

0	18/09/2009	E	Emissão inicial
REVISÃO Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES
Tipo de Emissão	A. Preliminar B. Para Aprovação C. Para Conhecimento	D. Para Cotação E. Para Construção F. Conforme Comprado	G. Conforme Construído H. Cancelado I. De Trabalho
 <b>ENGEPCORPS</b> corpo de engenheiros consultores			
PROJETO:	REG 	RKC 	ASM  DATA: 18/09/09
PROJETISTA:			DATA: 18/09/09
VERIFICAÇÃO:	ACMM 	PACL 	DATA: 18/09/09
APROVAÇÃO:	MOG 	DATA: 18/09/09	
 <div style="text-align: center;"> <b>MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL</b>  <b>PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO</b>  <b>COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO</b>  <b>NORDESTE SETENTRIONAL</b> </div>			
<b>PROJETO EXECUTIVO - LOTE A</b>			
<b>ATO OBRAS CIVIS - ATIVIDADES DE CAMPO E ESCRITÓRIO</b> <b>PERÍODO DE 01/08/09 A 31/08/09</b>			
	DATA	RUBRICA	APROVAÇÃO
PROJETISTA			Logos-Concremat
DESENHISTA			Logos-Concremat
VERIFICADO			
ESCALA			CLIENTE
	DOCUMENTO Nº		
	PROJETISTA:	885-MIN-ISF-RT-A0027	
	CLIENTE:	1210-REL-1051-00-40-012	
			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**

***RELATÓRIO DE ATIVIDADES – ATO  
OBRAS CIVIS – ATIVIDADES DE CAMPO E  
ESCRITÓRIO  
PERÍODO DE 01/08/09 A 31/08/09***

885-MIN-ISF-RT-A0027  
1210-REL-1051-00-40-012  
Setembro/2009  
Rev. 0

---

*ÍNDICE*

	<i>PÁG.</i>
1. <i>OBJETIVO .....</i>	<i>3</i>
2. <i>ATIVIDADES DE CAMPO E DE ESCRITÓRIO – COMENTÁRIOS E AÇÕES SOBRE OS ASSUNTOS CONSULTADOS .....</i>	<i>3</i>
3. <i>RECURSOS UTILIZADOS NOS TRABALHOS DE ATO.....</i>	<i>7</i>

*ANEXO I – TABELA RESUMO DAS PRINCIPAIS SOLICITAÇÕES E ATENDIMENTOS*

*ANEXO II – DOCUMENTOS EMITIDOS NO PERÍODO*

## **1. OBJETIVO**

Este relatório tem por objeto o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias do Nordeste Setentrional – Projeto Executivo do Trecho I e por objetivo a apresentação das principais atividades relativas aos serviços de ATO, realizadas em campo e no escritório, no período compreendido entre os dias 01/08/09 e 31/08/09.

A solicitação para a disponibilização do ATO foi realizada na reunião de 11/02/09 – Agenda Positiva dos Lotes 1, 2 e 7, e prorrogada na reunião do dia 28/04/09. Na carta nº 1210-CAR-1001-00-00-054 (EGC-043/09) foi apresentada a programação das atividades de ATO.

Na carta nº 1210-CAR-1001-072 (EGC-091/09), enviada pela ENGEORPS na reunião de Agenda Positiva nº 5, em 24/07/09, está apresentada uma reprogramação dos trabalhos de ATO para o Lote A, com solicitação de prorrogação de prazo e aditamento de valor contratual.

## **2. ATIVIDADES DE CAMPO E DE ESCRITÓRIO – COMENTÁRIOS E AÇÕES SOBRE OS ASSUNTOS CONSULTADOS**

### **2.1 Introdução**

As atividades de campo do ATO realizadas no período compreendem contatos com as equipes da Supervisora e do Consórcio Construtor, além de vários contatos telefônicos e inspeções diárias nos locais das obras. Ao longo do período em questão foram discutidos vários assuntos e aspectos referentes aos projetos emitidos para o Lote A, tanto para adaptação da concepção prevista em projeto quanto para estudo de concepções alternativas àquelas apresentadas pela Projetista.

As atividades de escritório de ATO compreendem as análises das solicitações da Supervisora e do Consórcio Construtor, envolvendo a equipe técnica de escritório e consultores, quando necessário, além de reuniões internas e vários contatos telefônicos.

No Anexo I deste relatório está apresentado, na forma de uma tabela, o controle das principais solicitações encaminhadas pela Supervisora e os atendimentos realizados pela ENGEORPS.

Foram vistoriadas as obras do Lote A, durante o mês de agosto de 2009, pelo engenheiro de ATO (Eng. Luis Mouraria) pelo Consultor de Geotecnia (Eng. Hiromiti Nakao), ambos da ENGEORPS, este último no período de 25/08 a 29/08/09.

### **2.2 Situação Geral de Andamento das Obras**

De maneira geral, o andamento da construção dos trechos dos canais, túneis, aquedutos e barragens pode ser sintetizado da seguinte forma:



- a) Trecho CN-02 – foi realizada a concretagem do revestimento do canal entre as estacas 601 e 640. Foram também executadas as escavações e os aterros de todo o trecho CN-02, além de todos os bueiros.
- b) Trecho CN-03 – foram executados os aterros e as escavações entre as estacas 860 e 1100, além de todos os bueiros do trecho CN-03.
- c) Trecho CN-04 – foram executados os aterros e as escavações entre as estacas 1200 e 1500, além de todos os bueiros do trecho CN-04. Foi também executado o emboque do Túnel Angico.
- d) Túnel Angico – foram executadas as escavações e estruturas do emboque do Túnel Angico.
- e) Trecho CN-05 – foram executados os aterros e as escavações entre as estacas 1770 e 1840. Também foi realizada a readequação dos bueiros B002, B008 e B009 do trecho CN-05.
- f) Trecho CN-06 – estão em andamento inicial as obras de aterros e escavações.
- g) Trecho CN-07 – estão em andamento inicial as obras de aterros e escavações. Nesse trecho ocorre a interseção com uma lagoa, próximo à estaca 2250, assunto este que está sendo analisado no escritório da ENGEORPS, para a proposição de uma solução para a travessia desse local.
- h) Trecho CN-10 – foram executados os aterros e as escavações entre as estacas 2820 e 3450, além de 4 bueiros em seção circular.
- i) Aqueduto Logradouro – estão concluídas as concretagens de 6 dos 8 pilares. Os aterros de encontro já foram executados.
- j) Aqueduto Saco da Serra – estão em andamento as concretagens dos 10 pilares. Os aterros de encontro já foram executados.
- k) Aqueduto Salgueiro – estão sendo construídos os aterros de encontro deste aqueduto, em enrocamento compactado. As fundações desse aqueduto ainda não foram iniciadas.
- l) Barragem de Serra do Livramento – foram iniciados os trabalhos de escavação das fundações do maciço da barragem.

### **2.3 Assuntos Tratados e Comentários Correspondentes**

- a) Assunto – a Supervisora solicitou à ENGEORPS, através dos memorandos 074/2009, 075/2009, 076/2009 e 078/2009, uma análise dos tubos dos bueiros 1718-B-016, 1718-B-001, 1718-B-018, 1718-B-021, 1718-B-22 e 1718-B-031, todos eles do trecho do canal CN-10. Para tanto enviou as memórias de cálculo realizadas pelo consultor do CCASF.

Resposta – a ENGEORPS, após a análise das memórias de cálculo enviadas, está de acordo com os cálculos referentes aos esforços nas tubulações dos bueiros 1718-B-001, 1718-B-016, 1718-B-018, 1718-B-021, 1718-B-22 e 1718-B-031, conforme foram apresentados nos memorandos números 075/2009, 074/2009, 078/2009 e 076/2009, respectivamente. Além de estar de acordo com os cálculos, a ENGEORPS também concorda com a utilização de tubo armado classe PA4, no que se refere ao dimensionamento estrutural.

b) Assunto – a Supervisora solicitou à ENGEORPS, através dos memorandos 079/2009, 077/2009 e 080/2009, uma análise dos tubos dos bueiros 1718-B-026, 1718-B-028 e 1718-B-030, todos eles do trecho do canal CN-10.

Resposta – a ENGEORPS, após a análise das memórias de cálculo enviadas, sugere que sejam revistos os dimensionamentos das tubulações dos bueiros 1718-B-026, 1718-B-028 e 1718-B-030, conforme apresentado nos memorandos números 079/2009, 077/2009 e 080/2009, respectivamente, pois como esses bueiros estão apoiados diretamente no terreno natural, a metodologia de cálculo não deve contemplar o modelo de bueiro dentro de uma vala, como ocorre nos outros casos.

c) Assunto – a Supervisora solicitou à ENGEORPS, através do memorando 098/2009, uma análise do dimensionamento e da capacidade de vazão dos tubos dos bueiros 1718-B-001, 1718-B-016, 1718-B-018, 1718-B-021, 1718-B-022, 1718-B-026, 1718-B-028, 1718-B-030 e 1718-B-031, todos eles do trecho do canal CN-10. Da mesma forma, a Supervisora solicitou à ENGEORPS, através do memorando 086/2009, uma análise do dimensionamento e da capacidade de vazão dos tubos dos bueiros 1718-B-004 e 1718-B-013, também do trecho de canal CN-10. O objetivo das análises solicitadas pela Supervisora, em ambos os memorandos, é a avaliação da possibilidade de utilização de tubos circulares pré-moldados para alguns dos bueiros projetados ao longo do canal CN-10, ao invés de bueiros moldados “in loco” (galerias).

Resposta – a ENGEORPS, após a análise das memórias de cálculo enviadas através dos memorandos 098/2009 e 086/2009, emitiu a Nota Técnica Lotes 1 e 2 – Análise da Utilização de Tubos Circulares para Bueiros (documento 1210-NTC-1201-00-40-004-R00), na qual os cálculos apresentados são considerados consistentes. Cabe ressaltar que deverão ser verificadas as velocidades de escoamento nessas tubulações e, em função dos valores encontrados, as mesmas deverão ser revestidas de modo a resistir aos esforços desses escoamentos.

Com relação aos aspectos estruturais, os tubos atendem às exigências estabelecidas no Projeto Executivo, desde que seja executada de maneira satisfatória a compactação do material de assentamento dos tubos, que deverá ser de moderada (grau de compactação de 85 a 95%) a boa (grau de compactação superior a 95%), e que sejam mantidas as soluções de assentamento e envolvimento previstas no projeto. Com relação aos aspectos hidráulicos, a Construtora deverá realizar o dimensionamento desses tubos circulares pré-moldados, com base nos valores de vazões encaminhados pela ENGEORPS à Supervisora.

De forma geral, cabe observar que não há restrições maiores à utilização de tubos circulares pré-moldados para os bueiros em questão, apenas deverão ser observados os aspectos na Nota Técnica emitida pela ENGEORPS (documento 1210-NTC-1201-00-40-004-R00).

d) Assunto – detalhamentos adicionais à solicitação de adequação da geometria dos bueiros do trecho de canal CN-10.

Resposta – a ENGEORPS solicita a apresentação dos projetos de adequação das obras de entrada e saída de todos esses bueiros do canal CN-10 que terão sua geometria alterada para tubos circulares pré-moldados. Também é solicitado o detalhamento das juntas de vedação das tubulações, tendo em vista que existe uma preocupação quanto ao aspecto da estanqueidade dessas estruturas.

e) Assunto – reaterro das cavas de escavação para a execução das fundações por sapatas do Aqueduto Logradouro.

Resposta – a ENGEORPS emitiu a Nota de Obra 1201-NTO-006-R00, referente ao detalhe para o reaterro das cavas de escavação para a execução das fundações por sapatas do Aqueduto Logradouro.

f) Assunto – otimização da utilização de material de 3ª categoria no maciço em aterro dos canais, em função da maior disponibilidade desse tipo de material.

Resposta – a ENGEORPS emitiu a Nota de Obra 1201-NTO-007-R00, referente à otimização da utilização de material de 3ª categoria, acompanhada de um desenho de seção típica do canal em aterro. Nesse desenho são indicadas as distâncias mínimas de afastamento do talude interno do canal e de afastamento de crista (berma) que deverão ser respeitadas para a máxima utilização possível de enrocamento compactado nos trechos em aterro dos canais. A análise em questão foi embasada em estudos tensão x deformação, que serão apresentados em uma nota técnica específica, que está em elaboração.

g) Assunto – a Supervisora solicitou, através do memorando nº 218/2009, uma análise da utilização de tubos helicoidais (corrugados ou lisos) para o sistema de drenagem interna (longitudinais sob o canal e saídas transversais), em função da classificação necessária aos tubos de concreto armado tradicionais.

Resposta – a ENGEORPS emitiu a Nota Técnica 1201-REL-1051-00-40-009-R00, a respeito desse assunto, na qual foram analisadas duas memórias de cálculo, preparadas pelo consultor da Construtora e enviadas à ENGEORPS pela Supervisora. Assim sendo, as análises realizadas pela ENGEORPS foram feitas em duas etapas: a 1ª etapa correspondeu à análise da possível utilização dos tubos helicoidais como tubos-dreno (longitudinais). A 2ª etapa correspondeu à análise da possível utilização desses tubos como saídas laterais (transversais).

Com relação aos aspectos estruturais, os tubos atendem às exigências estabelecidas no Projeto Executivo, desde que seja executada de maneira satisfatória a compactação do material de

assentamento dos tubos, que deverá ser de moderada (grau de compactação de 85 a 95%) a boa (grau de compactação superior a 95%), e que sejam mantidas as soluções de assentamento e envolvimento previstas no projeto.

h) Assunto – a Supervisora enviou à ENGEORPS o relatório de liberação das fundações do Aqueduto Logradouro (documento n° CCN-032-090430), que foi elaborado pela Vecctor Projetos, consultora do Consórcio Construtor dos Lotes 1 e 2 (CCASF).

Resposta – a ENGEORPS emitiu a Nota Técnica: Aqueduto Logradouro – Análise do Relatório de Liberação das Fundações (documento Obra 1210-NTC-1201-00-40-006-R00), referente à análise do relatório de inspeção e liberação das escavações das fundações do Aqueduto Logradouro, elaborado pelo consultor do CCASF. De acordo esse relatório, as cotas de fundo para as sapatas dos pilares foram liberadas em campo de forma a satisfazer os requisitos estabelecidos em projeto, em termos do material de apoio e do valor da tensão admissível.

### **3. RECURSOS UTILIZADOS NOS TRABALHOS DE ATO**

#### **3.1 Despesas Diretas**

No Quadro 3.1 é apresentado o detalhamento das despesas diretas, correspondentes aos recursos humanos envolvidos, somente para as atividades de ATO do Lote A, sendo que as despesas relativas às revisões de desenhos são de responsabilidade da Projetista. Também deve ser observado que as despesas referentes ao ATO dos trabalhos do Exército são computadas separadamente daquelas do ATO do Lote A.

#### **3.2 Despesas Indiretas**

No Quadro 3.1 também são apresentadas as despesas indiretas, correspondentes às diárias de estadia, locação de veículo médio e passagens.



**QUADRO 3.1**  
**PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO - LOTE A - ATO**  
**DETALHAMENTO DAS DESPESAS DE ATO**

MÊS			ago/09																															TOTAL		
DESPESAS DIRETAS																																				
Nome	Categoria	Local	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	horas	h/mês	
Marcos Oliveira Godoi	P0	Campo																																0,0	0	
		Escritório																																0,0	0	
Paulo Afonso de Cerqueira Luz	P0	Campo																																0,0	0	
		Escritório			4,0	4,0	4,0	4,0	4,0			4,0	4,0	4,0	4,0	4,0			4,0	4,0	4,0	4,0	4,0				4,0	4,0	4,0	4,0		4,0	80,0	0,4545		
Luis Honorato Ferreira Mouraria	P1	Campo					4,0	4,0	8,0	4,0		4,0	4,0	8,0	4,0	4,0				4,0	4,0	4,0	4,0	4,0				4,0	4,0	8,0	4,0	4,0	4,0	72,0	0,409	
		Escritório			4,0	4,0														4,0	4,0	4,0	4,0	4,0			4,0							32,0	0,1818	
Hiromiti Nakao	P1	Campo																										4,0	8,0	4,0	8,0			24,0	0,1363	
		Escritório				4,0		4,0					4,0		4,0					4,0		8,0												28,0	0,159	
Claudio Michel Nahas	P1	Campo																																0,0	0	
		Escritório			4,0		4,0		2,0			4,0		4,0		4,0			4,0		4,0		4,0			2,0		4,0		4,0		2,0	46,0	0,2613		
Ary Paulo Rodrigues	P1	Campo																																0,0	0	
		Escritório			4,0		2,0		4,0			2,0		4,0		4,0			2,0		2,0		4,0			2,0		2,0		2,0		2,0	36,0	0,2045		
Ruy Komei Tezuka Calçada	P1	Campo																																0,0	0	
		Escritório				4,0		2,0					4,0		4,0					4,0		4,0					4,0		4,0			2,0	32,0	0,1818		
Técnico T1	T1	Campo																																0,0	0	
		Escritório			2,0		4,0		2,0			2,0		2,0					2,0		4,0					2,0		4		2,0			26,0	0,1477		
Técnico T2	T2	Campo																																0,0	0	
		Escritório				4,0		4,0				4,0		4,0					4,0				4,0			4,0		4,0		4,0		4,0	40,0	0,2272		
Total		Campo	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0	8,0	4,0	0,0	4,0	4,0	8,0	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	12,0	12,0	12,0	4,0	4,0	96,0	0,5454	
		Escritório	0,0	0,0	18,0	20,0	14,0	14,0	12,0	0,0	0,0	16,0	12,0	12,0	18,0	12,0	0,0	0,0	20,0	16,0	18,0	20,0	20,0	0,0	0,0	14,0	8,0	18,0	8,0	16,0	0,0	14,0	320,0	1,8181		
																														Total P1		350,0	1,9886			
																														Total T1		26,0	0,1477			
																														Total T2		40,0	0,2272			
DESPESAS INDIRETAS																															TOTAL DIA/UNID.		TOTAL MÊS			
Aluguel de Carro		diária					1	1	1	1			1	1														1	1	1	1				10	0,3333
Estadia		dia					1	1	1	1			1	1														2	2	2	2				14	0,4666
Passagem		unid.					1																					1							2	2

<b>Projetista</b>	<b>Data</b>
ENGE CORPS - Corpo de Engenheiros Consultores	
Marcos Oliveira Godoi	

<b>Gerenciadora</b>	<b>Data</b>
Logos-Concremat	

<b>Contratante</b>	<b>Data</b>
Ministério da Integração Nacional	

---

# ***ANEXO I***

## ***TABELA RESUMO DAS PRINCIPAIS SOLICITAÇÕES E ATENDIMENTOS***

---

---

## Controle das Solicitação de Obra através da ATO

Supervisora			Gerenciadora			MI			Assunto				Resposta Engecorps				
doc. Nº	Tipo Carta/email il/ATA	data	doc. Nº	Tipo Carta/email il/ATA	data	doc. Nº	Tipo Carta/email il/ATA	data	Lote	WBS	Estrutura ou elemento	Descrição resumida	doc. Nº	Tipo Carta/email/ Ofício/email/ ATA	data	Resposta Resumo	Obs
SO105/2009	carta	23/3/2009							Lote 1	1200	Canais	Drenos de fundo em seção de corte	NO-001	NTO	25/07/09	1201-NTO-001-R00	ok
	An.Reun	16/2/2009							Lote 1,2	1200	Canais	Otimização material de 3ª	NO-007	NTO	31/08/09	1201-NTO-007-R00	ok
	An.Reun	16/2/2009							Lote 1,2	1300	Aquedutos	Altura pilares 2ª etapa		MMO	05/06/09	1210-MMO-1305-30-04-001	ok
	An.Reun	16/2/2009							Lote 1,2	1200	Canais	Dreno de fundo seção corte em rocha		RT	03/07/09	1210-NTC-1201-00-40-002	ok
Sol. ATO		5/12/2009							Lote 1, 2	1200	Canais	Geocomp. drenante alt. Ao finger		NTC	19/06/09	1210-NTC-1201-00-40-001	ok
Sol. ATO		17/3/2009							Lote 1, 2	1200	Canais	Tubo helicoidal dreno de fundo e saída		REL	21/08/09	1210-REL-1051-00-40-009	ok
Sol. ATO		3/11/2009							Lote 2	1214	Canal 10	Consolidação do traçado	NO-005	NTO	23/07/09	1201-NTO-005-R00	ok
Sol. ATO		5/5/2009							Lote 1,2	1200	Canais	Substituição de areia por pó de pedra	NO-003	NTO	08/06/09	1210-NTO-003-R00	ok
Sol. ATO		20/7/2009							Lote 1	1209	Canal 05	Relocação de bueiros	NO-004	NTO	22/07/09	1201-NTO-004-R00	ok
Sol. ATO		20/7/2009							Lote 1	1305	Aq. Logradouro	Reaterro das cavas	NO-006	NTO	06/08/09	1201-NTO-006-R00	ok
Sol. ATO	e-mail	19/6/2009							Lote 2	1214	Canal 10	Alteração bueiros B4 e B13			27/08/09	1210-NTC-1201-00-40-004	ok
Sol. ATO	e-mail	22/6/2009							Lote 1,2	1200	Canais	Posição das passarelas			22/06/09	respondido por e-mail	ok
Sol. ATO	e-mail	25/5/2009							Lote 1	1208	Canal 04	Correção cota e deslocamento de bueiro			12/05/09	respondido por e-mail	ok
Sol. ATO	e-mail	16/6/2009							Lote 1,2	1300	Aquedutos	Reforço apoio e troca de apoio			07/07/09	emitidas revisões de forma e armação	ok
Sol. ATO	e-mail	24/6/09							Lote 1	1306	Aq. Saco Serra	Revisão fundações			15/07/09	desenho revisado	ok
						Sol. ATO	e-mail		Lote 1	1305	Aq. Logradouro	Esclarecimentos Aq.Logradouro			25/06/09	respondido por e-mail	ok
Sol.ATO	e-mail	29/06/09							Lote3,4	1218	Canal 14	Altura das bermas- revisão de NS			31/07/09	1210-NTC-1201-20-04-003	ok
Sol.ATO	e-mail								Lote 1,2	1200	Canais 07 e 08	Estaqueamento			07/07/09	respondido por e-mail	ok
Sol.ATO	e-mail	8/3/2009							Lote 3,4	1200	Canais	Alteração de bueiros e outros				aguarda autorização para prosseguir	pendente
Sol.ATO	e-mail	27/7/2009							Lote 2	1211	Canal 07	Travessia braço direito Rio Terra Nova				em elaboração desenho 1210-DEP-1221-04-02-004 e outros	ok
Sol. ATO	e-mail	22/7/2009							Lote 1	1305	Aq. Logradouro	Relatório Vecctor liberação fundações			31/08/09	1210-REL-1201-00-40-006	ok

---

## ***ANEXO II***

# ***DOCUMENTOS EMITIDOS NO PERÍODO***

---

---





**ENGE CORPS**  
corpo de engenheiros consultores

**CONTRATO Nº 30/2007 – Projeto de Integração do Rio São  
Francisco – Projeto Executivo – Lote A**

**Nota de Obra - ATO**

**Assunto:** AQUEDUTO LOGRADOURO 06

**Nº 1201-NT0-006-R00**

**Data:** 6.8.2009

**REATERRO DAS CAVAS DAS SAPATAS**

**Fl.** 1 / 2

**Anotações:**

A ENGE CORPS apresenta detalhamento para o reaterro das cavas de escavação para execução das sapatas,

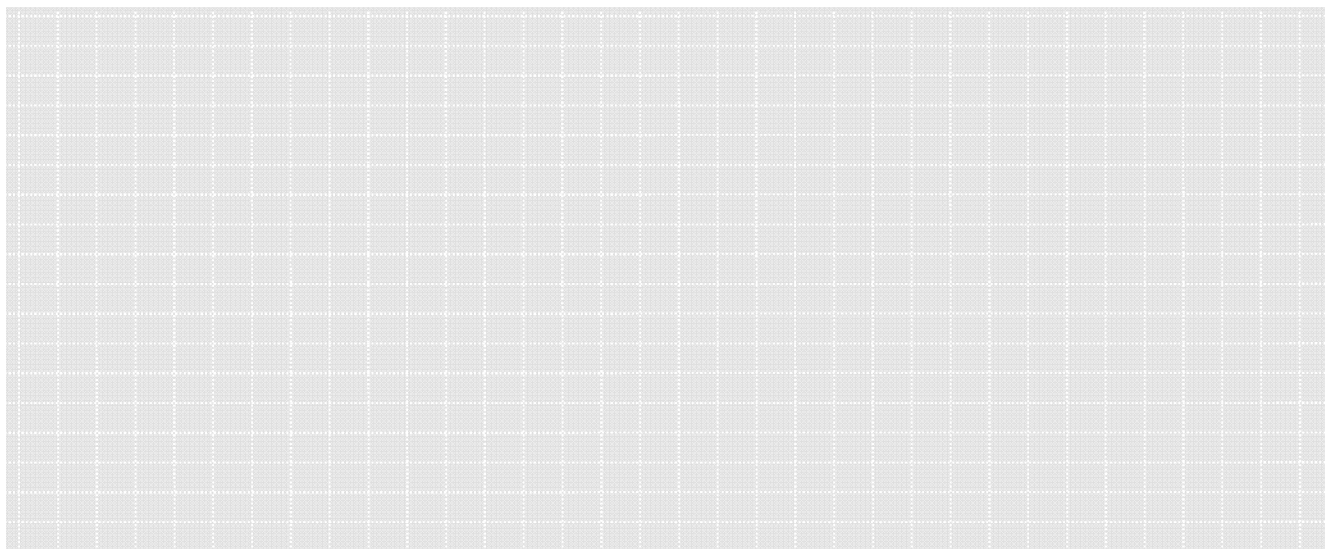
tendo em vista que houve preenchimento parcial das mesmas com areia artificial.

