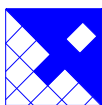




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais



**PROJETO SÃO FRANCISCO
ÁGUA PARA TODOS**

**PROJETO BÁSICO DE TRANSPOSIÇÃO
DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO
PARA O NORDESTE SETENTRIONAL**

EIXO NORTE – TRECHO I

**R3 - SISTEMA DE CAPTAÇÃO NO RIO SÃO
FRANCISCO**

TOMO 1



Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

**PROJETO BÁSICO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO
SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL**

EIXO NORTE – TRECHO I

**R3 - SISTEMA DE CAPTAÇÃO NO RIO SÃO
FRANCISCO**

TOMO 1

Dezembro/2000

PROJETO TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

Ministro de Estado da Integração Nacional: Fernando Luiz Gonçalves Bezerra

Secretário de Infra-Estrutura Hídrica: Rômulo de Macedo Vieira

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor: Márcio Nogueira Barbosa

Vice Diretor: Volker W. J. H. Kirchhoff

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais

Gerente: José Armando Varão Monteiro

Coordenador: Antônio Carlos de Almeida Vidon

ENGEORPS/HARZA

Coordenadores: Marcos Oliveira Godoi

Fábio Luís Ramos de Abreu

Murillo Dondici Ruiz

Brasília, dezembro de 2000.

ENGEORPS/HARZA.

Projeto Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional;
Relatório R3 – SISTEMA DE CAPTAÇÃO NO RIO SÃO FRANCISCO TOMO 1 – São Paulo:
ENGEORPS/HARZA, 2000.

63 p.

1. Transposição de Águas;
2. Eixo Norte – Trecho I – R3 - SISTEMA DE CAPTAÇÃO NO RIO SÃO FRANCISCO - TOMO 1

CDU - 556.5:627.81

FUNCATE:

Av. Dr. João Guilhermino, 429, 11º Andar – Centro

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 341 1399

Fax: (0XX 12) 341 2829

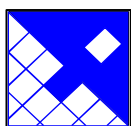
Projeto				Data			
AEC ALF CLR FP				15/12/2000			
Verificação				Data			
				15/12/2000			
Aprovação				Data			
MOG CMN				15/12/2000			
Aprovação				Data			
MDR				15/12/2000			
Rev.	Data	Folha	Descrição	Aprovação		FUNCATE	
						Data	Aprovação
0/B	08/05/01		Formatação e Correção	MOG			

**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS
DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O
NORDESTE SETENTRIONAL
PROJETO BÁSICO**

EIXO NORTE - TRECHO I

R3 - SISTEMA DE CAPTAÇÃO NO RIO SÃO FRANCISCO

**TOMO 1
Dezembro / 2000**



FUNCATE

*Fundação de Ciências
Aplicações e Tecnologias
Espaciais*

Verificação	Data
Aprovação	Data
Aprovação	Data
Código FUNCATE	Data
Substitui	Substituído
Número Empresa	Revisão
261-FUN-TSF-RT-B0009	0/B

**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O
NORDESTE SETENTRIONAL
EIXO NORTE – TRECHO I
EQUIPE PRINCIPAL DO CONSÓRCIO ENGEORPS-HARZA**

- ***Coordenação Geral***
 - Marcos Oliveira Godoi
 - Murillo Dondici Ruiz
 - Fábio Luís Ramos de Abreu

- ***Hidráulica e Hidrologia***
 - Antônio Eurides Conte
 - Alberto Lang Filho
 - Luís Antônio Villaça de Garcia
 - Carlos Lloret Ramos
 - Flávio Tonelli Pimenta
 - Marcelo Ferreira Maximiano
 - Mauro Toscano

- ***Geologia e Geotecnia***
 - Claudio Michel Nahas
 - Fernão Paes de Barros
 - Ary Paulo Rodrigues
 - Andréa Cristina Parreira
 - Frederico Bohland Neto
 - Hiromit Nakao
 - Tays Ribeiro

- ***Levantamentos Topográficos Complementares***
 - Ivan Bustamante
 - Ualfrido Del Carlo Jr.

