário - Cj 10
Portal do Morumbi - São Paulo-SP - CEP 05709-020
Fone: (11) 3779-1670 - Fax: (11) 3779-1696
www.kanaflex.com.br

A vazão de escoamento demonstrada acima foi calculada baseada em uma seção drenante de 95% da seção do tubo. Esta performance é alcançada devido à grande área aberta perfurada e conseqüente vazão de influxo que a tubulação apresenta.

A tabela abaixo calcula o tubo ideal para os trechos do projeto, considerando a vazão de escoamento acumulada:

Marcos do Trecho (m)	Vazão Unitária (l/s.m)	Vazão Acumulada (l/s)	Tubo KN-S necessário
0 a 350	0,0126	4,41	DN 230
350 a 440	0,0126	5,54	DN 340
440 a 520	0,0126	6,55	
520 a 780	0,0126	9,83	
780 a 1000	0,0126	12,60	
1000 a 1100	0,0126	13,86	DN 450
1100 a 1680	0,0126	21,17	

À disposição para maiores esclarecimentos.

Atenciosamente,

Lilian Matsura

Lilian Matsura
Supervisor da Qualidade
Tel.: (11) 4785-2125
lilian@kanaflex.com.br