Deverão ser obedecidas as notas e as faixas granulométricas apresentadas no desenho 1210-DEP-1305-04-02-003 R4

folhas 1 e 2.

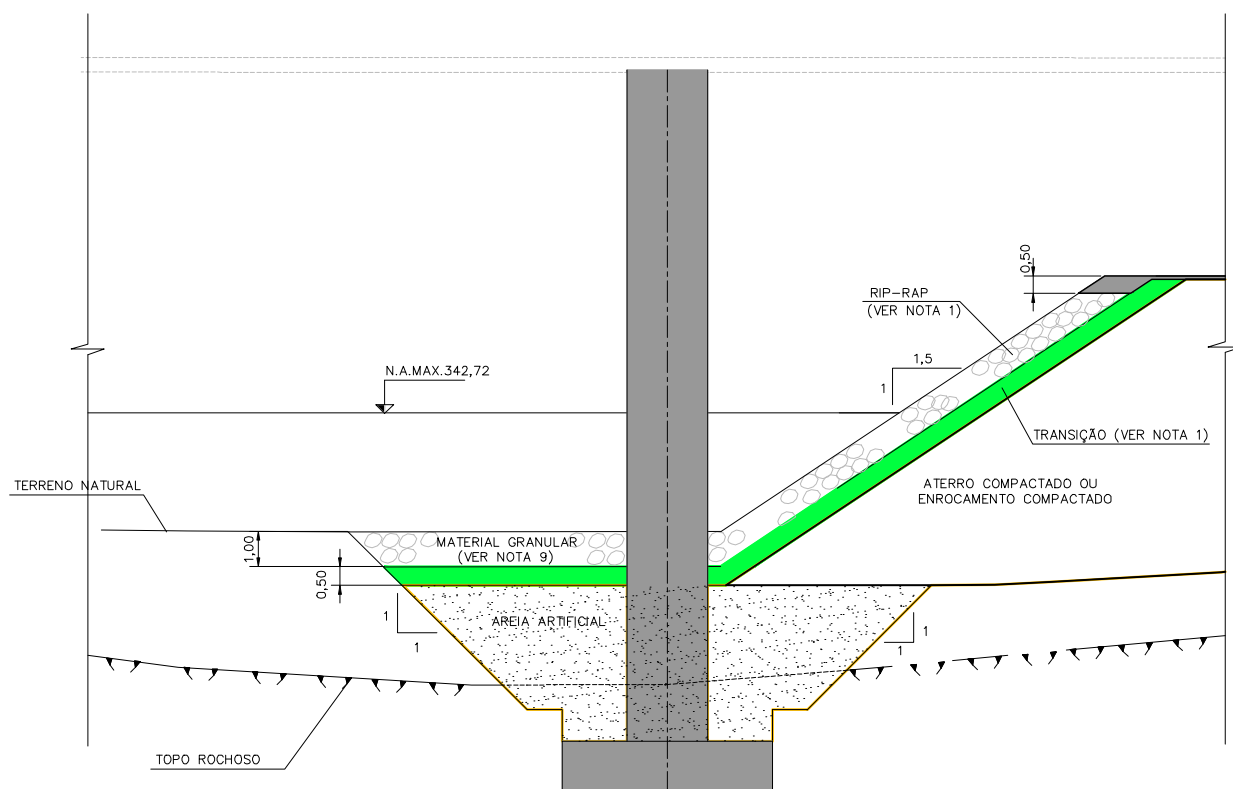
Anexo seções típicas.

**Croqui**

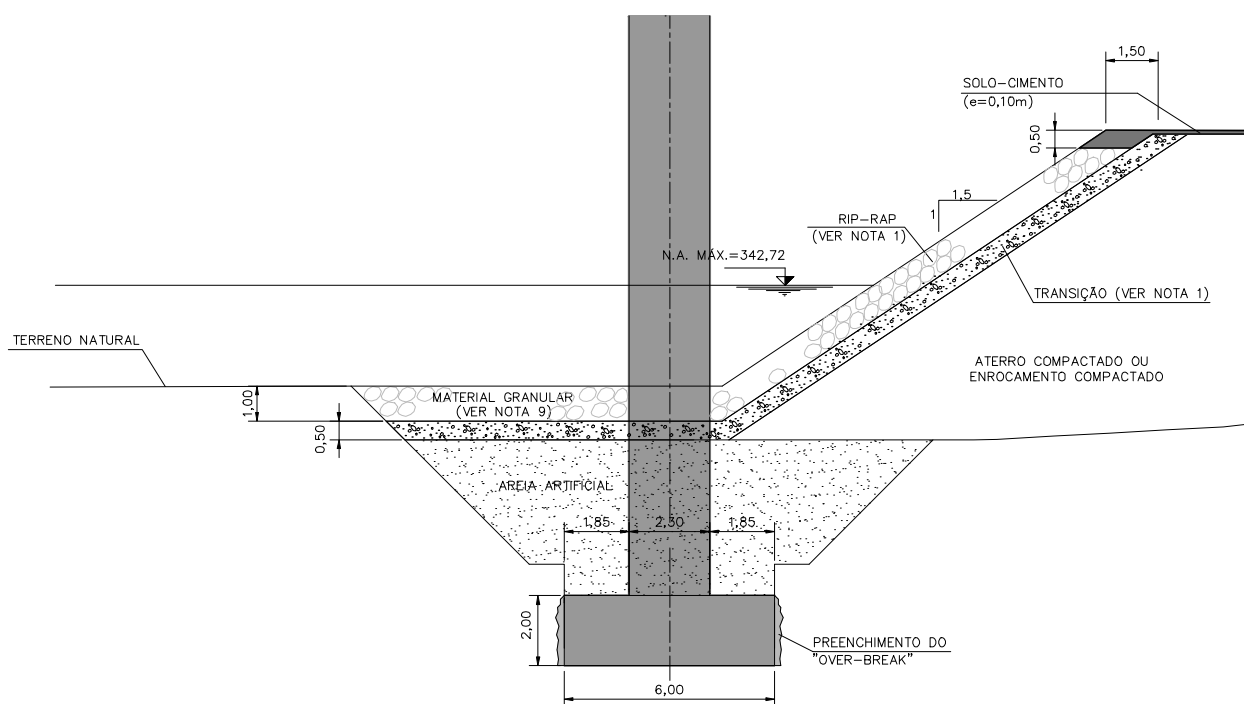


**Responsável:**

LUÍS HONORATO F. MOURARIA



**SEÇÃO TÍPICA**  
ESC. 1:100



**SEÇÃO TÍPICA**  
ESC. 1:100

**NOTA**

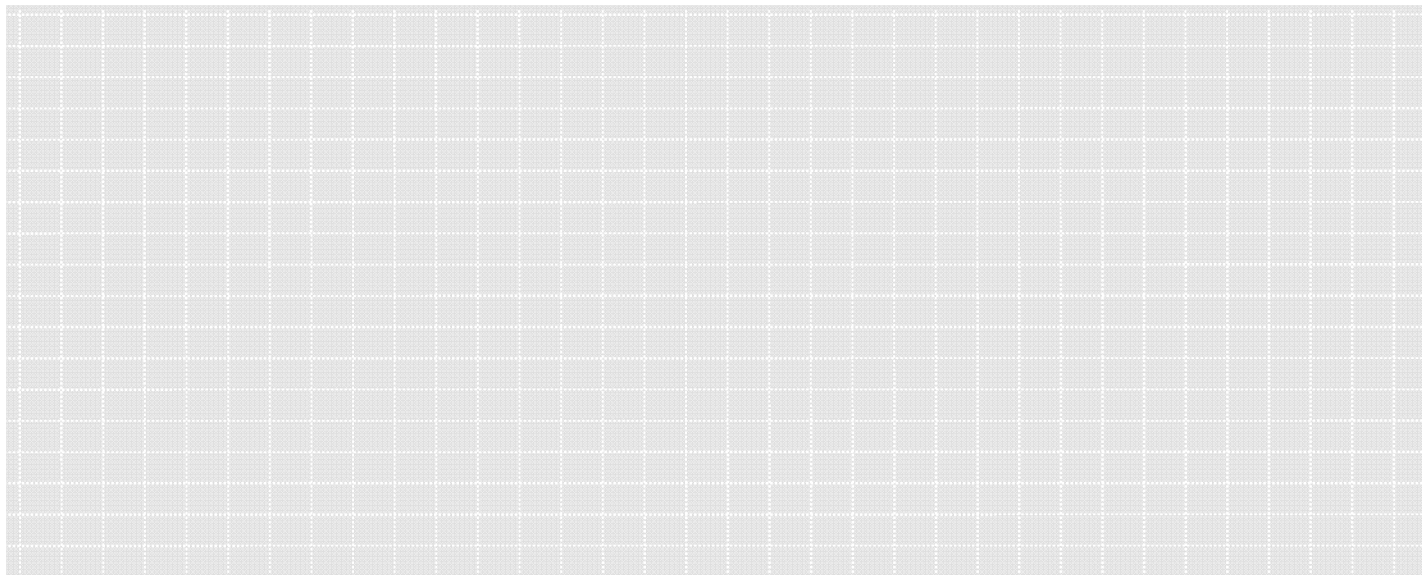
1- NO CASO DE ENROCAMENTO COMPACTADO, AS CAMADAS DE TRANSIÇÃO E DE RIP-RAP SÃO DESNECESSÁRIAS.

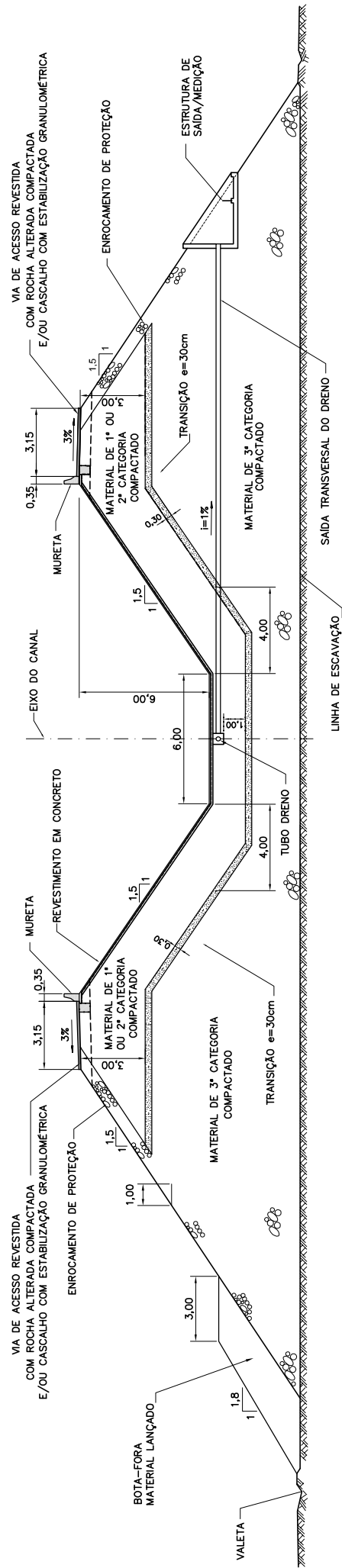
**Nota de Obra - ATO ( )****Assunto: CANAL EM ATERRO 07****Nº 1201-NT0-007-R00****Data: 31/08/09****SEÇÃO ALTERNATIVA COM MATERIAL DE 3ª CATEGORIA****Fl. 2 / 2****Anotações:**

A ENGEORPS apresenta através desta Nota de Obra, seção típica alternativa em aterro com otimização de utilização de material de 3ª categoria.

O assunto em questão será objeto de emissão de Nota Técnica por parte da ENGEORPS .

Anexo croquis.

**Croqui****Responsável: LUÍS HONORATO FERREIRA MOURARIA**



SEÇÃO TÍPICA ALTERNATIVA EM ATERRO  
COM OTIMIZAÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE MATERIAL DE 3ª CATEGORIA

0	31/08/2009	E	Emissão inicial		
REVISÃO Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES		
Tipo de Emissão	A. Preliminar B. Para Aprovação C. Para Conhecimento	D. Para Cotação E. Para Construção F. Conforme Comprado	G. Conforme Construído H. Cancelado I. De Trabalho		
 <b>ENGECORPS</b> corpo de engenheiros consultores					
PROJETO:	REG 	RKC 	ASM  DATA: 31/08/09		
PROJETISTA:			DATA: 31/08/09		
VERIFICAÇÃO:	ACMM 	PACL 	DATA: 31/08/09		
APROVAÇÃO:	MOG 	DATA: 31/08/09			
 <div style="text-align: center;"> <b>MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL</b>  <b>PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO</b>  <b>COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO</b>  <b>NORDESTE SETENTRIONAL</b> </div>					
<b>PROJETO EXECUTIVO - LOTE A</b>					
<b>NOTA TÉCNICA</b> <b>ATO OBRAS CIVIS - AQUEDUTO LOGRADOURO - ANÁLISE DO RELATÓRIO DE LIBERAÇÃO DAS</b> <b>FUNDAÇÕES</b>					
	DATA	RUBRICA	APROVAÇÃO	DATA	RUBRICA
PROJETISTA			Logos-Concremat		
DESENHISTA			Logos-Concremat		
VERIFICADO					
ESCALA	CLIENTE				
	DOCUMENTO Nº				REVISÃO
	PROJETISTA: <b>885-MIN-ISF-NT-A0021</b>				<b>0</b>
	CLIENTE: <b>1210-NTC-1201-00-40-006</b>				

---

# **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 OBRAS CIVIS AQUEDUTO LOGRADOURO – ANÁLISE DO RELATÓRIO DE LIBERAÇÃO DAS FUNDAÇÕES***

885-MIN-ISF-NT-A0021  
1210-NTC-1201-00-40-006  
Agosto/2009  
Rev. 0

---

*ÍNDICE*

	<i>PÁG.</i>
<i>1. OBJETIVO .....</i>	<i>3</i>
<i>2. HISTÓRICO.....</i>	<i>3</i>
<i>3. ESTUDOS E ANÁLISES REALIZADOS.....</i>	<i>3</i>
<i>4. CONCLUSÕES .....</i>	<i>4</i>

*ANEXO I - CARTA 012/2009 E RELATÓRIO CCN-032-090430*

## **1. OBJETIVO**

Esta nota técnica tem por objeto o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias do Nordeste Setentrional – Projeto Executivo do Trecho I e por objetivo a apresentação das análises realizadas, dentro do escopo dos serviços de ATO, para o relatório de liberação das fundações do Aqueduto Logradouro.

## **2. HISTÓRICO**

O projeto das fundações do Aqueduto Logradouro foi elaborado pela ENGECORPS e apresentado em vários desenhos (implantação, geotecnia/geologia, forma e armadura). Em particular, os desenhos de implantação (planta e cotas de fundação), de seções geológicas e a memória de cálculo são os seguintes:

- a) 1210-DEP-1305-04-81-001 – Aqueduto Logradouro – Investigações Geológico-Geotécnicas – Planta e Perfil Longitudinal
- b) 1210-DEP-1305-30-16-001 – Aqueduto Logradouro – Implantação – Planta e Seção Longitudinal
- c) 1210-DEP-1305-30-27-001 – Aqueduto Logradouro – Locação dos Pilares e das Sapatas – Planta e Seção Longitudinal – Planta e Seção Longitudinal
- d) 1210-MMO-1305-30-05-001 – Aqueduto Logradouro – Memória de Cálculo

O relatório de liberação das fundações em análise, documento nº CCN-032-090430, foi elaborado pela Vecctor Projetos, consultora do Consórcio Construtor dos Lotes 1 e 2 (CCASF). Esse relatório foi encaminhado à ENGECORPS pela Supervisora no dia 22/07/09. Por sua vez, esse relatório tinha sido encaminhado pelo CCASF à Supervisora no dia 15/07/09, através da carta nº 012/2009 do CCASF.

A solicitação para esta análise foi feita pela Supervisora dos Lotes 1 e 2 (Sondotécnica). No Anexo I estão apresentados o citado relatório e a carta de encaminhamento do CCASF à Supervisora.

## **3. ESTUDOS E ANÁLISES REALIZADOS**

Após a análise do relatório, a ENGECORPS tem as seguintes observações e comentários técnicos a respeito:

- a) O relatório elaborado pela Vecctor Projetos corresponde às visitas técnicas de inspeção das escavações para execução das sapatas de fundação do Aqueduto Logradouro. Essas visitas da equipe da Vecctor foram realizadas nos dias 07/04/09, 08/04/09, 22/04/09 a 25/04/09.
- b) Os documentos de projeto utilizados pela Vecctor nas suas análises das condições de fundação foram os documentos **a** e **c** mencionados no item 2.



- c) Foram inspecionadas pela Vecctor todas as escavações de apoio dos pilares, ou seja, do pilar P1 ao pilar P8, sendo feita uma classificação geológico-geotécnica dos materiais de fundação encontrados.
- d) As cotas de apoio das sapatas, conforme previstas no projeto e apresentadas no desenho 1210-DEP-1305-30-27-001, são as seguintes:
- ✧ Pilares P1 e P2 – cota 336,75m
  - ✧ Pilares P3 e P4 – cota 332,30m
  - ✧ Pilares P5 e P6 – cota 332,30m
  - ✧ Pilares P7 e P8 – cota 336,00m
- e) Ao final dessas inspeções, a Vecctor liberou para execução das sapatas nas seguintes cotas de fundo, conforme informadas em email enviado pela Supervisora em 11/05/09:
- ✧ Pilares P1 e P2 – cota 337,630m
  - ✧ Pilares P3 e P4 – cota 334,467m
  - ✧ Pilares P5 e P6 – cota 336,260m
  - ✧ Pilares P7 e P8 – cota 337,341m

## **4. CONCLUSÕES**

De acordo com o relatório de inspeção das escavações das fundações do Aqueduto Logradouro, as cotas de fundo para as sapatas dos pilares foram liberadas em campo de forma a satisfazer os requisitos estabelecidos em projeto, em termos do material de apoio e do valor da tensão admissível.

Pode-se observar, através da comparação entre as cotas de apoio citadas nos subitens **d** e **e** do item 3 deste relatório, que as cotas liberadas no campo foram sempre superiores às indicadas em projeto, não implicando em necessidade de alterações e/ou ajustes no projeto elaborado.

# **ANEXO I**

## **CARTA 012/2009 E RELATÓRIO CCN-032-090430**

---

---



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

---

CONSÓRCIO CONSTRUTOR ÁGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 01

PACOTE – 1410

---

CARTA Nº 012/2009

DATA : 15/07/2009

Folha: 01/10

---

DE: Eng. Gustavo Goltsman – Gerente de Contrato - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

---

Para: Engº. Silvio Paschoalin - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 01

---

CC: Engº. Antonio Luitgards – Coordenador dos Gestores – MI

Engº. Noel Carlos Fernandes Freire – Gestor do Contrato – MI

Engº. Frederico Fernandes – Fiscal de Contrato – MI

Engº. Ricardo Taboza – Supervisor de Contrato – Gerenciadora

---

Assunto: Encaminha o Relatório nº CCN – 032- 090430 da Vector Projetos Ltda.

---

Prezado Silvio,

Conforme solicitado em sua correspondência nº 574/09-PIS01 E 1943.8/0128 encaminhamos em anexo o relatório nº CCN-032-090430 da Vector Projetos Ltda. que versa sobre a situação das cavas de fundação do aqueduto Logradouro.

Sem mais para o momento,

Atenciosamente

  
Gustavo Goltsman

Gerente de Contrato

Recebido em

15/07/09

SONDOTÉCNICA

15:40h

São Paulo, 29 de Abril de 2009.