- ***Estruturas e Fundações***
 - Tetsuo Kawano
 - Flavio Rubin

- ***Eletromecânica***
 - Bernd Dieter Lukas
 - Coaraci Inajá Ribeiro
 - Angel Jimenez Murillo
 - José Sussumo Komatsu
 - Leonardo Cavalcanti Netto
 - José Orlando Paludetto Silva

- ***Planejamento e Orçamento***
 - José Armando Del Grecco Peixoto
 - Luis Edmundo França Ribeiro

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R3 – SISTEMA DE CAPTAÇÃO NO RIO SÃO FRANCISCO, parte integrante do PROJETO BÁSICO DO EIXO NORTE – TRECHO I, referente ao PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL, elaborado pelo Consórcio ENGENCORPS-HARZA, dentro do contrato com a FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais.

O Projeto Básico do Eixo Norte – Trecho I é apresentado nos seguintes relatórios:

- R1 - Descrição do Projeto.
- R2 - Critérios de Projeto.
- R3 - Sistema de Captação no Rio São Francisco.
- R4 - Estações de Bombeamento.
- R5 - Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas D'água para Usos Difusos, Túneis e Estruturas de Controle.
- R6 - Barragens e Vertedores.
- R7 - Sistema de Drenagem.
- R8 - Topografia e Cadastramento.
- R9 - Geologia e Geotecnia.
- R10 - Estudos Hidrológicos.
- R11 - Sistema de Supervisão, Controle e Telecomunicações.
- R12 - Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional.
- R13 - Sistema Elétrico, Subestações Auxiliares e Sistema de Transmissão.
- R14 - Acessos, Vilas e Canteiros.
- R15 - Cronogramas, Orçamento e Planejamento.
- R16 - Caderno de Desenhos.
- R17 - Dossiê de Licitação.

O Relatório é apresentado em 2 tomos, sendo:

Tomo 1 - Sistema de Captação no Rio São Francisco

Tomo 2 - Levantamentos Batimétricos, Medições de Descarga Líquida e Coleta de Dados Sedimentológicos no Rio São Francisco.

ÍNDICE

	PÁG.
1. OBJETO E OBJETIVO	2
2. CONCEPÇÃO BÁSICA	2
2.1 CARACTERÍSTICAS	2
2.2 NÍVEIS D'ÁGUA E VAZÕES NA REGIÃO DA CAPTAÇÃO NO RIO SÃO FRANCISCO	3
2.3 LEVANTAMENTOS TOPOBATIMÉTRICOS E SEDIMENTOMÉTRICOS	3
3. SÍNTESE DOS ESTUDOS DESENVOLVIDOS	3
3.1 LOCALIZAÇÃO	3
3.2 GEOLOGIA- GEOTECNIA	4
3.3 ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS	4
3.4 HIDRÁULICA	57

1. OBJETO E OBJETIVO

O objeto deste relatório é a Tomada D'água do Projeto Básico da Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional, Eixo Norte – Trecho I.

O Trecho I do Eixo Norte do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco tem como ponto de partida a tomada d'água localizada na margem esquerda deste rio, no trecho compreendido entre a barragem de Sobradinho e o reservatório da UHE Itaparica, nas proximidades da Ilha Assunção. Neste ponto serão retirados 99 m³/s de vazão destinados às bacias receptoras dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, e para a bacia do Rio Brígida no Estado de Pernambuco.

Este relatório tem por objetivo apresentar as principais características do Projeto Básico da Tomada D'água do Trecho I, elencando as campanhas de coleta de dados no campo e os estudos realizados, mormente nas áreas de Geologia-Geotecnia, Hidro Sedimentologia e Hidráulica.

2. CONCEPÇÃO BÁSICA

2.1 CARACTERÍSTICAS

A Tomada D'água do Trecho I é o início de todo o sistema de Transposição denominado de Eixo Norte, nas coordenadas N 9.055.377; E 449.870, na margem esquerda do Rio São Francisco. Neste local o canal da tomada d'água apresenta 150 m de largura, sendo esta reduzida para 9,5 metros de base nos primeiros 150 m à medida que o canal ruma para o Norte. Após percorrer aproximadamente 1500 m, o canal sofre uma deflexão para Noroeste e prossegue por cerca de 800 m até alcançar a estação de bombeamento EB-I/1.