## **CONS. CONSTRUTOR ÁGUAS DO S. FRANCISCO**

Projeto de Integração do Rio São Francisco  
com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional  
Cabrobó-PE

At.: Dr. Gustavo Goltsman  
Dr. Sérgio Guilherme Blauth  
Eng. André Luiz Teodoro

Ref.: Relatório da Visita em Abril/2009  
Aqueduto Logradouro.

### **1 INTRODUÇÃO**

O presente relatório tem por objetivo apresentar nossos comentários relativos à visita realizada dos dias 7 a 8 e 22 a 25 de abril à obra de implantação do Aqueduto Logradouro, que faz parte do Projeto de Transposição e de Águas do Rio São Francisco.

Durante a visita realizada foram inspecionadas as escavações para a implantação das fundações diretas do Aqueduto Logradouro. No momento da visita, as escavações encontravam-se concluídas, após o registro de 2m de embutimento em rocha sã, conforme o projeto. É importante ressaltar que a cota de implantação das fundações prevista em projeto era mais profunda.

### **2 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

Para a avaliação das condições locais foram utilizados os seguintes documentos:

- Desenho de projeto 1210-DEP-1305-04-81-001-R01 (Investigações Geológico-Geotécnicas – Planta e Perfil Longitudinal);
- Desenho de projeto 1210-DEP-1305-30-27-001-R01 (Locação de Pilares e Sapatas – Planta e Seção Longitudinal).

### 3 OBSERVAÇÕES E COMENTÁRIOS RELATIVOS À VISITA

Foram vistoriados 4 apoios, referentes aos pilares P1-P2, P3-P4, P5-P6 e P7-P8. No momento de nossa visita as cavas a serem vistoriadas estavam preenchidas por material solto (blocos de rocha, areia e lama) e água. Por este motivo, durante três dias foram executados serviços de limpeza para que fossem removidos o material detritico e a água dos apoios escavados. Ao término destes procedimentos, as superfícies dos apoios puderam ser vistoriadas.

A cava dos pilares P3-P4, no entanto, não pôde ser totalmente descoberta até o final de nossa estadia na obra, resultando em cerca de 30% de material rochoso exposto, que permitiu a vistoria parcial do apoio.

Com relação ao tipo de material de apoio e sua capacidade de carga constatou-se o seguinte:

- A superfície de assentamento de todos os apoios consiste de gnaiss granítico são, compatível com a descrição do desenho 1210-DEP-1305-81-04-001, que apresenta forte anisotropia, de modo que ocorrem estratos que apresentam estruturação oblíqua à superfície do apoio (mergulhando cerca de 30° para NE). A rocha é intensamente fraturada, motivo pelo qual ocorre sobre-escavação do material.
- Este material atende aos requisitos de projeto acerca da tensão máxima admissível de 1,5 Mpa. No entanto, ressalta-se que a rocha apresenta intenso fraturamento como propriedade intrínseca. No nosso entendimento, um aprofundamento das cavas não levaria a uma redução significativa da quantidade de fraturas do maciço.

As fraturas observadas ocorrem em, principalmente, quatro famílias bem ressaltadas em campo, apresentando sempre superfície lisa, reta, com persistência de vários metros, espaçamento variável ao longo do maciço (entre decimétrica e métrica). A primeira família é paralela ao bandamento, com direção média aproximada N120/35NE. Ocorrem duas famílias sub-verticais, com orientações médias aproximadas de N-S/86E e N70/80SE, e por fim uma família de direção média aproximada N120/45NW (ver estereograma da figura 1).





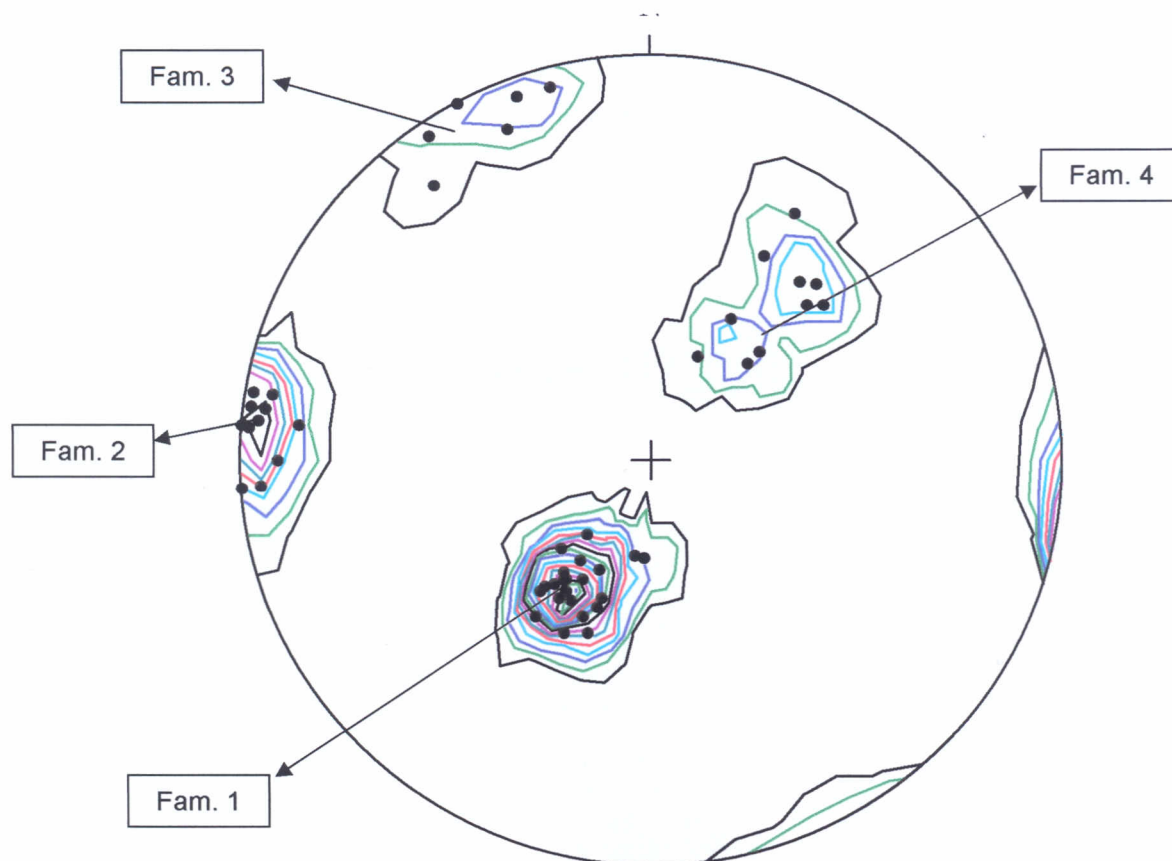


Figura 1 – Estereograma com a indicação das principais famílias de fraturas observadas.

Ocorrem também singularidades na rocha e no comportamento hídrico do local. Não são problemas que afetem a capacidade de carga do maciço, mas merecem atenção:

- Notou-se a ocorrência de camadas de material pouco alterado em bandas paralelas à estruturação principal da rocha (oblíqua à superfície), compostas por biotita-xisto com espessura variável entre 2 e 30cm. Este material é recorrente no maciço rochoso, ocorrendo em intervalos irregulares entre 3 e 8m de espaçamento. Estas camadas foram observadas nas campanhas de investigação, nas sondagens SM-ALD-02 e 03 (Foto 1).
- No apoio dos pilares P5-P6 foram observadas, na parede sudoeste, duas fraturas preenchidas por material argiloso, mole, de 2 a 15cm de espessura. Estas fraturas apresentam mergulho para sudoeste, ou seja, para fora do apoio, e seu traço ocorre fora da área apoiada (conforme marcado pela topografia), portanto não deverão ocorrer problemas geotécnicos futuros decorrentes da presença desta singularidade.
- É notável a surgência d'água em praticamente todos os apoios em profundidades entre 2 e 5m abaixo do terreno natural. O fluxo se dá principalmente através do aquífero fraturado da rocha, e subordinadamente através do aquífero sedimentar das areias

9/8 2002

aluvionares inconsolidadas. Como resultado, foi necessária a ação contínua de bombeamento de água para fora das valas escavadas.

As avaliações da qualidade do maciço rochoso baseiam-se em observações de superfície.

As cotas relativas ao topo rochoso apresentam-se significativamente acima daquelas previstas em projeto, conforme indicado de forma aproximada na tabela apresentada a seguir:

Apoios	Cota de projeto para apoio das sapatas	Cota média do topo rochoso
1 e 2	336,75	341,0
3 e 4	332,3	337,9
5 e 6	332,3	339,5
7 e 8	336,0	340,0

Recomendou-se que a projetista seja consultada para avaliar as diferenças de cota entre o topo rochoso de projeto e o real.

Atenciosamente,

Werner Bilfinger / Bruno Salmoni



## Anexo Fotográfico

*pan*



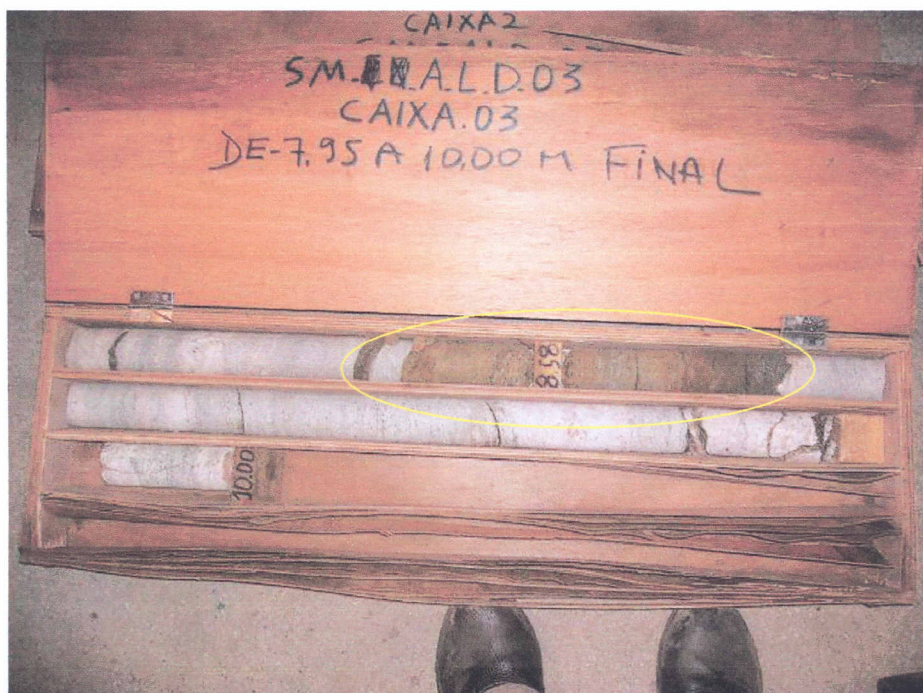


Foto 1 – Sondagem SM-ALD-03 com presença de camada de biotita de cerca de 40cm de espessura aos 8,5m de profundidade.



Foto 2 – Situação do maciço rochoso local: gnaiss com estruturação oblíqua à superfície. Situação do apoio dos pilares P7-P8 imediatamente antes da concretagem.

5/10  
m





Foto 3 – Apoio dos pilares P5-P6.



Foto 4 – Apoio dos pilares P1-P2.

7/8

roca





Foto 5 – Apoio dos pilares P3-P4 ao término de nossa visita. A fragmentação superficial da rocha é resultado da atividade das máquinas no local.



Foto 6 – Apoio dos pilares P3-P4 após nossa visita e recomendações de prosseguimento da escavação.

7/8

roca







Foto 7 – Intenso fraturamento do maciço rochoso: nesta imagem, realce das fraturas sub-verticais. Apoio dos pilares P7-P8.



Foto 8 – Banda de biotita xisto. Cava dos pilares P7-P8.

7/8

ou

0	21/08/09	E	Emissão Inicial		
REVISÃO Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES		
Tipo de Emissão	A. Preliminar B. Para Aprovação C. Para Conhecimento	D. Para Cotação E. Para Construção F. Conforme Comprado	G. Conforme Construído H. Cancelado I. De Trabalho		
 <b>ENGECORPS</b> corpo de engenheiros consultores					
PROJETO:	HN <del>HN</del>	PASC 	RKC  DATA: 21/08/09		
PROJETISTA:	-		DATA: 21/08/09		
VERIFICAÇÃO:	ACMM 	PACL 	DATA: 21/08/09		
APROVAÇÃO:	MOG 		DATA: 21/08/09		
 <b>MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL</b> <b>PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO</b> <b>COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO</b> <b>NORDESTE SETENTRIONAL</b>					
<b>ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DAS OBRAS (ATO) - LOTE A</b>					
<b>NOTA TÉCNICA – ATO OBRAS CIVIS</b> <b>ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TUBOS HELICOIDAIS PARA DRENAGEM INTERNA DOS CANAIS</b>					
	DATA	RUBRICA	APROVAÇÃO	DATA	RUBRICA
PROJETISTA			Logos-Concremat		
DESENHISTA			Logos-Concremat		
VERIFICADO					
			CLIENTE		
ESCALA	DOCUMENTO Nº PROJETISTA: <b>885-MIN-ISF-RT-A0017</b> CLIENTE: <b>1210-REL-1051-00-40-009</b>				REVISÃO <b>0</b>

---

# **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 OBRAS CIVIS ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TUBOS HELICOIDAIS PARA DRENAGEM INTERNA DOS CANAIS***

885-MIN-ISF-NT-A0017  
1210-REL-1051-00-40-009  
Agosto/2009  
Rev. 0

---

*ÍNDICE*

	<i>PÁG.</i>
<i>1. OBJETIVO .....</i>	<i>3</i>
<i>2. INFORMAÇÕES E DADOS RECEBIDOS .....</i>	<i>3</i>
<i>3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</i>	<i>4</i>
<i>ANEXO 1 - MEMÓRIAS DE CÁLCULO RECEBIDAS.....</i>	<i>5</i>

## 1. OBJETIVO

Esta nota técnica tem por objeto o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias do Nordeste Setentrional – Projeto Executivo do Trecho I e por objetivo a apresentação das análises realizadas, dentro do escopo dos serviços de ATO, com relação à possibilidade de utilização de tubos helicoidais para os sistemas de drenagem interna projetados ao longo dos canais do Lotes 1, 2, 3 e 4.

A solicitação para esta análise foi feita pela Supervisora dos Lotes 1 e 2 (Sondotécnica). Deve-se observar que a presente análise poderá ser estendida aos canais dos lotes 3 e 4.

## 2. INFORMAÇÕES E DADOS RECEBIDOS

A Supervisora solicitou à ENGEORPS, através do memorando nº 220/2009, uma análise de alternativa de concepção para o sistema de drenagem interna do canal. Após uma série de estudos e análises, a ENGEORPS enviou por email, no dia 09/07/09, a Nota Técnica: Colchão Drenante – Alternativa para Escavação da Drenagem Interna nos Trechos em Rocha (documento nº1210-NTC-1201-00-40-002-R0), disponibilizada no Construmanager no dia 03/07/09.

Deve-se observar que a capacidade de vazão para os tubos, apresentada nessa nota técnica, foi calculada para tubos de concreto (coeficiente de Manning = 0.018). Se forem utilizados outros tipos de tubos, tais como os produzidos pelos fabricantes Kanaflex e TDM, para os quais o coeficiente de Manning situa-se numa faixa entre 0,010 e 0,012, as capacidades de vazão dos tubos passam para os valores indicados na tabela a seguir:

<i>Capacidade drenante – <math>y/D = 95\%</math></i>				
<i>Diâmetro Interno</i>				
mm		300	400	500
m		0,30	0,40	0,50
i	Manning (n)	Vazão (l/s)		
0,01%	0,010	13,50	29,09	52,75
	0,012	11,25	24,24	43,95
	0,018 (concreto)	7,50	16,16	29,30

A Supervisora dos Lotes 1 e 2 (Sondotécnica) solicitou também, através do memorando nº 218/2009, uma análise da utilização de tubos helicoidais (corrugados ou lisos) para o sistema de drenagem interna, em função da classificação necessária aos tubos de concreto armado tradicionais. Para tanto, a Supervisora solicitou o envio pela ENGEORPS dos valores das vazões calculadas para os trechos dos canais CN-02 ao CN-07, o que foi feito através de email enviado à Supervisora no dia 09/07/09, na forma de planilhas contendo a vazão calculada para seções transversais situadas a cada estaca inteira (de 20,0m em 20,0m).



A Supervisora enviou duas memórias de cálculo, preparadas pelo consultor da Construtora, a respeito desse assunto. Assim sendo, as análises realizadas pela ENGECORPS foram feitas em duas etapas: a 1ª etapa correspondeu à análise da possível utilização dos tubos helicoidais como tubos-dreno. A 2ª etapa correspondeu à análise da possível utilização desses tubos como saídas laterais (transversais).

Em ambas as memórias de cálculo apresentadas, cujos estudos estão detalhados de forma satisfatória, os casos estudados contemplaram uma análise estrutural desses tubos, que atendem às exigências do projeto, desde que sejam mantidas as soluções de assentamento e envolvimento previstas no projeto.

### **3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Com relação aos aspectos estruturais, os tubos atendem às exigências estabelecidas no Projeto Executivo, desde que seja executada de maneira satisfatória a compactação do material de assentamento dos tubos, que deverá ser de moderada (grau de compactação de 85 a 95%) a boa (grau de compactação superior a 95%), e que sejam mantidas as soluções de assentamento e envolvimento previstas no projeto.

Com relação aos aspectos hidráulicos, a Construtora deverá realizar o dimensionamento desses tubos, com base nos valores de vazões encaminhados pela Projetista à Supervisora.

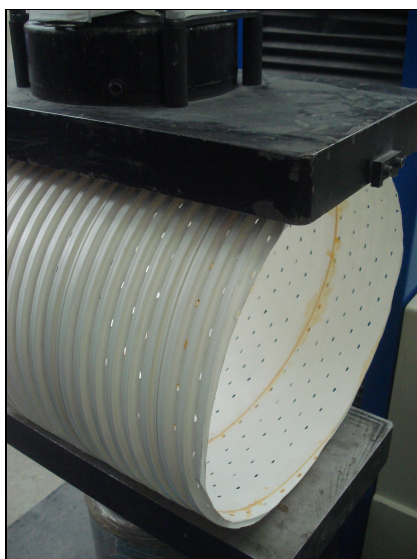
# **ANEXO 1**

## **MEMÓRIAS DE CÁLCULO RECEBIDAS**

---

---

## 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

Eng° Luiz Bandeira de Mello Laterza

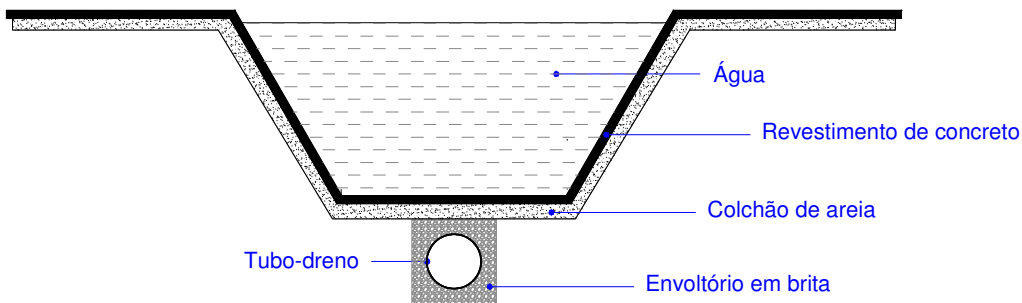
Março de 2009

## PARTE 1

### Tubos perfurados sob o canal (Tubos-Dreno)

## 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<sup>2</sup>.

### 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,

$\Delta y$  = deformação diametral (m)

D = diâmetro da tubulação (m)

K = Constante de assentamento (adimensional)

p = carga permanente (kN/m<sup>2</sup>)

q = carga acidental (kN/m<sup>2</sup>)

R<sub>A</sub> = rigidez anular da tubulação (kN/m<sup>2</sup>)

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<sub>A</sub>) 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.

Tira Perfilada	Diâmetro (mm)	Rigidez Anelar (N/m/m)
84 BR1	250	812
	300	514
112 BR1	350	1758
	400	1348
	450	1041
140 BR1	500	1510
	550	1220
	600	995

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 de PVC estruturados, 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

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<sup>2</sup>.

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 ( $E' = 2.800$  kPa), ainda assim teríamos deformações diametraais 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;  
 $\nu$  = coeficiente de Poisson do material (PVC);

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 ( $71 \text{ kN/m}^2$ ).

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 <sup>2</sup> /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

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 <sup>2</sup>
	Interno	Externo	Linha Neutra	Tensão na parede
	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)
84 BR1	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

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:

$\varepsilon$  = alongamento unitário das fibras

$\Delta y$  = 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	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%

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:

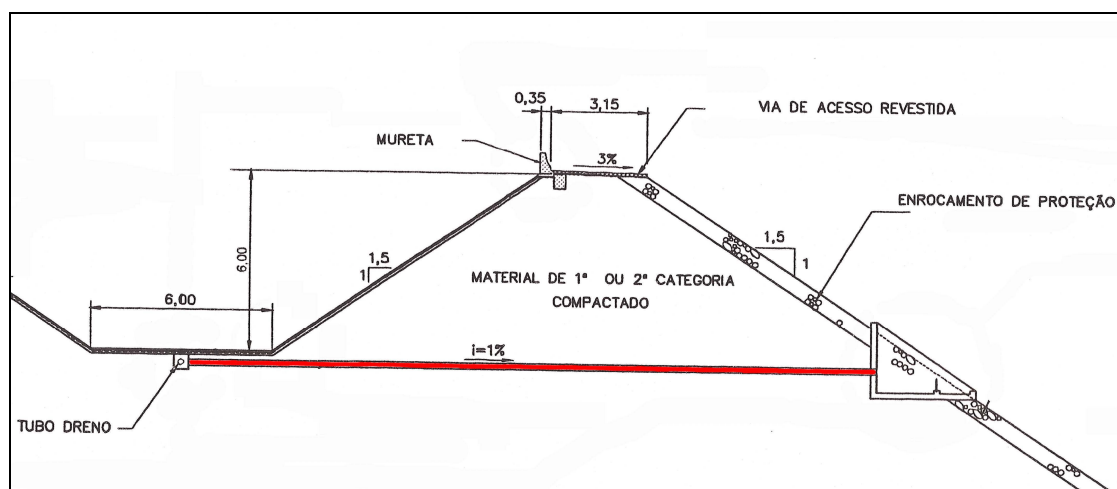
critério de projeto	unidade	valor máximo	limite	Coef. Segurança
deformação diametral relativa	(%)	1,6	< 7,5	4,6
instabilidade elástica (pressão de colapso)	kN/m <sup>2</sup>	71	< 249	3,5
compressão da parede	MPa	8,4	< 32	3,8
alongamento unitário das fibras	(%)	0,36	< 2,5	6,9

## PARTE 2

### Tubos não-perfurados sob o aterro (Saídas Laterais)

## 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  $22 \text{ kN/m}^3$ .

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

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

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

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

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

### 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 <sup>2</sup> /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 2xDE) 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<sup>2</sup>.

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 diametraís 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/m<sup>2</sup>) 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:

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

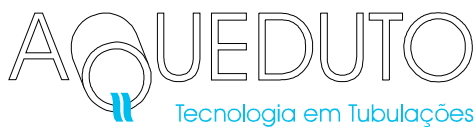
$$P_{cf} = 529,52 \text{ kN/m}^2$$

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 ( $145 \text{ kN/m}^2$ ).

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  $3.300 \text{ kN/m}^2$ .

### 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 <sup>2</sup>	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, 15 de Março de 2009

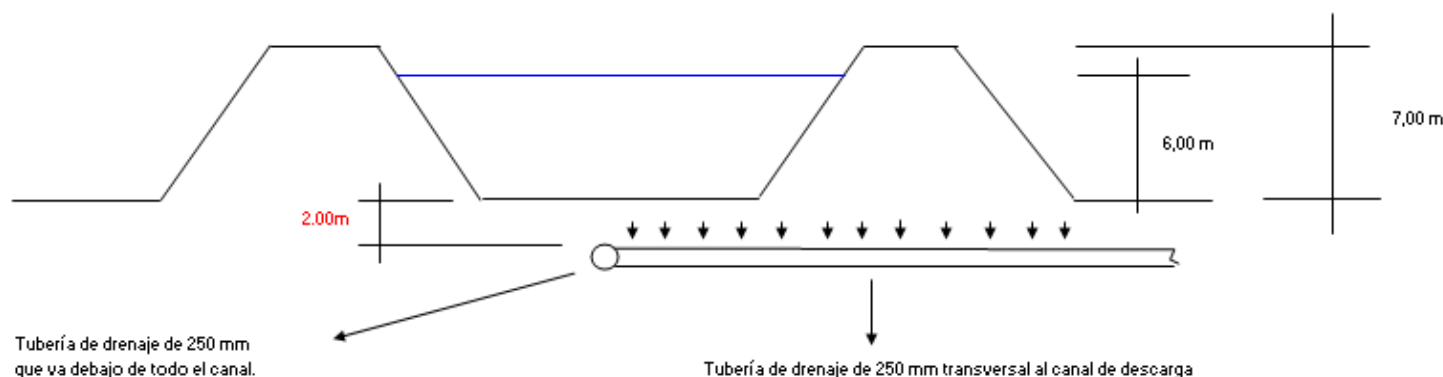
Luiz Bandeira de Mello Laterza  
Engenheiro Civil – CREA 0600928360  
Mestre em Engenharia de Construção Civil  
Doutor em Engenharia Mecânica

## **MEMÓRIA DE CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DE SUPORTE DE CARGA PARA** **TUBO ADS - D=250mm**

O presente documento tem por finalidade verificar a competência dos tubos corrugados N-12 ADS de diâmetro 250mm para suportar as cargas especificadas no projeto em questão.

As verificações foram feitas obtendo os dados de carga de água do seguinte esquema. A altura de solo desde a face externa do tubo até o fundo do canal foi assumida como 2.00m. e foi considerado um peso específico de 2.0 ton/m<sup>3</sup>. Logo, foi encontrado um valor médio ponderado entre ambos os materiais (água e solo) para encontrar o valor do peso específico equivalente. A altura total considerada foi de 8.00m (6.00m água e 2.00m aterro sobre a face externa do tubo).

Foram convertidas as unidades de peso específico a lb/ft<sup>3</sup>, e altura de aterro a ft (dados de entrada para folha de cálculo “N-12 Burns and Richard Solution”).



Para serem feitas as verificações foi usada a ficha técnica do Anexo 1 (Anexa ao email). “Desempeño estructural de la tubería de polietileno corrugado utilizando la solución de Burns & Richards”. No mencionado documento se sustenta cada parâmetro necessário para o cálculo e anotam-se as fórmulas respectivas usadas no cálculo de verificação.

Os resultados obtidos são o máximo esforço de compressão, o máximo esforço de tensão e a deflexão diametral do tubo. Estes resultados são comparados com os parâmetros recomendados em cada um dos casos. Os resultados da verificação são encontrados na tabela de cálculo do Anexo 2 (Anexa ao email).

## **ANEXO 1**

# Ficha Técnica



## Ficha Técnica 2.130

**Re:** Desempeño estructural de la tubería de polietileno corrugado utilizando la Solución de Burns & Richard.

**Fecha:** James B. Goddard, Norman E. Kampbell y David P. Kozman.

## INTRODUCCIÓN

En 1964, Jerome Burns & Ralph Richard presentaron un documento innovador sobre “Atenuación de Tensiones para Cilindros Enterrados”, el cual significó un mejor entendimiento de los esfuerzos que actúan en una tubería enterrada. El análisis es aplicable a estructuras enterradas profundamente donde la estructura está hecha de un material elástico y el suelo se considera como un medio elástico. La rigidez circunferencial de la tubería, la resistencia a la flexión de la tubería, la transferencia de carga entre el suelo y la tubería, todas ellas influyen a las cargas, en magnitud y dirección (cargas de tensión o de compresión). La solución es aplicable a cualquier tubería enterrada en un medio linealmente elástico.

Los parámetros del medio elástico son el módulo de elasticidad ( $E'$ ), la relación de Poisson del suelo ( $\mu$ ), el módulo de constricción ( $M'$ ) y la relación de esfuerzo lateral ( $K$ ). Estos parámetros se relacionan con las siguientes ecuaciones:

$$M' = - \frac{E'(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} \quad (1)$$

$$K = \frac{\mu}{(1 - \mu)} \quad (2)$$

Se relacionan dos constantes adicionales a la relación de esfuerzo lateral:

$$B = \frac{1}{2}(1 + K) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{1 - \mu} \right) = \text{Radio de esfuerzo lateral simétrico} \quad (3)$$

y

$$C = \frac{1}{2}(1 - K) = \frac{1}{2} \left( \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \right) = \text{Radio de esfuerzo lateral asimétrico} \quad (4)$$

Los parámetros de la tubería son el radio medio del tubo, la rigidez circunferencial, y la rigidez del tubo (resistencia a la flexión). La rigidez circunferencial (o rigidez de compresión del aro) resulta de la ecuación:

$$K_{rc} = \frac{E_{rc} A}{R} \quad (5)$$

Donde:  $E_{rc}$  = el módulo de compresión del material del tubo (psi)  
 $A$  = el área unitaria de la pared del tubo (plg<sup>2</sup>/plg)  
 $R$  = el radio medio (plg)

La rigidez del tubo ( o rigidez de flexión del aro o rigidez a la flexión) resulta de la ecuación:

$$K_f = \frac{6E_f I}{R^3} \quad (6)$$

Donde:

$E_f$  = módulo de Flexión (psi)  
 $I$  = momento de inercia de la pared del tubo (plg<sup>4</sup>/plg)  
 $R$  = radio medio (plg)

Los parámetros de interacción suelo-estructura se definen como la relación de flexibilidad del aro, UF, donde:

$$UF = \frac{2BM'R}{EA} = \frac{(1+K)M'R}{EA} \quad (7)$$

y la relación de flexibilidad de doblado, VF, donde:

$$VF = \frac{2CM'R^3}{6EI} = \frac{(1-K)M'R^3}{6EI} \quad (8)$$

UF es una medida de la flexibilidad relativa del tubo y el suelo bajo cargas uniformes de interacción. VF es una medida de la flexibilidad relativa del tubo y el suelo bajo cargas de interacción radiales y tangenciales variables.

## DATOS DE ENTRADA AL ARCHIVO

El archivo incluido, Solución Burns & Richard.xls, requiere que se proporcionen las propiedades y dimensiones del tubo y el suelo.

Los datos del tubo son:

Diámetro exterior (D) en pulgadas  
 Espesor (t) en pulgadas- esto es el espesor total de la pared  
 Área unitaria de la pared (A) en plg<sup>2</sup>/plg  
 Momento de inercia (I) en plg<sup>4</sup>/plg  
 Módulo de flexión (E') en psi – para la resina; típicamente 110,000 psi para HDPE

Módulo de compresión ( $E_{rc}$ ) – para HDPE; típicamente  $>110,000$  psi  
Distancia del diámetro interior al eje neutral (c) en pulgadas

Los datos del suelo a proporcionar son:

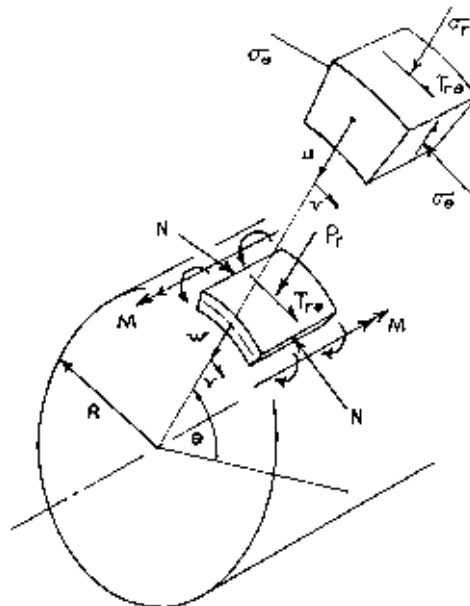
**Modulo de elasticidad del suelo en psi:** típicamente basado en valores  $E'$  del programa CANDE y del trabajo de Duncan y Hartley. Los valores del modulo de suelo se muestran en la Tabla 1 del programa CANDE.

**Radio de Poisson ( $\mu$ ):** variando típicamente de 0.30 a 0.35 para buen suelo granular a 0.30 a 0.40 para suelos mixtos, a 0.35 a 0.40 para suelos cohesivos. Para agregados densos, graduados, altamente compactados la relación de Poisson pudiera ser tan bajo como 0.2, pero esos serían casos especiales. CLSM o CDF pudieran dar valores tan bajos como 0.15.

**Peso unitario del suelo (densidad):** variando de 100 a 150 lb/pie<sup>3</sup>, dependiendo en el tipo de suelo y el grado de compactación ( en casos especiales, como en los rellenos puede variar ampliamente, tan bajo como 40 lb/pie<sup>3</sup>), la profundidad en pies del relleno por encima de la corona del tubo para la instalación.

## RESULTADOS

Después de haber llenado las listas con los anteriores datos, los resultados se proporcionan del eje horizontal (0°) a la corona (90°) al eje horizontal (180°). La presión radial del suelo ( $P_r$ ), la deflexión radial (w) ( incrementada al doble para proporcionar la deflexión total), la deflexión tangencial (v), el empuje circunferencial de la pared (N), y el momento de flexión de la pared (M) se calculan utilizando el análisis de Burns & Richard (ver Figura 1). De éstos resultados se generan, el esfuerzo de compresión del aro, los esfuerzos de flexión de la pared interior, los esfuerzos de flexión de la pared exterior, el esfuerzo total (paredes interiores y exteriores; ver Figura 2), el esfuerzo de compresión de la pared, el acortamiento del aro, la deflexión vertical total, deflexión horizontal total, y el acortamiento circunferencial.



**Figura 1:** Diagrama de cuerpo libre del perfil de tubo





**Figura 2: Distribución de esfuerzos en el perfil del tubo.**

Puede aprenderse mucho de las graficas de deflexión del tubo contra la rigidez del tubo; momento frente a rigidez de tubo, empuje frente a rigidez de tubo, tensión frente a rigidez de tubo y compresión frente a rigidez de tubo. Al aumentar la rigidez del tubo, lo hace igualmente el momento, empuje, tensión y compresión en la pared del tubo. Todos los demás parámetros se mantienen constantes, al aumentar la rigidez del tubo la deflexión cambia muy poco; es la rigidez del suelo la que define el desempeño a la deflexión. En éstos términos puede decirse que un tubo que es más dúctil es un tubo con más capacidad estructural.

Para el ingeniero de diseño, los limites de deflexión vertical típicamente determinan los límites de diseño; sin embargo, deben revisarse también otros parámetros. El acortamiento circunferencial debe limitarse a menos del 2%. Bajo el esfuerzo total, los esfuerzos de la pared interior y exterior deben limitarse a menos de 1,000 psi de esfuerzo a tensión y/o 3,000 psi de esfuerzo a compresión.

## RESUMEN

Esta hoja de cálculo proporciona una herramienta poderosa para el ingeniero de diseño. Los límites de instalación basados en la deflexión, pandeo y acortamiento circunferencial pueden ser elegidos por el diseñador, basándose en su experiencia en la instalación de tubería. Esta hoja de calculo provee predicciones más acertadas del desempeño de la tubería que con los métodos tradicionales, especialmente la “Fórmula Iowa” para los tubos termoplásticos.

Los inconvenientes de la Fórmula Iowa

$$\Delta Y = \frac{W}{(EI R^3 + E')}$$

- son:
1. Se supone que la rigidez total (resistencia a la deformación) de la interacción suelo-tubo puede estimarse sumando las rigideces del tubo y el suelo. Es mucho más complicado obtener un valor más correcto de la rigidez total.
  2. La rigidez del tubo esta compuesta por la rigidez material (E) y una rigidez geométrica ( $I/R^3$ ). La rigidez del suelo ( $E'$ ) es solamente una rigidez material.

3. La rigidez del suelo ( $E'$ ) se consigue empíricamente calculando a la inversa las instalaciones existentes. Estos datos son de instalaciones con altura de relleno limitada; típicamente 25' (7.62 m) ó menos. Esto significa extrapolar por encima y más allá de los tubos estudiados, procedimiento vulnerable a error. Una sola  $E'$  se utiliza típicamente para un material de relleno dado y nivel de compactación, sin importar la profundidad, lo que es claramente un error.
4. La carga ( $W$ ) no se conoce verdaderamente. Para tubos flexibles se toma frecuentemente como la carga de Marston;  $W = c_d \gamma B_c B_d$  donde  $c_d$  es un coeficiente que depende de la profundidad del relleno en la zanja, el tipo de suelo de relleno, y la naturaleza y extensión de la bóveda del suelo; datos tomados frecuentemente de tablas ya preparadas.  $B_c$  es la OD del tubo y  $B_d$  es el ancho de la zanja.
5. Para materiales viscoelásticos, como el polietileno de alta densidad, el valor del módulo ( $E$ ) usado típicamente está basado en un espécimen de prueba únicamente sujeto a flexión. No se consideran el efecto de compresión en el aro y el acortamiento circunferencial; los cuales sí afectan el arco del suelo y, por lo tanto la presión del suelo sobre el tubo.

La solución de Burns & Richard se encarga de esos temas y proporciona un análisis más completo de la respuesta del tubo.

**Tabla 1. Valores MATNAM previamente definidos y clases de suelos asociadas para el modelo dependiente de sobrecarga.**

**Módulo de Young (psi) para Presiones de Sobrecarga.**

Suelo	MATNAM	5 psi	10 psi	15 psi	20 psi	25 psi	30 psi	40 psi	50 psi	Radio de Poisson	Densidad (lb/pie <sup>3</sup> )
Granular											
Bueno	G.GOOD	1,100	1,300	1,500	1,650	1,800	1,900	2,100	2,250	0.30-0.35	110-150
Normal	G.FAIR	550	750	850	1,000	1,100	1,150	1,300	1,400		
Mixed											
Bueno	M.GOOD	600	850	1,000	1,100	1,200	1,250	1,350	1,450	0.30-0.40	100-140
Normal	M.FAIR	400	550	600	700	750	800	900	900		
Cohesive											
Bueno	C.GOOD	250	325	375	375	400	400	400	400	0.35-0.40	100-130
Normal	C.FAIR	150	200	225	250	250	250	250	250		

## **ANEXO 2**

PIPE PARAMETERS - AASHTO M294, Type S	RESPONSE OF PIPE WALL											CALCULATION OF RING SHORTENING				
	deg	radial			circum	wall	ring	inner	outer	total		deg	ring	ring	ring	
	c.c.w.	soil	radial	tang	wall	bend	comp	bend	bend	stress		c.c.w.	comp	comp	shortening	
	from	press	defl	defl	thrust	mom(M)	stress	stress	stress	inner	outer	from	stress	strain		
	horiz	P <sub>r</sub> (psi)	w(in)	v(in)	N(#/in)	(#-lb/in)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	horiz	(psi)	(in/in)	(in)	
effective radius (in), R = 5.29 outside diameter (in), D = 11.36 thickness (in), t = 0.73 unit area of wall (in <sup>2</sup> /in), A = 0.145 unit moment of inertia (in <sup>4</sup> /in), I = 0.0110 flexural modulus (psi), E <sub>f</sub> = 110,000 ring compression modulus (psi), E <sub>rc</sub> = 110,000 flexural stiffness (psi), K <sub>f</sub> = 6E <sub>f</sub> I/R <sup>3</sup> = 49 ring compression stiffness (psi), K <sub>rc</sub> = E <sub>rc</sub> A/R = 3,015 distance from inner wall to n.a. (in), c = 0.34	0	8.1	-0.013	0.000	45	4	-313	-133	152	-446	-161	0	-313	-0.002849	-0.0026	
	10	8.1	-0.012	0.005	45	4	-313	-126	144	-439	-169	10	-313	-0.0028	-0.0026	
	20	8.2	-0.007	0.009	45	3	-312	-106	122	-419	-190	20	-312	-0.002839	-0.0026	
	30	8.3	0.001	0.012	45	2	-311	-76	88	-387	-223	30	-311	-0.002827	-0.0026	
	40	8.4	0.010	0.014	45	1	-309	-39	45	-349	-264	40	-309	-0.002813	-0.0026	
	50	8.5	0.020	0.014	45	0	-308	0	0	-308	-308	50	-308	-0.002798	-0.0026	
	60	8.7	0.029	0.012	44	-1	-306	37	-42	-270	-348	60	-306	-0.002784	-0.0026	
	70	8.8	0.036	0.009	44	-2	-305	67	-76	-238	-381	70	-305	-0.002773	-0.0026	
	80	8.8	0.041	0.005	44	-3	-304	86	-99	-218	-403	80	-304	-0.002765	-0.0026	
	90	8.9	0.043	0.000	44	-3	-304	93	-107	-211	-411	90	-304	-0.002763	-0.0026	
	100	8.8	0.041	-0.005	44	-3	-304	86	-99	-218	-403	100	-304	-0.002765	-0.0026	
	110	8.8	0.036	-0.009	44	-2	-305	67	-76	-238	-381	110	-305	-0.002773	-0.0026	
	120	8.7	0.029	-0.012	44	-1	-306	37	-42	-270	-348	120	-306	-0.002784	-0.0026	
	130	8.5	0.020	-0.014	45	0	-308	0	0	-308	-308	130	-308	-0.002798	-0.0026	
	140	8.4	0.010	-0.014	45	1	-309	-39	45	-349	-264	140	-309	-0.002813	-0.0026	
	150	8.3	0.001	-0.012	45	2	-311	-76	88	-387	-223	150	-311	-0.002827	-0.0026	
	160	8.2	-0.007	-0.009	45	3	-312	-106	122	-419	-190	160	-312	-0.002839	-0.0026	
	170	8.1	-0.012	-0.005	45	4	-313	-126	144	-439	-169	170	-313	-0.0028	-0.0026	
180	8.1	-0.013	0.000	45	4	-313	-133	152	-446	-161	180	-313	-0.002849	-0.0026		
SOIL PARAMETERS - good granular soil												SUM (1/2 circle) =				-0.0493
mod of soil reaction at 5' of cover (psi), E' <sub>5</sub> = 1600												MISC CALCS				
modulus of soil reaction (psi), E' = 2,680												Vertical deflection (%) =				0.81
Poisson's ratio, u = 0.30												Horizontal deflection (%) =				-0.50
constr mod (psi), M*=E*(1-u)/((1+u)(1-2u))= 3607.69												Critical Buckling Pressure (psi), P <sub>cr</sub> =				138.8
lateral stress ratio = K = u/(1-u) = 0.429												Radial Soil Pressure at Crown (psi), P <sub>act</sub> =				8.9
sym lateral stress ratio = B = (1/2)(1+K) = 0.714												Arc length of each sector (in) =				0.9233
antisym lat stress ratio = C = (1/2)(1-K) = 0.286																
SOIL/STRUCTURE PARAMETERS (full slippage)																
ring flexibility ratio, UF =(1+K)M*/K <sub>c</sub> = 1.71																
bending flexibility ratio, VF = (1-K)M*/K <sub>f</sub> = 42.0																
STRESS FUNCTION COEFFICIENTS	1. This is 10" diameter ADS N-12															
	2. Flexural and compressive modulus are taken as 110,000 psi.															
	3. Typical E' <sub>5</sub> values (in psi) for various soils are listed in the table below:															
	Type of soil								Standard AASHTO							
									Relative Compaction							
									85% 90% 95%							
LOAD PARAMETERS																
unit weight of soil (lb/ft <sup>3</sup> ) = 78	Fine-grained soils with less than 25% sand (CL, ML, DL-ML)											500 700 1000				
height of fill above crown (ft) = 26.3	Coarse-grained soils with fines (SM, SC)											600 1000 1200			CIRCUMFERENCE SHORTENS=	
surcharge pressure (psi), P = 14.2	Coarse-grained soils with little or no fines (SP, SW, GP, GW)											700 1000 1600			-0.10	
															inches	

## **TUBOS CORRUGADOS PERFORADOS DE POLIETILENO DE INTERIOR LISO N-12 DE 10"**

### **ESPECIFICACIONES TECNICAS**

Esta especificación se aplica a tubería corrugada de polietileno de alta densidad con interior liso. Los tubos designados como AASHTO tipo "SP" (N-12) deberán tener una sección transversal completamente circular, con una pared exterior corrugada y una pared interior esencialmente lisa. Las corrugaciones para los tubos tipo "SP" deberán ser anulares (N-12).

La tubería fabricada para esta especificación deberá cumplir con los procedimientos de pruebas, dimensiones y marcas indicados en las designaciones AASHTO M252. La tubería y sus accesorios deberán ser fabricados a partir de compuestos de polietileno puro que cumplan a su vez con la última edición de las especificaciones de materiales de AASHTO definidas y descritas en la norma ASTM D3350.

Los valores mínimos de la rigidez de placas paralelas, cuando se determinen por pruebas de acuerdo a la norma ASTM D2412, son los siguientes:

<b>PROPIEDADES</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Diámetro Nominal	mm (Plg)	250 (10)
Diámetro interior promedio	mm (Plg)	251 (9.90)
Diámetro exterior promedio	mm (Plg)	287 (11.36)
Espesor de la pared interna (mínimo)	mm (Plg)	0.6 (0.024)
Rigidez mínima del tubo al 5% de Deflexión	KN/m <sup>2</sup> (psi)	340 (50)
Peso Kg /6m (lbs/20ft)	Kg (lbs)	20.96 (46.20)
Área	mm <sup>2</sup> /mm	3.48
Momento de Inercia (I)	cm <sup>4</sup> /cm	0.134
C	mm (plg)	7.58 (0.30)

**FECHA DE REVISIÓN TDM: 28/02/07**

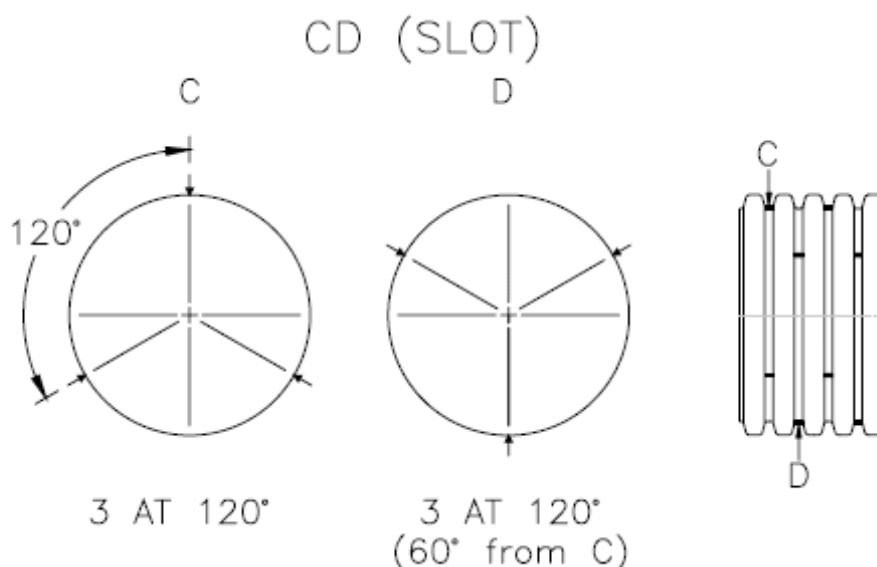
## PERFORACIONES:

D.I. Nominal pulg. (mm)	Tipo de Perforación	Longitud de Ranura Max. pulg. (mm)	Ancho de Ranura Max. pulg (mm)	Diámetro o configuración de perforación
10 (250)	Ranura	1.180 (30.0)	0.118 (3.00)	CD

Los accesorios no reducirán ni estropearán la integridad total ni la funcionalidad de la tubería. Los accesorios pueden ser ya sea moldeados o fabricados. Entre los accesorios corrugados más comunes podemos encontrar juntas, como acoples y reductores, y accesorios de ensamblaje como Tees, Yees y tapas.

Estos accesorios pueden ser instalados de acuerdo a diversos procedimientos como uniones de presión, campana y espiga, campana-campana y acoples que se envuelven alrededor de la unión. Los acoples deberán de proveer la suficiente resistencia longitudinal para mantener el alineamiento de la tubería y prevenir la separación de las juntas. Solamente se deberán utilizar accesorios suministrados o recomendados por el fabricante. Cuando se especifique en el proyecto, un empaque elastomérico que cumpla con los requisitos indicados en la norma ASTM F477 deberá ser suministrado.




La instalación de la tubería mencionada anteriormente deberá ser realizada de acuerdo a la sección 30 de AASHTO o a la práctica recomendada ASTM D2321 tal como se describe en estas especificaciones y por recomendación del fabricante.



### Nota:

Para la revisión de las Normas mencionadas, visitar: <http://www.astm.org>; <http://transportation.org/aashto/home.nsf/frontpage>

**FECHA DE REVISIÓN TDM: 28/02/07**

0	27/08/2009	E	Emissão inicial
REVISÃO Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES
Tipo de Emissão	A. Preliminar B. Para Aprovação C. Para Conhecimento	D. Para Cotação E. Para Construção F. Conforme Comprado	G. Conforme Construído H. Cancelado I. De Trabalho
 <b>ENGECORPS</b> corpo de engenheiros consultores			
PROJETO:	REG 	RKC 	ASM  DATA: 27/08/09
PROJETISTA:			DATA: 27/08/09
VERIFICAÇÃO:	ACMM 	PACL 	DATA: 27/08/09
APROVAÇÃO:	MOG 	DATA: 27/08/09	
 <div style="text-align: center;"> <b>MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL</b>  <b>PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO</b>  <b>COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO</b>  <b>NORDESTE SETENTRIONAL</b> </div>			
<b>PROJETO EXECUTIVO - LOTE A</b>			
<b>NOTA TÉCNICA</b> <b>ATO OBRAS CIVIS - LOTES 1 E 2 - ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TUBOS CIRCULARES PARA BUEIROS</b>			
	DATA	RUBRICA	APROVAÇÃO
PROJETISTA			Logos-Concremat
DESENHISTA			Logos-Concremat
VERIFICADO			
ESCALA	DOCUMENTO Nº		CLIENTE
	PROJETISTA: <b>885-MIN-ISF-NT-A0018</b>		
	CLIENTE: <b>1210-NTC-1201-00-40-004</b>		
			REVISÃO
			<b>0</b>



---

# **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 OBRAS CIVIS LOTES 1 E 2 – ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE TUBOS CIRCULARES PARA BUEIROS***

885-MIN-ISF-NT-A0018  
1210-NTC-1201-00-40-004  
Agosto/2009  
Rev. 0

## ÍNDICE

	PÁG.
1. OBJETIVO .....	3
2. HISTÓRICO E SOLICITAÇÕES RECEBIDAS .....	3
3. ESTUDOS E ANÁLISES REALIZADOS.....	4
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	5

ANEXO I - MEMORANDO 051/2009

ANEXO II - MEMORANDO 086/2009

ANEXO III - MEMORANDO 098/2009

ANEXO IV - MEMORANDO 074/2009

ANEXO V - MEMORANDO 075/2009

ANEXO VI - MEMORANDO 076/2009

ANEXO VII - MEMORANDO 077/2009

ANEXO VIII - MEMORANDO 078/2009

ANEXO IX - MEMORANDO 079/2009

ANEXO X - MEMORANDO 080/2009

## **1. OBJETIVO**

Esta nota técnica tem por objeto o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias do Nordeste Setentrional – Projeto Executivo do Trecho I e por objetivo a apresentação das análises realizadas, dentro do escopo dos serviços de ATO, com relação à possibilidade de utilização de tubos circulares pré-moldados para alguns dos bueiros projetados ao longo dos canais dos Lotes 1 e 2, ao invés de bueiros moldados “in loco” (galerias).

A solicitação para esta análise foi feita pela Supervisora dos Lotes 1 e 2 (Sondotécnica).

## **2. HISTÓRICO E SOLICITAÇÕES RECEBIDAS**

- ✓ A Supervisora solicitou à ENGECORPS, através do memorando nº 051/2009, no dia 19/06/09, uma análise de alternativa de utilização de tubos circulares pré-moldados de diâmetro 1,50m para os bueiros B004 e B013, do trecho de canal CN-10, projetados originalmente como bueiros moldados “in loco”. No Anexo I desta nota técnica está apresentado o memorando nº 051/2009, acompanhado da memória de cálculo correspondente, que trata dos aspectos estruturais dos tubos circulares.
- ✓ Na sequência, a Supervisora enviou o memorando nº 086/2009, no dia 22/07/09, contendo o dimensionamento e verificação das vazões para esses bueiros situados no trecho de canal CN-10 (B004 e B013). No Anexo II desta nota técnica está apresentado o memorando nº 086/2009, acompanhado da memória de cálculo correspondente ao dimensionamento hidráulico e verificação das vazões para os tubos circulares.
- ✓ Posteriormente, a Supervisora enviou o memorando nº 098/2009, no dia 30/07/09, contendo o dimensionamento e verificação das vazões para outros bueiros também situados no trecho de canal CN-10: B001, B016, B018, B021, B022, B026, B028, B030 e B031. Da mesma forma, no Anexo III desta nota técnica está apresentado o memorando nº 098/2009, acompanhado da memória de cálculo correspondente, correspondente ao dimensionamento hidráulico e verificação das vazões para os tubos circulares.
- ✓ Além desses, existem os memorandos abaixo descritos, todos eles para bueiros situados no trecho de canal CN-10:
  - ✧ memorando nº 074/2009 – alteração da geometria do bueiro B016
  - ✧ memorando nº 075/2009 – alteração da geometria dos bueiros B001, B018 e B021
  - ✧ memorando nº 076/2009 – alteração da geometria do bueiro B031
  - ✧ memorando nº 077/2009 – alteração da geometria do bueiro B028
  - ✧ memorando nº 078/2009 – alteração da geometria do bueiro B022
  - ✧ memorando nº 079/2009 – alteração da geometria do bueiro B026
  - ✧ memorando nº 080/2009 – alteração da geometria do bueiro B030

### 3. ESTUDOS E ANÁLISES REALIZADOS

✓ Após uma série de estudos e análises, a ENGECORPS tem as seguintes observações e comentários técnicos a respeito:

- a) Com relação aos aspectos hidráulicos, não há restrições à alternativa de execução dos bueiros (galerias) em concreto pré-moldado, desde que os tubos sejam dimensionados para tanto e que se tenha o cuidado do acabamento da superfície interna dos tubos, para manter a rugosidade e proteção quanto às velocidades de escoamento.

Assim sendo, a ENGECORPS enviou, por email, no dia 27/07/09, os valores calculados das vazões para os bueiros em questão, apresentados a seguir:

✧ Bueiro B01 =  $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$

✧ Bueiro B13 =  $2,51 \text{ m}^3/\text{s}$

✧ Bueiro B16 =  $1,80 \text{ m}^3/\text{s}$

✧ Bueiro B18 =  $3,38 \text{ m}^3/\text{s}$

✧ Bueiro B21 =  $2,45 \text{ m}^3/\text{s}$

✧ Bueiro B22 =  $2,03 \text{ m}^3/\text{s}$

✧ Bueiro B26 =  $3,87 \text{ m}^3/\text{s}$

✧ Bueiro B28 =  $1,64 \text{ m}^3/\text{s}$

✧ Bueiro B30 =  $3,32 \text{ m}^3/\text{s}$

✧ Bueiro B31 =  $1,16 \text{ m}^3/\text{s}$

- b) Com relação aos aspectos estruturais, os tubos deverão ser dimensionados computando-se os esforços existentes na tubulação, provenientes da sobrecarga representada pelo aterro do canal, resultando em classe especial de tubos, que deverá ser encomendada. Além do dimensionamento dos tubos, deverão ser executados ensaios em peças fabricadas, para que seja verificado se estas atendem aos esforços solicitantes, conforme prescrito na norma NBR – 8890.

As cargas de serviço, provenientes do aterro do canal sobre os bueiros, variam entre:

$$q_{\min} = 10 \times 20 = 200 \text{ KN/m}$$

$$q_{\max} = 15 \times 20 = 300 \text{ KN/m}$$

- c) A principal preocupação é com possíveis vazamentos ao longo das juntas que acarretem deformações diferenciais que não poderão ocorrer sob os canais, devido à ocorrência de recalques sob os tubos. Tais juntas deverão ter tratamento tal que seu funcionamento possa suportar recalques diferenciais, devendo ser preferencialmente utilizadas juntas tipo macho e fêmea. Assim sendo, deverá ser evitado o preenchimento das juntas somente com argamassa. Por esses motivos e visando uma análise mais consistente e

criteriosa, a ENGECORPS solicitou que fossem enviados os detalhes das respectivas juntas.

- d) As velocidades do fluxo d'água no interior desses bueiros para as seções circulares apresentadas não devem ser superiores a 5m/s, para evitar a possibilidade de ocorrência de cavitação.
- e) A ENGECORPS solicita a análise da profundidade da carga hidráulica a montante de cada bueiro, para essa estrutura.
- f) Os trechos críticos em termos de estanqueidade, para os quais existe uma preocupação com recalques diferenciais, são as ligações nos seguintes pontos: estrutura de entrada e tubulação; tubulação e caixa intermediária; tubulação e estrutura de saída.
- g) A estrutura de dissipação projetada na saída desses bueiros foi eliminada. Essa dissipação é necessária para não trazer impactos no terreno natural, a partir da saída do bueiro. Desta forma, deve-se adequar a estrutura original à tubulação, mantendo-se essa estrutura de dissipação.
- h) O rejuntamento dos tubos deve ser executado em todo o perímetro das juntas com argamassa adequada que apresente pequeno grau de retração, associada a um dispositivo que suporte recalques diferenciais para evitar trincas.
- i) Com relação ao dreno na saída, deve ser apresentado seu detalhamento e o seu dimensionamento, ou adotado o detalhe original apresentado pela ENGECORPS.
- j) Também é igualmente importante a apresentação do detalhamento e dimensionamento estrutural da caixa intermediária, situada no ponto de mudança de declividade. Essa estrutura exige um grande cuidado construtivo e de concepção, pois caracteriza um ponto crítico na obra.

#### **4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Com relação aos aspectos estruturais, os tubos atendem às exigências estabelecidas no Projeto Executivo, desde que seja executada de maneira satisfatória a compactação do material de assentamento dos tubos, que deverá ser de moderada (grau de compactação de 85 a 95%) a boa (grau de compactação superior a 95%), e que sejam mantidas as soluções de assentamento e envolvimento previstas no projeto.

Com relação aos aspectos hidráulicos, a Construtora deverá realizar o dimensionamento desses tubos, com base nos valores de vazões encaminhados pela Projetista à Supervisora.

De forma geral, é importante observar que não há restrições maiores à utilização de tubos circulares para os bueiros em questão, apenas deverão ser observados os aspectos anteriormente observados.

Também devem ser salientados dois outros aspectos importantes:

- a) As questões de custos e preços relacionadas às alternativas de modificações de obra não foram analisadas e deverão ser verificadas pela Fiscalização.
- b) As eventuais interferências relacionadas ao meio ambiente deverão ser verificadas pela Fiscalização.

---

# **ANEXO I**

## **MEMORANDO 051/2009**

---





MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

CONSÓRCIO CONSTRUTOR AGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 02

PACOTE – 1415

MEMORANDO Nº 051/2009

DATA: 18/06/2009

Folha: 01/01

DE: Eng. Cássio Vittori – Gerente de Engenharia - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

PARA: Engº. Habib Sagagh Neto - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 02

Assunto: Aprovação de mudança de método executivo dos bueiros B004 e B013 do CN10.

Prezado Senhor,

Vimos por meio deste, solicitar autorização para mudança do método executivo a ser empregado na execução dos bueiros B004 e B013 ambos do canal CN 10, de moldados in loco, para tubos pré-moldados de concreto.

Conforme cálculo em anexo, a substituição do método executivo dos bueiros de moldados in loco, por execução com a utilização de tubos armados pré-fabricados de concreto, pode ser realizada nesses dois casos desde que utilizados tubos de classe PA 4, no que se refere a dimensionamento estrutural.

Os limites de tensão de compressão diametral admissíveis, utilizados para a verificação quanto à trinca e à ruptura, foram os descritos na norma ABNT NBR 8890-03, e as alturas de aterro consideradas para a verificação são as encontradas nos projetos executivos.

Atenciosamente,

  
Cássio Vittori de Campos  
Gerente de Engenharia

Recebido em 18/06/09  
SONDA TÉCNICA

## 1. DESCRIÇÃO GERAL

Esse memorial descreve os cálculos feitos para determinação da classe de tubo a ser utilizada no bueiro B004 do canal CN 10 situado na estaca 2862+8,364, e do bueiro B013 do canal CN 10 situado a estaca 3073+4,006.

A situação considerada foi a seguinte:

- $\gamma_{\text{solo}} = 1,8 \text{ tf/m}^3$  (peso específico do solo).
- Material sem coesão (situação mais desfavorável).
- $K_a \mu = 0,192$ .
- Assentamento dos tubos sobre base de concreto de 15 mPa.
- Abertura de vala de 2,00 m.
- Altura de aterro de 7,70 m para o bueiro B004 e 7,78 m para o bueiro B013.
- Método executivo: abertura de vala a céu aberto.

Onde  $K_a$  é o coeficiente de empuxo ativo e  $\mu$  é a tangente do ângulo de atrito do material entre o aterro e as paredes da vala.

## 2. CÁLCULO DA CLASSE DE TUBO B004 CN 10

### 2.1 Sobrecarga de aterro

$$\alpha = \frac{2 \cdot K_a \cdot \gamma \cdot \delta}{b}$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot 0,192}{2,00} = 0,192$$

$$cd = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot h}}{2 \cdot K_a \cdot \gamma \cdot \delta}$$

$$cd = \frac{1 - e^{-0,192 \cdot 7,70}}{2 \cdot 0,192}$$

$$cd = 2,0104$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 165 e 166.



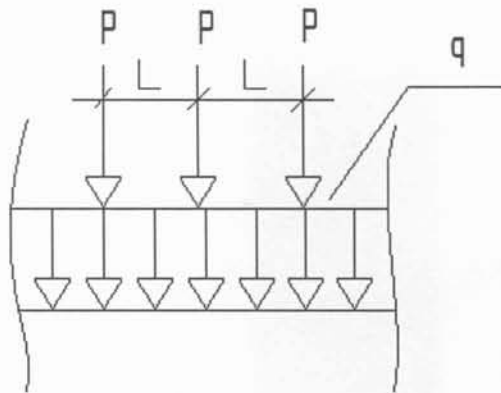
$$P = \gamma \cdot b^2 \cdot cd$$

$$P = 1,8 \cdot 2,00^2 \cdot 2,0104$$

$$P = 14,4749 \text{ tf/m}$$

## 2.2 Sobrecarga de trem-tipo rodoviário

Para o cálculo das sobrecargas concentrada e distribuída oriundas de um trem-tipo rodoviário, foi considerado o de 45 ton.

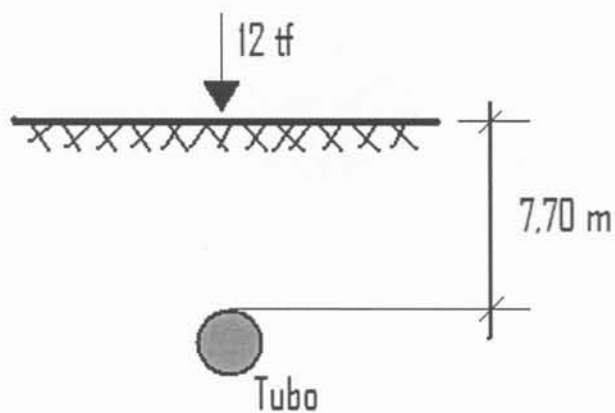


Onde  $P = 12 \text{ tf}$

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

### 2.2.1 Sobrecarga concentrada

Para efeito de facilitar os cálculos, a carga concentrada, foi considerada com atuante diretamente na direção do eixo do tubo.



$$\sigma_z = \frac{3.P}{2.\pi.Z^2}$$

$$\sigma_z = \frac{3.12}{2.3,14.7,70^2}$$

$$\sigma_z = 0,0966$$

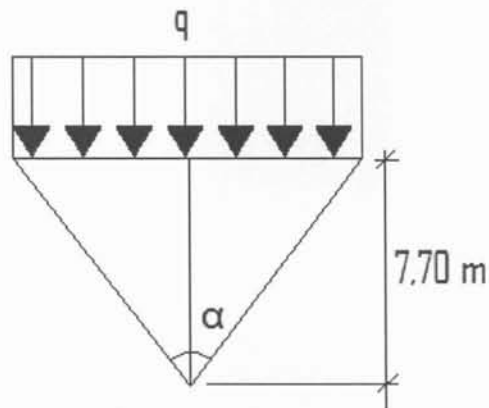
$$q = \sigma_z.b$$

$$q = 0,0966.2,00$$

$$q = 0,1932 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 61.

### 2.2.2 Sobrecarga distribuída



$$\text{tg} \alpha = \frac{b : 2}{Z}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{2 : 2}{7,70} = 0,1298$$

$$\alpha = 7,399^\circ$$

$$\alpha = 0,12914 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,25829 \text{ rad}$$

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi}(2.\alpha + \text{sen}\alpha)$$

$$\sigma_z = \frac{0,5}{3,14}(2.0,25829 + \text{sen}0,25829)$$

$$\sigma_z = 0,08297 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 64 e 65.

### 2.3 Sobrecarga total

A sobrecarga total dá-se pelas somatórias da sobrecarga de aterro, e das sobrecargas de trem rodoviário, concentrada e distribuída.

$$P = 14,4749 + 0,1932 + 0,08297$$

$$P = 14,7511 \text{ tf/m}$$

$$P = 147,511 \text{ kN/m}$$

Segundo a ABNT NBR 8890/03, a tensão de compressão diametral admissível para tubos de 1500 mm, quanto a ruptura é de 203 kN/m para o tubo PA 04, e a tensão de compressão diametral admissível quanto a trinca é de 180 kN/m para o tubo PA 04, sendo assim nesse caso o tubo de classe PA 04 passa nas duas verificações, quanto a ruptura e quanto a trinca.



### 3. CÁLCULO DA CLASSE DE TUBO B013 CN 10

#### 3.1 Sobrecarga de aterro

$$\alpha = \frac{2.Ka.tg\delta}{b}$$

$$\alpha = \frac{2.0,192}{2,00} = 0,192$$

$$cd = \frac{1 - e^{-\alpha.h}}{2.Ka.tg\delta}$$

$$cd = \frac{1 - e^{-0,192.7,78}}{2.0,192}$$

$$cd = 2,0195$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 165 e 166.

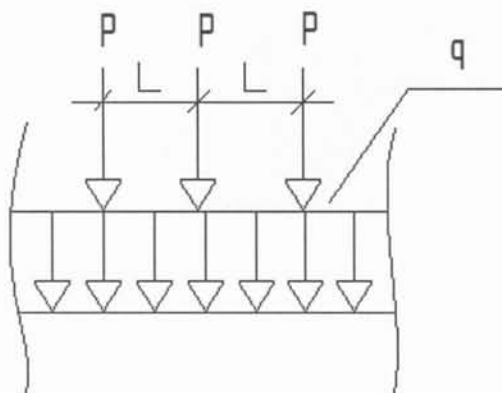
$$P = \gamma.b^2.cd$$

$$P = 18.2,00^2.2,0195$$

$$P = 14,5404 \text{ tf/m}$$

#### 3.2 Sobrecarga de trem-tipo rodoviário

Para o cálculo das sobrecargas concentrada e distribuída oriundas de um trem-tipo rodoviário, foi considerado o de 45 ton.

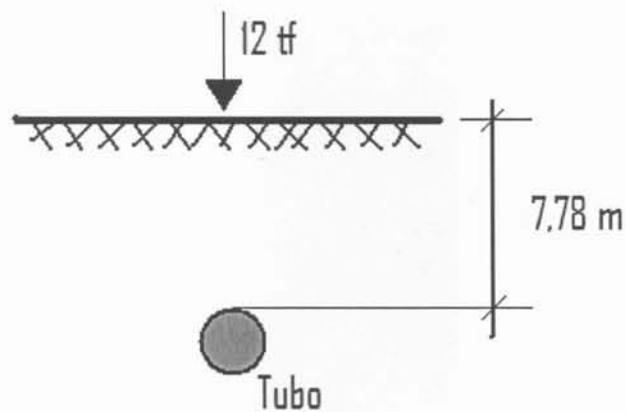


Onde  $P = 12 \text{ tf}$

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

### 3.2.1 Sobrecarga concentrada

Para efeito de facilitar os cálculos, a carga concentrada, foi considerada com atuante diretamente na direção do eixo do tubo.



$$\sigma_z = \frac{3.P}{2.\pi.Z^2}$$

$$\sigma_z = \frac{3.12}{2.3,14.7,78^2}$$

$$\sigma_z = 0,09471$$

$$q = \sigma_z.b$$

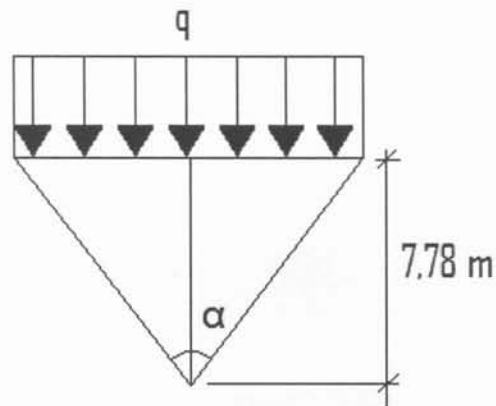
$$q = 0,09471.2,00$$

$$q = 0,189414 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 61.



### 3.2.2 Sobrecarga distribuída



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b : 2}{Z}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 : 2}{7,78} = 0,0,12853$$

$$\alpha = 7,32434^{\circ}$$

$$\alpha = 0,12783 \operatorname{rad}$$

$$\alpha = 0,25566 \operatorname{rad}$$

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi} (2 \cdot \alpha + \operatorname{sen} \alpha)$$

$$\sigma_z = \frac{0,5}{3,14} (2 \cdot 0,25566 + \operatorname{sen} 0,25566)$$

$$\sigma_z = 0,08213 \operatorname{tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 64 e 65.

### 3.3 Sobrecarga total

A sobrecarga total da-se pelas somatórias da sobrecarga de aterro, e das sobrecargas de trem rodoviário concentrada e distribuída.

$$P = 14,5404 + 0,189414 + 0,08213$$

$$P = 14,81194 \text{ tf/m}$$

$$P = 148,1194 \text{ kN/m}$$

Segundo a ABNT NBR 8890/03, a tensão de compressão diametral admissível para tubos de 1500 mm, quanto a ruptura é de 203 kN/m para o tubo PA 04, e a tensão de compressão diametral admissível quanto a trinca é de 180 kN/m para o tubo PA 04, sendo assim nesse caso o tubo de classe PA 04 passa nas duas verificações, quanto a ruptura e quanto a trinca.



---

## **ANEXO II**

### **MEMORANDO 086/2009**

---



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

---

CONSÓRCIO CONSTRUTOR AGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 02      PACOTE – 1415

---

MEMORANDO Nº 086/2009

DATA: 21/07/2009

Folha: 01/04

---

DE: Eng. Cássio Vittori – Gerente de Engenharia - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

---

PARA: Engº. Habib Sabagh Neto - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 02

---

Assunto: Verificação da capacidade de vazão dos bueiros B004 e B013 CN 10.

---

Prezado Senhor,

Segue abaixo, verificação das capacidades de vazão dos bueiros B004 e B013 CN 10, para vossa apreciação e aprovação.

Para o cálculo do diâmetro necessário em cada um dos casos, foi utilizada uma fórmula adaptada da fórmula original de Chezy-Manning, para as condições de condutos circulares, isolando-se a variável de interesse em função dos parâmetros conhecidos.

O coeficiente de Manning adotado para caracterizar a rugosidade dos tubos de concreto PA 04 propostos em dimensionamento estrutural encaminhado e aprovado no memorando de nº 051 datado de 18-06-2009, foi de  $n=0,018$  (Adimensional), e as vazões de  $3,33\text{m}^3/\text{s}$  e  $2,51\text{m}^3/\text{s}$  para os bueiros B004 e B013 respectivamente, foram fornecidas pela projetista, e foram obtidas utilizando um tempo de recorrência de  $TR=100$  anos.

As declividades consideradas, de 0,0105 e 0,0203, adotadas para os bueiros B004 e B013 respectivamente, foram obtidas nos projetos executivos. Em ambos os projetos os bueiros foram dimensionados de modo a terem duas declividades ao longo de sua extensão, sendo

Recebido em: 21/07/2009

SONDOTÉCNICA

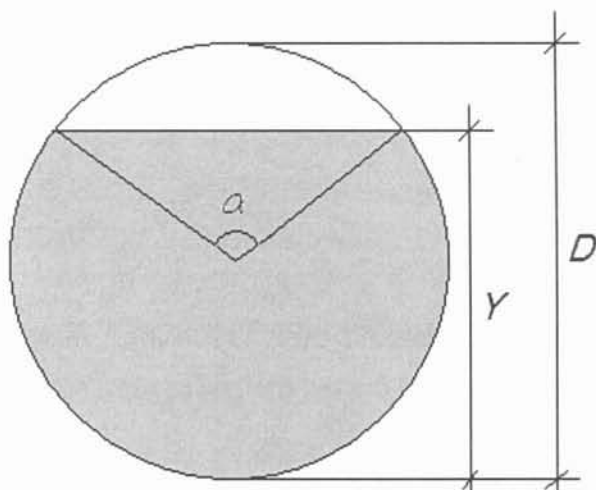
16:15h



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

assim, no cálculo apresentado abaixo, foram utilizadas as declividades mais baixas de cada bueiro (caso mais crítico), de modo a obter um resultado mais confiável e com uma margem de segurança mais elevada.

A literatura sobre o assunto considera a situação com relação  $Y/D = 0,937$ , com sendo a de maior eficiência quanto a vazão (situação de carregamento de seção transversal de maior eficiência), e essa foi considerada nos cálculos para determinação dos diâmetros necessários de tubulação para os bueiros B004 e B013.



Para a determinação dos coeficientes de vazão KQ foi utilizada a tabela a seguir:

Lâmina d'água	Y/D	$K_v$	$K_Q$	$K_D$	$K_{DV}$	$K_I$	$K_{IV}$
Seção Plena	1,000	0,397	0,312	1,548	4,000	10,294	6,350
Vazão Máxima	0,937	0,438	0,335	1,507	3,445	8,896	5,202
Velocidade Máxima	0,813	0,452	0,309	1,553	3,286	10,447	4,886
3/4 Seção	0,750	0,450	0,284	1,603	3,315	12,379	4,942
1/2 Seção	0,500	0,397	0,156	2,008	4,000	41,174	6,350
1/4 Seção	0,250	0,278	0,043	3,263	6,820	548,581	12,934

*[Assinatura]*



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B004 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,0105 \text{ m/m}$$

$$Q = 3,33 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,0105 \cdot 1000}$$

$$Q = 5622,68 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 3330 l/s especificada pela projetista para o bueiro B004.

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B013 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,0203 \text{ m/m}$$

$$Q = 2,51 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$

*[Assinatura]*  
17/1



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,0203 \cdot 1000}$$

$$Q = 7818,00 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 2510 l/s especificada pela projetista para o bueiro B013.

Atenciosamente,

Cássio Vittori de Campos  
Gerente de Engenharia

---

## ***ANEXO III***

### ***MEMORANDO 098/2009***

---





MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

CONSÓRCIO CONSTRUTOR AGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 02

PACOTE – 1415

MEMORANDO N° 098/2009

DATA: 30/07/2009

Folha: 01/09

DE: Eng. Cássio Vittori – Gerente de Engenharia - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

PARA: Eng°. Habib Sabagh Neto - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 02.

Assunto: Verificação da capacidade de vazão dos bueiros B001, B016, B018, B021, B022, B026, B028, B030 e B031 CN 10.

Prezado Senhor,

Segue abaixo, verificação das capacidades de vazão dos bueiros B001, B016, B018, B021, B022, B026, B028, B030 e B031 CN 10, para vossa apreciação e aprovação.

Para o cálculo do diâmetro necessário, foi utilizada uma fórmula adaptada da fórmula original de Chezy-Manning, para as condições de condutos circulares, isolando-se a variável de interesse em função dos parâmetros conhecidos.

O coeficiente de Manning adotado para caracterizar a rugosidade dos tubos de concreto PA 04 propostos nos dimensionamentos estruturais encaminhados nos memorandos de nº 074 a 080, datados de 16-07-2009, foi de  $n=0,018$  (Adimensional), e as vazões fornecidas pela projetista, bem como as declividades extraídas de projeto para cada um dos casos, constam na tabela a seguir.

30/07/09  
recebido em  
SONDOTECNICA



**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL**  
**PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**  
**COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL**

BUEIRO	EXT.	UNID.	SEÇÃO	UNID.	DECLIV	UNID.	VAZÃO	UNID.
B001	55,97	m	1,00 x 1,50	m	0,0099	m/m	0,9100	m³/s
B016	53,78	m	1,00 x 1,50	m	0,0298	m/m	1,8000	m³/s
B018	54,75	m	1,00 x 1,50	m	0,0101	m/m	3,3800	m³/s
B021	50,10	m	1,00 x 1,50	m	0,0101	m/m	2,4500	m³/s
B022	56,09	m	1,00 x 1,50	m	0,0881	m/m	2,0300	m³/s
B026	66,48	m	1,00 x 1,50	m	0,0299	m/m	3,8700	m³/s
B028	61,00	m	1,00 x 1,50	m	0,0755	m/m	1,6400	m³/s
B030	67,06	m	1,00 x 1,50	m	0,0444	m/m	3,3200	m³/s
B031	55,89	m	1,00 x 1,50	m	0,0676	m/m	1,1600	m³/s

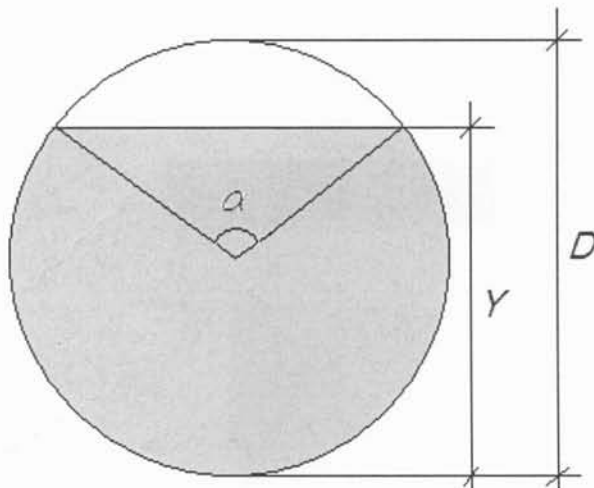
Para o cálculo da verificação das capacidades de vazão, foi adotado o seguinte procedimento: Considerando o fato de que as tubulações empregadas nesse tipo de estrutura, têm limitação de diâmetro mínimo a ser empregado de 1500 mm, devido a questões ambientais, partiu-se da consideração de que todos os bueiros serão executados com tubos de diâmetro interno de 1500 mm, e então foi verificado se esse diâmetro é suficiente para atender a vazão de projeto de cada bueiro nas suas respectivas condições de declividade.

Em alguns projetos os bueiros foram dimensionados de modo a terem duas declividades ao longo de sua extensão, sendo assim, no cálculo apresentado abaixo, foi utilizada a declividade mais baixa (caso mais crítico), de modo a obter um resultado mais confiável e com uma margem de segurança mais elevada.

A literatura sobre o assunto considera a situação com relação  $Y/D = 0,937$ , com sendo a de maior eficiência quanto a vazão (situação de carregamento de seção transversal de maior eficiência), e essa foi considerada nos cálculos para determinação dos diâmetros necessários de tubulação para os bueiros.



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL



Para a determinação dos coeficientes de vazão KQ foi utilizada a tabela a seguir:

Lâmina d'água	Y/D	$K_V$	$K_Q$	$K_D$	$K_{DV}$	$K_I$	$K_{IV}$
Seção Plena	1,000	0,397	0,312	1,548	4,000	10,294	6,350
Vazão Máxima	0,937	0,438	0,335	1,507	3,445	8,896	5,202
Velocidade Máxima	0,813	0,452	0,309	1,553	3,286	10,447	4,886
3/4 Seção	0,750	0,450	0,284	1,603	3,315	12,379	4,942
1/2 Seção	0,500	0,397	0,156	2,008	4,000	41,174	6,350
1/4 Seção	0,250	0,278	0,043	3,263	6,820	548,581	12,934

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B001 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,00987 \text{ m/m}$$

$$Q = 0,91 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,00987 \cdot 1000}$$

$$Q = 5.451,40 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 910 l/s especificada pela projetista para o bueiro B001.

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B016 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,0298 \text{ m/m}$$

$$Q = 1,80 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,0298 \cdot 1000}$$

$$Q = 9.472,30 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 1800 l/s especificada pela projetista para o bueiro B016.



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B018 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,0101 \text{ m/m}$$

$$Q = 3,38 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,0101} \cdot 1000$$

$$Q = 5.514,50 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 3380 l/s especificada pela projetista para o bueiro B018.

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B021 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,0105 \text{ m/m}$$

$$Q = 2,45 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,0105 \cdot 1000}$$

$$Q = 5.622,70 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 2.450 l/s especificada pela projetista para o bueiro B021.

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B022 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,0881 \text{ m/m}$$

$$Q = 2,03 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,0881 \cdot 1000}$$

$$Q = 16.286,80 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 2.030 l/s especificada pela projetista para o bueiro B022.



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B026 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,0299 \text{ m/m}$$

$$Q = 3,87 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,0299} \cdot 1000$$

$$Q = 9.488,20 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 3.870 l/s especificada pela projetista para o bueiro B026.

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B028 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,0755 \text{ m/m}$$

$$Q = 1,64 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$

 7



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,0755} \cdot 1000$$

$$Q = 15.077,30 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 1.640 l/s especificada pela projetista para o bueiro B028.

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B030 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,0444 \text{ m/m}$$

$$Q = 3,32 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,0444} \cdot 1000$$

$$Q = 11.562,20 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 3.320 l/s especificada pela projetista para o bueiro B030.

 8





MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO B031 CN 10

$$\eta = 0,018$$

$$i = 0,0676 \text{ m/m}$$

$$Q = 1,16 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vazão de projeto do bueiro moldado in loco)}$$

$$TR = 100 \text{ anos}$$

$$Q = KQ \cdot \frac{D^{8/3}}{n} \sqrt{i}$$

$$Q = 0,335 \cdot \frac{(1500/1000)^{8/3}}{0,018} \cdot \sqrt{0,0676} \cdot 1000$$

$$Q = 14.266,70 \text{ l/s}$$

Sendo assim, o tubo de 1500 mm PA 04 proposto anteriormente, é suficiente para a vazão de 1.160 l/s especificada pela projetista para o bueiro B031.

Sem mais para o momento,

Atenciosamente

Cássio Vittori de Campos  
Gerente de Engenharia

---

## **ANEXO IV**

### **MEMORANDO 074/2009**

---



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

CONSÓRCIO CONSTRUTOR AGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 02

PACOTE – 1415

MEMORANDO Nº 074/2009

DATA: 16/07/2009

Folha: 01/05

DE: Eng. Cássio Vittori – Gerente de Engenharia - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

PARA: Engº. Habib Sabagh Neto - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 02

Assunto: Aprovação de mudança de método executivo do bueiro B016 do canal CN10.

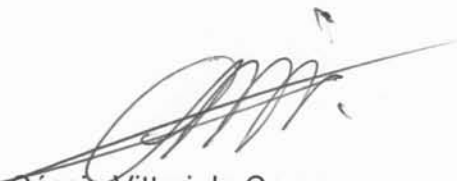
Prezado Senhor,

Encaminhamos para vossa apreciação e aprovação, solicitação de autorização para mudança do método executivo a ser empregado na execução do bueiro B016 do canal CN 10, de moldado in loco, para tubos pré-moldados de concreto.

Conforme cálculo em anexo, a substituição do método executivo do bueiro de moldados in loco, por execução com a utilização de tubos armados pré-fabricados de concreto, pode ser realizada nesse caso desde que utilizados tubos de classe PA 4, no que se refere a dimensionamento estrutural.

Os limites de tensão de compressão diametral admissíveis, utilizados para a verificação quanto à trinca e à ruptura, foram os descritos na norma ABNT NBR 8890-03, e as alturas de aterro consideradas para a verificação são as encontradas nos projetos executivos.

Atenciosamente,

  
Cássio Vittori de Campos  
Gerente de Engenharia

Recebido em 16/07/09  
1009  
SONDOTECHNICA  
B:15

## 1. DESCRIÇÃO GERAL

Esse memorial descreve os cálculos feitos para determinação da classe de tubo a ser utilizada no bueiro B016 do canal CN 10 situado na estaca 3.122+06,370.

A situação considerada foi a seguinte:

- $\gamma_{\text{solo}} = 1,8 \text{ tf/m}^3$  (peso específico do solo).
- Material sem coesão (situação mais desfavorável).
- $Ka\mu = 0,192$ .
- Assentamento dos tubos sobre base de concreto de 15 mPa.
- Abertura de vala de 2,00 m.
- Altura de aterro de 7,94 m para o bueiro B016.
- Método executivo: abertura de vala a céu aberto.

Onde  $Ka$  é o coeficiente de empuxo ativo e  $\mu$  é a tangente do ângulo de atrito do material entre o aterro e as paredes da vala.

## 2. CÁLCULO DA CLASSE DE TUBO B016

### 2.1 Sobrecarga de aterro

$$\alpha = \frac{2.Ka.tg\delta}{b}$$

$$\alpha = \frac{2.0,192}{2,00} = 0,192$$

$$cd = \frac{1 - e^{-\alpha.h}}{2.Ka.tg\delta}$$

$$cd = \frac{1 - e^{-0,192.7,94}}{2.0,192}$$

$$cd = 2,0371$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 165 e 166.



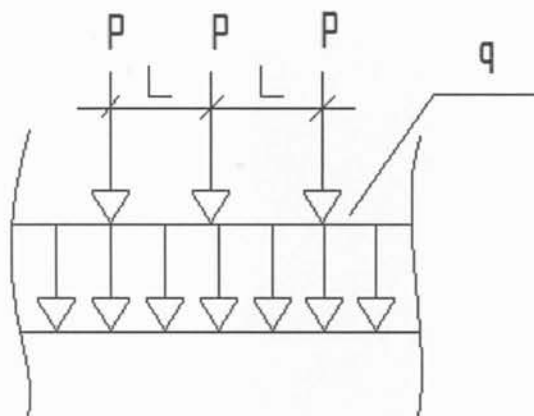
$$P = \gamma \cdot b^2 \cdot cd$$

$$P = 1,8 \cdot 2,00^2 \cdot 2,0371$$

$$P = 14,6671 \text{ tf/m}$$

## 2.2 Sobrecarga de trem-tipo rodoviário

Para o cálculo das sobrecargas concentrada e distribuída oriundas de um trem-tipo rodoviário, foi considerado o de 45 ton.

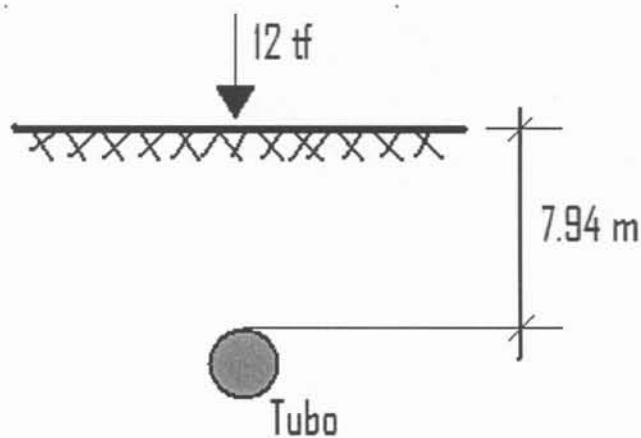


Onde  $P = 12 \text{ tf}$

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

### 2.2.1 Sobrecarga concentrada

Para efeito de facilitar os cálculos, a carga concentrada, foi considerada como atuante diretamente na direção do eixo do tubo.



*Handwritten signature and initials.*

$$\sigma_z = \frac{3.P}{2.\pi.Z^2}$$

$$\sigma_z = \frac{3.12}{2.3,14.7,94^2}$$

$$\sigma_z = 0,0909$$

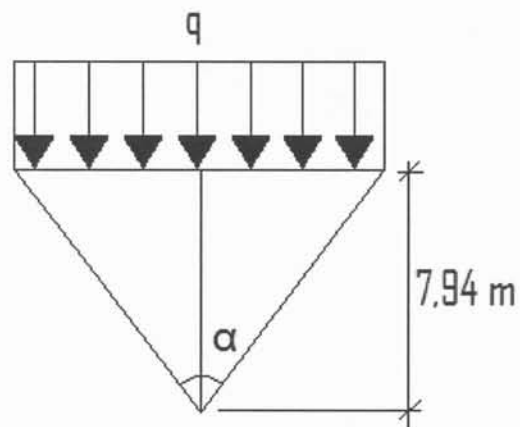
$$q = \sigma_z.b$$

$$q = 0,0909.2,00$$

$$q = 0,1818 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 61.

### 2.2.2 Sobrecarga distribuída



$$\text{tg} \alpha = \frac{b:2}{Z}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{2:2}{7,94} = 0,12594$$

$$\alpha = 7,17829^\circ$$

$$\alpha = 0,12528 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,25056 \text{ rad}$$

*[Handwritten signature]*

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi}(2.\alpha + \operatorname{sen}\alpha)$$

$$\sigma_z = \frac{0,5}{3,14}(2.0,25056 + \operatorname{sen}0,25056)$$

$$\sigma_z = 0,08049 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 64 e 65.

### 2.3 Tensão solicitante total

A tensão solicitante total dá-se pelas somatórias da tensões solicitantes devidas às sobrecarga de aterro, e de trem rodoviário, concentrada e distribuída.

$$P = 14,6671 + 0,1818 + 0,08049$$

$$P = 14,9294 \text{ tf/m}$$

$$P = 149,294 \text{ kN/m}$$

Segundo a ABNT NBR 8890/03, a tensão de compressão diametral admissível para tubos de 1500 mm, quanto a ruptura é de 203 kN/m para o tubo PA 04, e a tensão de compressão diametral admissível quanto a trinca é de 180 kN/m para o tubo PA 04, sendo assim nesse caso o tubo de classe PA 04 passa nas duas verificações, quanto a ruptura e quanto a trinca.



---

## **ANEXO V**

### **MEMORANDO 075/2009**

---





MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

CONSÓRCIO CONSTRUTOR AGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 02

PACOTE – 1415

MEMORANDO Nº075/2009

DATA: 16/07/2009

Folha: 01/05

DE: Eng. Cássio Vittori – Gerente de Engenharia - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

PARA: Engº. Habib Sabagh Neto - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 02

Assunto: Aprovação de mudança de método executivo dos bueiros B001, B018 e B021 do canal CN10.


Prezado Senhor,

Encaminhamos para vossa apreciação e aprovação, solicitação de autorização para mudança do método executivo a ser empregado na execução dos bueiros B001, B018 e B021 ambos do canal CN 10, de moldados in loco, para tubos pré-moldados de concreto.

Conforme cálculo em anexo, a substituição do método executivo dos bueiros de moldados in loco, por execução com a utilização de tubos armados pré-fabricados de concreto, pode ser realizada nesses três casos desde que utilizados tubos de classe PA 4, no que se refere a dimensionamento estrutural.

Os limites de tensão de compressão diametral admissíveis, utilizados para a verificação quanto à trinca e à ruptura, foram os descritos na norma ABNT NBR 8890-03, e as alturas de aterro consideradas para a verificação são as encontradas nos projetos executivos.

Atenciosamente,

  
Cássio Vittori de Campos  
Gerente de Engenharia

Recebido em 16/07/09  
SOLICITANTE  
13.13h

## 1. DESCRIÇÃO GERAL

Esse memorial descreve os cálculos feitos para determinação da classe de tubo a ser utilizada no bueiro B001 do canal CN 10 situado na estaca 2.803+19,207, do bueiro B018 do canal CN 10 situado a estaca 3.141+08,391 e do bueiro B021 do canal CN 10 situado a estaca 3.227+17,931.

A situação considerada foi a seguinte:

- $\gamma_{\text{solo}} = 1,8 \text{ tf/m}^3$  (peso específico do solo).
- Material sem coesão (situação mais desfavorável).
- $Ka\mu = 0,192$ .
- Assentamento dos tubos sobre base de concreto de 15 mPa.
- Abertura de vala de 2,00 m.
- Altura de aterro de 7,58 m para os 3 bueiros B001, B018 e B021.
- Método executivo: abertura de vala a céu aberto.

Onde  $Ka$  é o coeficiente de empuxo ativo e  $\mu$  é a tangente do ângulo de atrito do material entre o aterro e as paredes da vala.

Tendo em vista a mesma altura de aterro, mesmas dimensões de seção transversal e mesma abertura de vala para os 3 bueiros, o cálculo foi realizado somente 1 vez, sendo que este serve para os 3 bueiros.

## 2. CÁLCULO DA CLASSE DE TUBO B001, B018 e B021

### 2.1 Sobrecarga de aterro

$$\alpha = \frac{2.Ka.tg\delta}{b}$$

$$\alpha = \frac{2.0,192}{2,00} = 0,192$$

$$cd = \frac{1 - e^{-\alpha.h}}{2.Ka.tg\delta}$$

$$cd = \frac{1 - e^{-0,192.7,58}}{2.0,192}$$

$$cd = 1,9965$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 165 e 166.

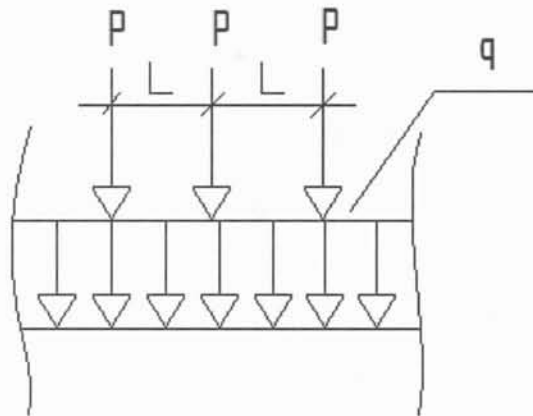
$$P = \gamma \cdot b^2 \cdot cd$$

$$P = 1,8.2,00^2.1,9965$$

$$P = 14,3748 \text{ tf/m}$$

## 2.2 Sobrecarga de trem-tipo rodoviário

Para o cálculo das sobrecargas concentrada e distribuída oriundas de um trem-tipo rodoviário, foi considerado o de 45 ton.

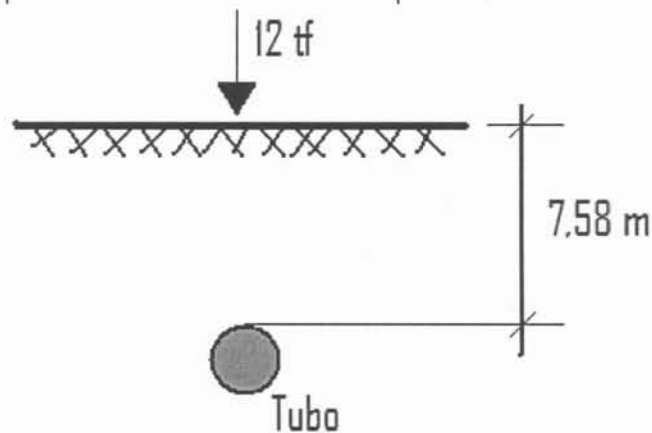


Onde  $P = 12 \text{ tf}$

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

### 2.2.1 Sobrecarga concentrada

Para efeito de facilitar os cálculos, a carga concentrada, foi considerada como atuante diretamente na direção do eixo do tubo.



$$\sigma_z = \frac{3.P}{2.\pi.Z^2}$$

$$\sigma_z = \frac{3.12}{2.3,14.7,58^2}$$

$$\sigma_z = 0,0997$$

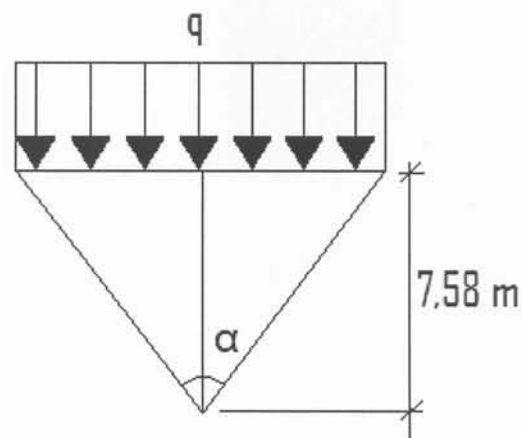
$$q = \sigma_z.b$$

$$q = 0,0966.2,00$$

$$q = 0,1994 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 61.

### 2.2.2 Sobrecarga distribuída



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b : 2}{Z}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 : 2}{7,58} = 0,1319$$

$$\alpha = 7,515^\circ$$

$$\alpha = 0,13116 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,26234 \text{ rad}$$

*[Handwritten signature]*

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi} (2.\alpha + \text{sen}\alpha)$$

$$\sigma_z = \frac{0,5}{3,14} (2.0,26234 + \text{sen}0,26234)$$

$$\sigma_z = 0,0842 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 64 e 65.

### 2.3 Tensão solicitante total

A tensão solicitante total dá-se pelas somatórias da sobrecarga de aterro, e das sobrecargas de trem rodoviário, concentrada e distribuída.

$$P = 14,3748 + 0,1994 + 0,0842$$

$$P = 14,6584 \text{ tf/m}$$

$$P = 146,584 \text{ kN/m}$$

Segundo a ABNT NBR 8890/03, a tensão de compressão diametral admissível para tubos de 1500 mm, quanto a ruptura é de 203 kN/m para o tubo PA 04, e a tensão de compressão diametral admissível quanto a trinca é de 180 kN/m para o tubo PA 04, sendo assim nesse caso o tubo de classe PA 04 passa nas duas verificações, quanto a ruptura e quanto a trinca.



---

## **ANEXO VI**

### **MEMORANDO 076/2009**

---



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

---

CONSÓRCIO CONSTRUTOR AGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 02      PACOTE – 1415

---

MEMORANDO Nº076 /2009

DATA: 16/07/2009

Folha: 01/05

---

DE: Eng. Cássio Vittori – Gerente de Engenharia - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

---

PARA: Engº. Habib Sabagh Neto - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 02

---

Assunto: Aprovação de mudança de método executivo do bueiro B031 do canal CN10.

---

Prezado Senhor,

Encaminhamos para vossa apreciação e aprovação, solicitação de autorização para mudança do método executivo a ser empregado na execução do bueiro B031 do canal CN 10, de moldado in loco, para tubos pré-moldados de concreto.

Conforme cálculo em anexo, a substituição do método executivo do bueiro de moldados in loco, por execução com a utilização de tubos armados pré-fabricados de concreto, pode ser realizada neste caso, desde que utilizados tubos de classe PA 4, no que se refere a dimensionamento estrutural.

Os limites de tensão de compressão diametral admissíveis, utilizados para a verificação quanto à trinca e à ruptura, foram os descritos na norma ABNT NBR 8890-03, e as alturas de aterro consideradas para a verificação são as encontradas nos projetos executivos.

Atenciosamente,

  
Cássio Vittori de Campos  
Gerente de Engenharia

Recebido em 16/07/09  
SONIA FERNANDA  
13:13h

## 1. DESCRIÇÃO GERAL

Esse memorial descreve os cálculos feitos para determinação da classe de tubo a ser utilizada no bueiro B031 do canal CN 10 situado na estaca 3.482+12,000.

A situação considerada foi a seguinte:

- $\gamma_{\text{solo}} = 1,8 \text{ tf/m}^3$  (peso específico do solo).
- Material sem coesão (situação mais desfavorável).
- $K_a \mu = 0,192$ .
- Assentamento dos tubos sobre base de concreto de 15 mPa.
- Abertura de vala de 2,00 m.
- Altura de aterro de 8,65 m para o bueiro B031.
- Método executivo: abertura de vala a céu aberto.

Onde  $K_a$  é o coeficiente de empuxo ativo e  $\mu$  é a tangente do ângulo de atrito do material entre o aterro e as paredes da vala.

## 2. CÁLCULO DA CLASSE DE TUBO B031

### 2.1 Sobrecarga de aterro

$$\alpha = \frac{2 \cdot K_a \cdot \gamma \cdot \delta}{b}$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot 0,192}{2,00} = 0,192$$

$$cd = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot h}}{2 \cdot K_a \cdot \gamma \cdot \delta}$$

$$cd = \frac{1 - e^{-0,192 \cdot 8,65}}{2 \cdot 0,192}$$

$$cd = 2,10941$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 165 e 166.





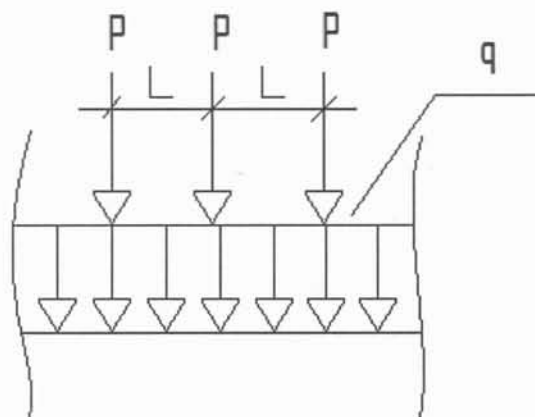
$$P = \gamma \cdot b^2 \cdot cd$$

$$P = 1,8 \cdot 2,00^2 \cdot 2,10941$$

$$P = 15,1877 \text{ tf/m}$$

## 2.2 Sobrecarga de trem-tipo rodoviário

Para o cálculo das sobrecargas concentrada e distribuída oriundas de um trem-tipo rodoviário, foi considerado o de 45 ton.

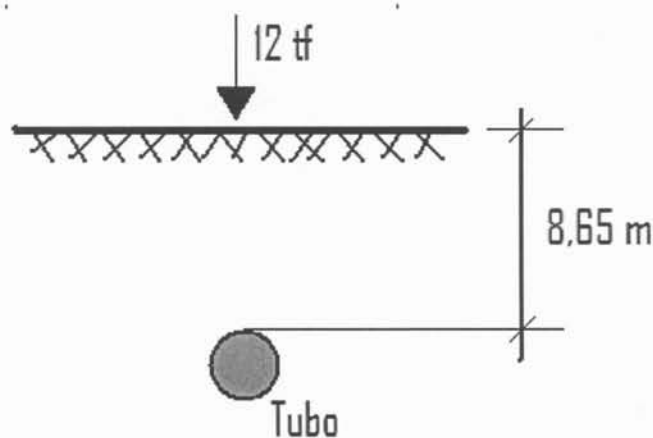


Onde  $P = 12 \text{ tf}$

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

### 2.2.1 Sobrecarga concentrada

Para efeito de facilitar os cálculos, a carga concentrada, foi considerada como atuante diretamente na direção do eixo do tubo.



*[Assinatura]*

$$\sigma_z = \frac{3.P}{2.\pi.Z^2}$$

$$\sigma_z = \frac{3.12}{2.3,14.8,65^2}$$

$$\sigma_z = 0,07661$$

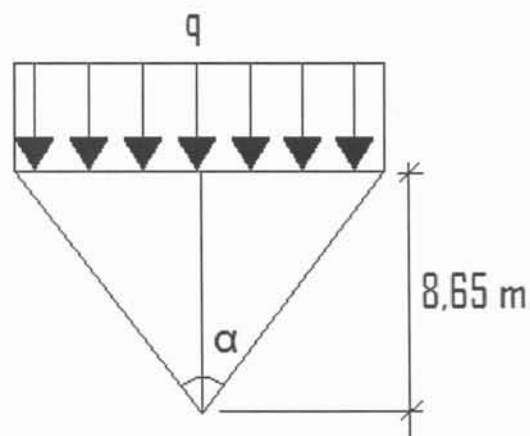
$$q = \sigma_z.b$$

$$q = 0,07661.2,00$$

$$q = 0,15328 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 61.

### 2.2.2 Sobrecarga distribuída



$$\text{tg} \alpha = \frac{b:2}{Z}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{2:2}{8,65} = 0,115606$$

$$\alpha = 6,5945^\circ$$

$$\alpha = 0,115095 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,0,23019 \text{ rad}$$

*[Handwritten signature]*

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi} (2.\alpha + \text{sen}\alpha)$$

$$\sigma_z = \frac{0,5}{3,14} (2.0,23019 + \text{sen}0,23019)$$

$$\sigma_z = 0,073948 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 64 e 65.

### 2.3 Tensão solicitante total

A tensão solicitante total dá-se pelas somatórias das tensões solicitantes devidas à sobrecarga de aterro, e de trem rodoviário, concentrada e distribuída.

$$P = 15,1877 + 0,15328 + 0,073948$$

$$P = 15,41493 \text{ tf/m}$$

$$P = 154,149 \text{ kN/m}$$

Segundo a ABNT NBR 8890/03, a tensão de compressão diametral admissível para tubos de 1500 mm, quanto a ruptura é de 203 kN/m para o tubo PA 04, e a tensão de compressão diametral admissível quanto a trinca é de 180 kN/m para o tubo PA 04, sendo assim nesse caso o tubo de classe PA 04 passa nas duas verificações, quanto a ruptura e quanto a trinca.



---

## **ANEXO VII**

### **MEMORANDO 077/2009**

---



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

---

CONSÓRCIO CONSTRUTOR AGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 02      PACOTE – 1415

---

MEMORANDO Nº 077/2009

DATA: 16/07/2009

Folha: 01/05

---

DE: Eng. Cássio Vittori – Gerente de Engenharia - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

---

PARA: Engº. Habib Sabagh Neto - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 02

---

Assunto: Aprovação de mudança de método executivo do bueiro B028 do canal CN10.

---

Prezado Senhor,

Encaminhamos para vossa apreciação e aprovação, solicitação de autorização para mudança do método executivo a ser empregado na execução do bueiro B028 do canal CN 10, de moldado in loco, para tubos pré-moldados de concreto.

Conforme cálculo em anexo, a substituição do método executivo do bueiro de moldados in loco, por execução com a utilização de tubos armados pré-fabricados de concreto, pode ser realizada neste caso, desde que utilizados tubos de classe PA 4, no que se refere a dimensionamento estrutural.

Os limites de tensão de compressão diametral admissíveis, utilizados para a verificação quanto à trinca e à ruptura, foram os descritos na norma ABNT NBR 8890-03, e as alturas de aterro consideradas para a verificação são as encontradas nos projetos executivos.

Atenciosamente,

  
Cássio Vittori de Campos  
Gerente de Engenharia

Recebido em: 16/07/09  
SONDOTÉCNICA  
13:15h

## 1. DESCRIÇÃO GERAL

Esse memorial descreve os cálculos feitos para determinação da classe de tubo a ser utilizada no bueiro B028 do canal CN 10 situado na estaca 3.407+04,733.

A situação considerada foi a seguinte:

- $\gamma_{\text{solo}} = 1,8 \text{ tf/m}^3$  (peso específico do solo).
- Material sem coesão (situação mais desfavorável).
- $K_a \mu = 0,192$ .
- Assentamento dos tubos sobre base de concreto de 15 mPa.
- Abertura de vala de 2,00 m.
- Altura de aterro de 8,54 m para o bueiro B028.
- Método executivo: abertura de vala a céu aberto.

Onde  $K_a$  é o coeficiente de empuxo ativo e  $\mu$  é a tangente do ângulo de atrito do material entre o aterro e as paredes da vala.

## 2. CÁLCULO DA CLASSE DE TUBO B028

### 2.1 Sobrecarga de aterro

$$\alpha = \frac{2.K_a.tg\delta}{b}$$

$$\alpha = \frac{2.0,192}{2,00} = 0,192$$

$$cd = \frac{1 - e^{-\alpha.h}}{2.K_a.tg\delta}$$

$$cd = \frac{1 - e^{-0,192.8,54}}{2.0,192}$$

$$cd = 2,09885$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 165 e 166.



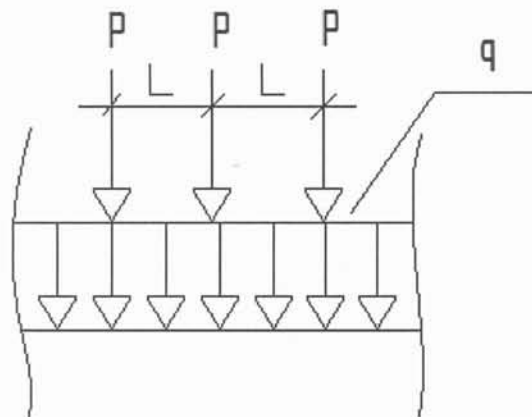
$$P = \gamma \cdot b^2 \cdot cd$$

$$P = 1,8 \cdot 2,00^2 \cdot 2,09885$$

$$P = 15,1117 \text{ tf/m}$$

## 2.2 Sobrecarga de trem-tipo rodoviário

Para o cálculo das sobrecargas concentrada e distribuída oriundas de um trem-tipo rodoviário, foi considerado o de 45 ton.

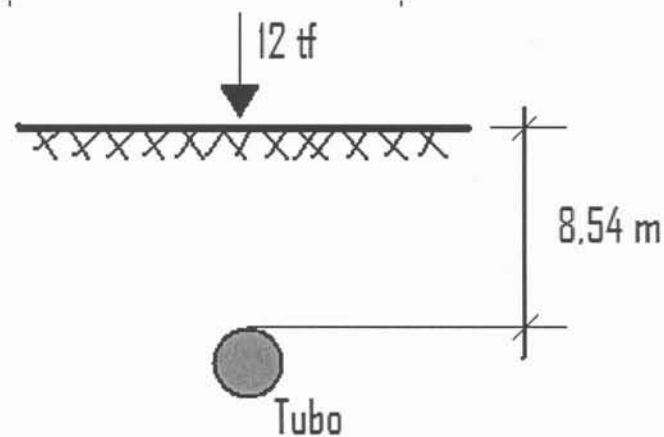


Onde  $P = 12 \text{ tf}$

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

### 2.2.1 Sobrecarga concentrada

Para efeito de facilitar os cálculos, a carga concentrada, foi considerada como atuante diretamente na direção do eixo do tubo.



$$\sigma_z = \frac{3.P}{2.\pi.Z^2}$$

$$\sigma_z = \frac{3.12}{2.3,14.8,54^2}$$

$$\sigma_z = 0,0786$$

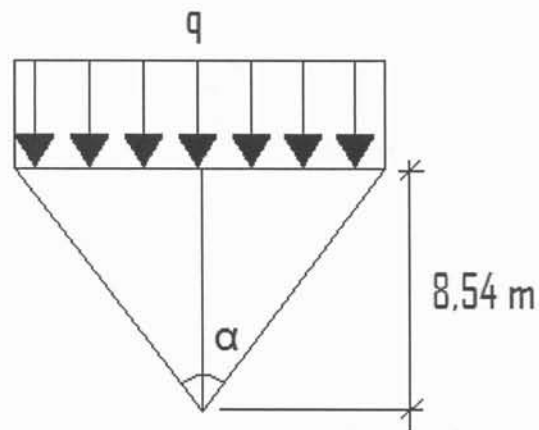
$$q = \sigma_z.b$$

$$q = 0,0786.2,00$$

$$q = 0,157202 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 61.

### 2.2.2 Sobrecarga distribuída



$$\text{tg} \alpha = \frac{b:2}{Z}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{2:2}{8,54} = 0,117096$$

$$\alpha = 6,6786^\circ$$

$$\alpha = 0,116565 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,233130 \text{ rad}$$

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten mark]*



$$\sigma_z = \frac{P}{\pi}(2.\alpha + \text{sen}\alpha)$$

$$\sigma_z = \frac{0,5}{3,14}(2.0,23313 + \text{sen}0,23313)$$

$$\sigma_z = 0,07489 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 64 e 65.

### 2.3 Tensão solicitante total

A tensão solicitante total dá-se pelas somatórias das tensões solicitantes devidas às sobrecarga de aterro, e de trem rodoviário, concentrada e distribuída.

$$P = 15,1117 + 0,157202 + 0,07489$$

$$P = 15,3437 \text{ tf/m}$$

$$P = 153,437 \text{ kN/m}$$

Segundo a ABNT NBR 8890/03, a tensão de compressão diametral admissível para tubos de 1500 mm, quanto a ruptura é de 203 kN/m para o tubo PA 04, e a tensão de compressão diametral admissível quanto a trinca é de 180 kN/m para o tubo PA 04, sendo assim nesse caso o tubo de classe PA 04 passa nas duas verificações, quanto a ruptura e quanto a trinca.




---

## ***ANEXO VIII***

### ***MEMORANDO 078/2009***

---



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

CONSÓRCIO CONSTRUTOR AGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 02      PACOTE – 1415

MEMORANDO N° 078/2009

DATA: 16/07/2009

Folha: 01/05

DE: Eng. Cássio Vittori – Gerente de Engenharia - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

PARA: Eng°. Habib Sabagh Neto - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 02

Assunto: Aprovação de mudança de método executivo do bueiro B022 do canal CN10.

Prezado Senhor,

Encaminhamos para vossa apreciação e aprovação, solicitação de autorização para mudança do método executivo a ser empregado na execução do bueiro B022 do canal CN 10, de moldado in loco, para tubos pré-moldados de concreto.

Conforme cálculo em anexo, a substituição do método executivo do bueiro de moldados in loco, por execução com a utilização de tubos armados pré-fabricados de concreto, pode ser realizada neste caso, desde que utilizados tubos de classe PA 4, no que se refere a dimensionamento estrutural.

Os limites de tensão de compressão diametral admissíveis, utilizados para a verificação quanto à trinca e à ruptura, foram os descritos na norma ABNT NBR 8890-03, e as alturas de aterro consideradas para a verificação são as encontradas nos projetos executivos.

Atenciosamente,

Cássio Vittori de Campos

Gerente de Engenharia

Recebido em 16/07/09  
SONDA TÉCNICA

13:15h

## 1. DESCRIÇÃO GERAL

Esse memorial descreve os cálculos feitos para determinação da classe de tubo a ser utilizada no bueiro B022 do canal CN 10 situado na estaca 3.246+17,489.

A situação considerada foi a seguinte:

- $\gamma_{\text{solo}} = 1,8 \text{ tf/m}^3$  (peso específico do solo).
- Material sem coesão (situação mais desfavorável).
- $K_a \mu = 0,192$ .
- Assentamento dos tubos sobre base de concreto de 15 mPa.
- Abertura de vala de 2,00 m.
- Altura de aterro de 9,04 m para o bueiro B022.
- Método executivo: abertura de vala a céu aberto.

Onde  $K_a$  é o coeficiente de empuxo ativo e  $\mu$  é a tangente do ângulo de atrito do material entre o aterro e as paredes da vala.

## 2. CÁLCULO DA CLASSE DE TUBO B022

### 2.1 Sobrecarga de aterro

$$\alpha = \frac{2.K_a.tg\delta}{b}$$

$$\alpha = \frac{2.0,192}{2,00} = 0,192$$

$$cd = \frac{1 - e^{-\alpha.h}}{2.K_a.tg\delta}$$

$$cd = \frac{1 - e^{-0,192.9,04}}{2.0,192}$$

$$cd = 2,1451$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 165 e 166.



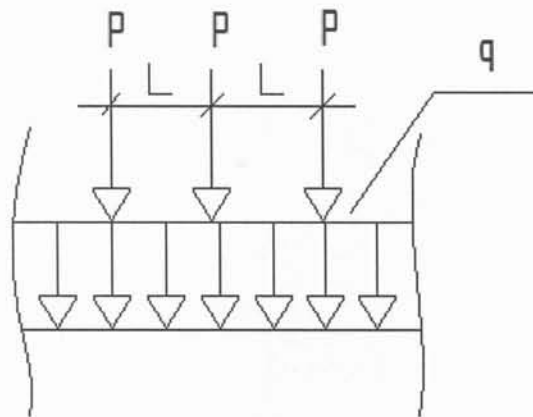
$$P = \gamma . b^2 . cd$$

$$P = 1,8 . 2,00^2 . 2,151$$

$$P = 15,4872 \text{ tf/m}$$

## 2.2 Sobrecarga de trem-tipo rodoviário

Para o cálculo das sobrecargas concentrada e distribuída oriundas de um trem-tipo rodoviário, foi considerado o de 45 ton.

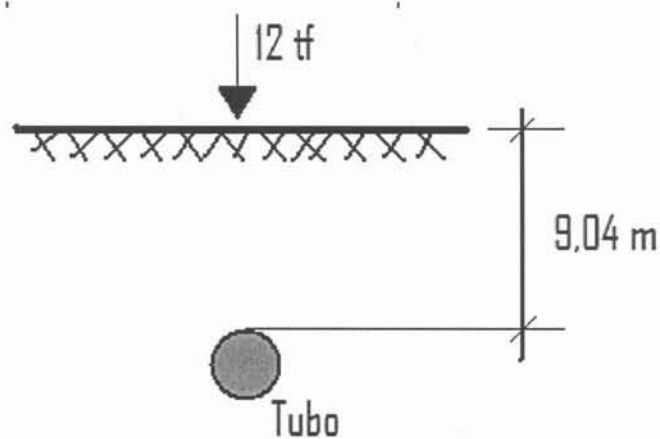


Onde  $P = 12 \text{ tf}$

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

### 2.2.1 Sobrecarga concentrada

Para efeito de facilitar os cálculos, a carga concentrada, foi considerada como atuante diretamente na direção do eixo do tubo.



*[Assinatura]*

$$\sigma_z = \frac{3.P}{2.\pi.Z^2}$$

$$\sigma_z = \frac{3.12}{2.3,14.9,04^2}$$

$$\sigma_z = 0,07015$$

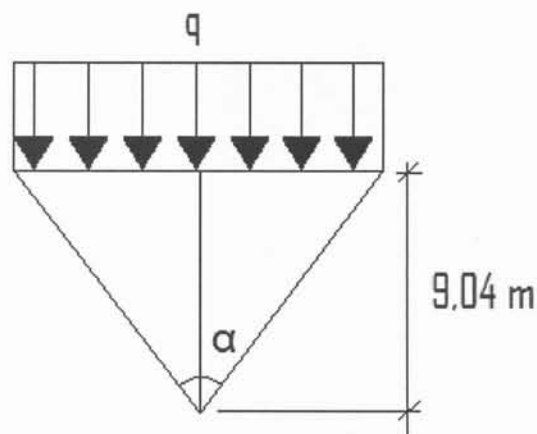
$$q = \sigma_z.b$$

$$q = 0,07015.2,00$$

$$q = 0,140292 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 61.

### 2.2.2 Sobrecarga distribuída



$$\text{tg} \alpha = \frac{b:2}{Z}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{2:2}{9,04} = 0,110619$$

$$\alpha = 6,31236^\circ$$

$$\alpha = 0,11017 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,220343 \text{ rad}$$

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi} (2.\alpha + \text{sen}\alpha)$$

$$\sigma_z = \frac{0,5}{3,14} (2.0,220343 + \text{sen}0,220343)$$

$$\sigma_z = 0,07078 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 64 e 65.

### 2.3 Tensão solicitante total

A tensão solicitante total dá-se pelas somatórias das tensões solicitantes devidas à sobrecarga de aterro, e de trem rodoviário, concentrada e distribuída.

$$P = 15,4872 + 0,140292 + 0,07078$$

$$P = 15,6983 \text{ tf/m}$$

$$P = 156,983 \text{ kN/m}$$

Segundo a ABNT NBR 8890/03, a tensão de compressão diametral admissível para tubos de 1500 mm, quanto a ruptura é de 203 kN/m para o tubo PA 04, e a tensão de compressão diametral admissível quanto a trinca é de 180 kN/m para o tubo PA 04, sendo assim nesse caso o tubo de classe PA 04 passa nas duas verificações, quanto a ruptura e quanto a trinca.



---

## **ANEXO IX**

### **MEMORANDO 079/2009**

---





MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

CONSÓRCIO CONSTRUTOR AGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 02      PACOTE – 1415

MEMORANDO Nº079/2009

DATA: 16/07/2009

Folha: 01/05

DE: Eng. Cássio Vittori – Gerente de Engenharia - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

PARA: Engº. Habib Sabagh Neto - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 02

Assunto: Aprovação de mudança de método executivo do bueiro B026 do canal CN10.


Prezado Senhor,

Encaminhamos para vossa apreciação e aprovação, solicitação de autorização para mudança do método executivo a ser empregado na execução do bueiro B026 do canal CN 10, de moldado in loco, para tubos pré-moldados de concreto.

Conforme cálculo em anexo, a substituição do método executivo dos bueiros de moldados in loco, por execução com a utilização de tubos armados pré-fabricados de concreto, pode ser realizada neste caso, desde que utilizados tubos de classe PA 4, no que se refere a dimensionamento estrutural.

Os limites de tensão de compressão diametral admissíveis, utilizados para a verificação quanto à trinca e à ruptura, foram os descritos na norma ABNT NBR 8890-03, e as alturas de aterro consideradas para a verificação são as encontradas nos projetos executivos.

Atenciosamente,

  
Cássio Vittori de Campos  
Gerente de Engenharia

16/07/09  
recebido em  
SOND. TÉCNICA  
13:15h

## 1. DESCRIÇÃO GERAL

Esse memorial descreve os cálculos feitos para determinação da classe de tubo a ser utilizada no bueiro B026 do canal CN 10 situado na estaca 3.370+06,858.

A situação considerada foi a seguinte:

- $\gamma_{\text{solo}} = 1,8 \text{ tf/m}^3$  (peso específico do solo).
- Material sem coesão (situação mais desfavorável).
- $Ka\mu = 0,192$ .
- Assentamento dos tubos sobre base de concreto de 15 mPa.
- Abertura de vala de 2,00 m.
- Altura de aterro de 9,80 m para o bueiro B026.
- Método executivo: abertura de vala a céu aberto.

Onde  $Ka$  é o coeficiente de empuxo ativo e  $\mu$  é a tangente do ângulo de atrito do material entre o aterro e as paredes da vala.

## 2. CÁLCULO DA CLASSE DE TUBO B026

### 2.1 Sobrecarga de aterro

$$\alpha = \frac{2.Ka.tg\delta}{b}$$

$$\alpha = \frac{2.0,192}{2,00} = 0,192$$

$$cd = \frac{1 - e^{-\alpha.h}}{2.Ka.tg\delta}$$

$$cd = \frac{1 - e^{-0,192.9,80}}{2.0,192}$$

$$cd = 2,20743$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 165 e 166.



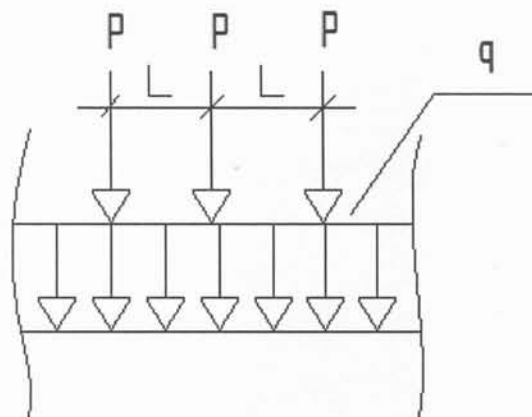
$$P = \gamma \cdot b^2 \cdot cd$$

$$P = 1,8 \cdot 2,00^2 \cdot 2,20743$$

$$P = 15,8934 \text{ tf/m}$$

## 2.2 Sobrecarga de trem-tipo rodoviário

Para o cálculo das sobrecargas concentrada e distribuída oriundas de um trem-tipo rodoviário, foi considerado o de 45 ton.

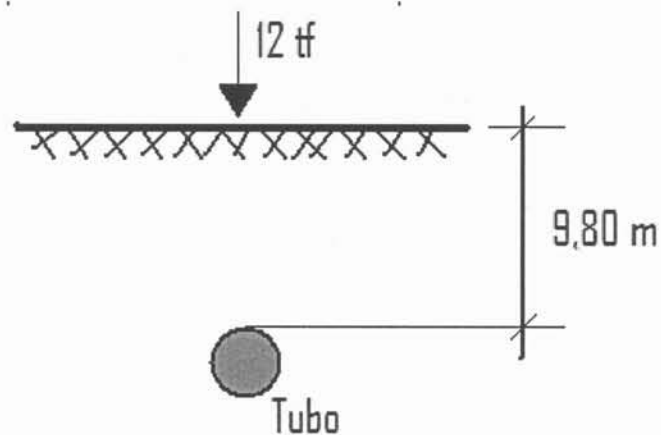


Onde  $P = 12 \text{ tf}$

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

### 2.2.1 Sobrecarga concentrada

Para efeito de facilitar os cálculos, a carga concentrada, foi considerada como atuante diretamente na direção do eixo do tubo.



*[Assinatura]*

$$\sigma_z = \frac{3.P}{2.\pi.Z^2}$$

$$\sigma_z = \frac{3.12}{2.3,14.9,80^2}$$

$$\sigma_z = 0,0596$$

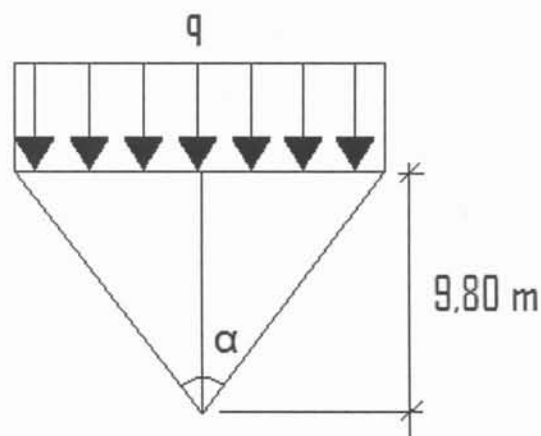
$$q = \sigma_z.b$$

$$q = 0,0596.2,00$$

$$q = 0,1192 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 61.

### 2.2.2 Sobrecarga distribuída



$$\text{tg} \alpha = \frac{b:2}{Z}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{2:2}{9,80} = 0,10204$$

$$\alpha = 5,826^\circ$$

$$\alpha = 0,101688 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,203377 \text{ rad}$$

*[Handwritten signature]*

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi} (2.\alpha + \text{sen}\alpha)$$

$$\sigma_z = \frac{0,5}{3,14} (2.0,203377 + \text{sen}0,203377)$$

$$\sigma_z = 0,06533 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 64 e 65.

### 2.3 Tensão solicitante total

A tensão solicitante total dá-se pelas somatórias das tensões solicitantes devidas à sobrecarga de aterro, e de trem rodoviário, concentrada e distribuída.

$$P = 15,8934 + 0,1192 + 0,06533$$

$$P = 16,07793 \text{ tf/m}$$

$$P = 160,779 \text{ kN/m}$$

Segundo a ABNT NBR 8890/03, a tensão de compressão diametral admissível para tubos de 1500 mm, quanto a ruptura é de 203 kN/m para o tubo PA 04, e a tensão de compressão diametral admissível quanto a trinca é de 180 kN/m para o tubo PA 04, sendo assim nesse caso o tubo de classe PA 04 passa nas duas verificações, quanto a ruptura e quanto a trinca.



---

# **ANEXO X**

## **MEMORANDO 080/2009**

---



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL  
PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO  
COM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE SETENTRIONAL

---

CONSÓRCIO CONSTRUTOR AGUAS DO SÃO FRANCISCO – LOTE 02      PACOTE – 1415

---

MEMORANDO N°080/2009

DATA: 16/07/2009

Folha: 01/05

---

DE: Eng. Cássio Vittori – Gerente de Engenharia - Consórcio Construtor Águas do São Francisco

---

PARA: Eng°. Habib Sabagh Neto - Coordenador de Contrato – Supervisão Lote 02

---

Assunto: Aprovação de mudança de método executivo do bueiro B030 do canal CN10.

---


Prezado Senhor,

Encaminhamos para vossa apreciação e aprovação, solicitação de autorização para mudança do método executivo a ser empregado na execução do bueiro B030 do canal CN 10, de moldado in loco, para tubos pré-moldados de concreto.

Conforme cálculo em anexo, a substituição do método executivo do bueiro de moldados in loco, por execução com a utilização de tubos armados pré-fabricados de concreto, pode ser realizada neste caso, desde que utilizados tubos de classe PA 4, no que se refere a dimensionamento estrutural.

Os limites de tensão de compressão diametral admissíveis, utilizados para a verificação quanto à trinca e à ruptura, foram os descritos na norma ABNT NBR 8890-03, e as alturas de aterro consideradas para a verificação são as encontradas nos projetos executivos.

Atenciosamente,

  
Cássio Vittori de Campos  
Gerente de Engenharia

Recebido em 16/07/09  
13:15  
SONDOTÉCNICA

## 1. DESCRIÇÃO GERAL

Esse memorial descreve os cálculos feitos para determinação da classe de tubo a ser utilizada no bueiro B030 do canal CN 10 situado na estaca 3.461+17,000.

A situação considerada foi a seguinte:

- $\gamma_{\text{solo}} = 1,8 \text{ tf/m}^3$  (peso específico do solo).
- Material sem coesão (situação mais desfavorável).
- $K_a \mu = 0,192$ .
- Assentamento dos tubos sobre base de concreto de 15 mPa.
- Abertura de vala de 2,00 m.
- Altura de aterro de 10,03 m para o bueiro B030.
- Método executivo: abertura de vala a céu aberto.

Onde  $K_a$  é o coeficiente de empuxo ativo e  $\mu$  é a tangente do ângulo de atrito do material entre o aterro e as paredes da vala.

## 2. CÁLCULO DA CLASSE DE TUBO B030

### 2.1 Sobrecarga de aterro

$$\alpha = \frac{2.K_a \mu \delta}{b}$$

$$\alpha = \frac{2.0,192}{2,00} = 0,192$$

$$cd = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot h}}{2.K_a \mu \delta}$$

$$cd = \frac{1 - e^{-0,192 \cdot 10,03}}{2.0,192}$$

$$cd = 2,22457$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 165 e 166.





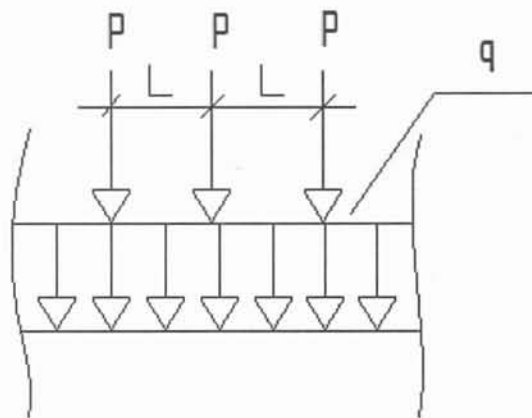
$$P = \gamma \cdot b^2 \cdot cd$$

$$P = 1,8 \cdot 2,00^2 \cdot 2,22457$$

$$P = 16,016 \text{ tf/m}$$

## 2.2 Sobrecarga de trem-tipo rodoviário

Para o cálculo das sobrecargas concentrada e distribuída oriundas de um trem-tipo rodoviário, foi considerado o de 45 ton.

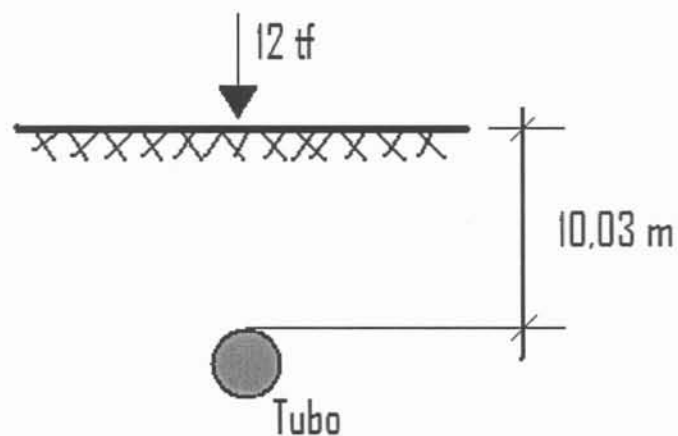


Onde  $P = 12 \text{ tf}$

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

### 2.2.1 Sobrecarga concentrada

Para efeito de facilitar os cálculos, a carga concentrada, foi considerada como atuante diretamente na direção do eixo do tubo.



$$\sigma_z = \frac{3.P}{2.\pi.Z^2}$$

$$\sigma_z = \frac{3.12}{2.3,14.10,03^2}$$

$$\sigma_z = 0,056982$$

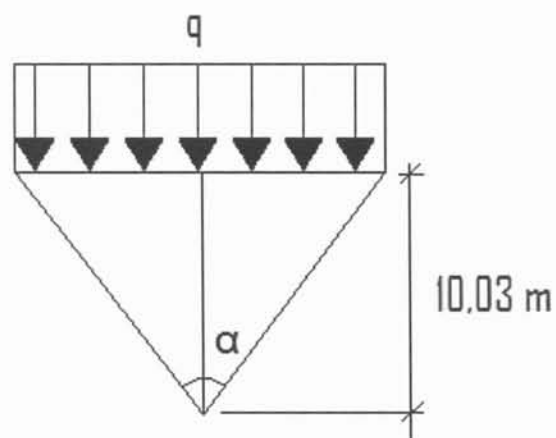
$$q = \sigma_z.b$$

$$q = 0,056982.2,00$$

$$q = 0,113965 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 61.

### 2.2.2 Sobrecarga distribuída



$$\text{tg} \alpha = \frac{b:2}{Z}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{2:2}{10,03} = 0,099701$$

$$\alpha = 5,6936^\circ$$

$$\alpha = 0,09937 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,19874 \text{ rad}$$

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten initials]*

$$\sigma_z = \frac{P}{\pi} (2.\alpha + \text{sen}\alpha)$$

$$\sigma_z = \frac{0,5}{3,14} (2.0,19874 + \text{sen}0,19874)$$

$$\sigma_z = 0,063845 \text{ tf/m}$$

Fonte: Livro Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Volume 02, Autor Homero Pinto Caputo; 5ª edição; páginas 64 e 65.

### 2.3 Tensão solicitante total

A tensão solicitante total dá-se pelas somatórias das tensões solicitantes devidas às sobrecarga de aterro, e de trem rodoviário, concentrada e distribuída.

$$P = 16,016 + 0,113965 + 0,063845$$

$$P = 16,19381 \text{ tf/m}$$

$$P = 161,938 \text{ kN/m}$$

Segundo a ABNT NBR 8890/03, a tensão de compressão diametral admissível para tubos de 1500 mm, quanto a ruptura é de 203 kN/m para o tubo PA 04, e a tensão de compressão diametral admissível quanto a trinca é de 180 kN/m para o tubo PA 04, sendo assim nesse caso o tubo de classe PA 04 passa nas duas verificações, quanto a ruptura e quanto a trinca.