O sistema de tomada d'água está apto a desviar 99 m³/s de água do Rio São Francisco em condições críticas de nível d'água, sendo dotado de características construtivas que visam à eliminação do efeito de carreamento de sedimentos conforme explicitado neste relatório.

2.2 NÍVEIS D'ÁGUA E VAZÕES NA REGIÃO DA CAPTAÇÃO NO RIO SÃO FRANCISCO

O projeto da captação da tomada d'água no Rio São Francisco considerou as seguintes vazões e níveis d'água, conforme dados coletados junto à CHESF:

N.A. mínimo observado = 325,30 m (Q=595 m³/s)

N.A. normal = 326,50 m (Q_{médio} = 2.000 m³/s)

N.A máximo maximorum (T≅100 anos) = 329,08 m (Q=14.000 m³/s)

2.3 LEVANTAMENTOS TOPOBATIMÉTRICOS E SEDIMENTOMÉTRICOS

No mês de dezembro de 1.999 foram executados os serviços de campo na região da tomada d'água do Trecho I. Tais serviços consistiram de levantamentos batimétricos de seções do Rio São Francisco, medições de velocidade e descarga líquida, avaliação de espessura de sedimentos no fundo, coleta de amostras de sedimentos do leito e em suspensão e finalmente a instalação de um posto limnimétrico na região.

Tais informações subsidiaram os trabalhos de engenharia, tendo sido usadas nas avaliações de Hidro-Sedimentologia apresentadas neste relatório.

O resumo dos serviços de campo bem como as campanhas de medição e plantas batimétricas são apresentados no Tomo 2.

3. SÍNTESE DOS ESTUDOS DESENVOLVIDOS

3.1 LOCALIZAÇÃO

A localização da tomada d'água foi definida baseada nos estudos de viabilidade, estudos complementares de sedimentologia e aspectos geológicos e geotécnicos.

Os principais aspectos considerados foram:

- evitar alterações no regime do canal natural localizado entre a Ilha Assunção e a margem esquerda do Rio São Francisco;

- facilitar a drenagem da várzea ao longo do canal de adução;
- evitar o carreamento de sedimentos para dentro do canal; e
- proximidade com a estação de bombeamento e o traçado otimizado.

3.2 GEOLOGIA-GEOTECNIA

O sistema de captação será implantado na planície aluvionar do Rio São Francisco, a qual é constituída principalmente por areias finas com leitos argilosos e esparsos níveis de cascalhos. Os sedimentos aluviais estão sobrepostos diretamente sobre o topo rochoso ou delgado horizonte de saprolito de biotita gnaisse e migmatitos. Em pontos isolados os aluviões chegam a atingir 15 m de profundidade.

Nessa região o material a ser escavado é essencialmente arenoso e o lençol freático situa-se entre 1,0 e 2,5 m de profundidade. Nas escavações abaixo do nível d'água, poderão ocorrer, eventualmente, infiltrações intensas se forem interceptados horizontes de areia média a grossa limpa e cascalho e poderão exigir rebaixamento. A implantação do canal exigirá o aprofundamento da escavação abaixo do aluvião, penetrando no maciço rochoso de gnaisse.

Esse trecho do canal foi investigado através de seções de refração sísmica, sondagens a percussão e sondagens mistas. No Relatório R9 – Geologia e Geotecnia são apresentados os resultados dessas investigações, e no desenho 261-FUN-TSF-A1-B0642 é apresentada a seção geológico-geotécnica longitudinal.

3.3 ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS

Apesar da captação do Eixo Norte situar-se a jusante do reservatório de Sobradinho, que apresenta grande capacidade de retenção, fizeram-se necessárias algumas considerações sobre o transporte sólido e suas implicações, uma vez que existe uma bacia de contribuição intermediária que poderia, eventualmente, ser uma importante fonte de sedimentos.

O ponto de partida para o estudo é o conhecimento da dinâmica de transporte no Rio São Francisco na região da captação. Para isto utilizou-se as informações das

campanhas de medição para o projeto, realizadas ao final de 1999 e início de 2000. A partir da análise da capacidade de transporte sólido em suspensão e de fundo além das características hidráulicas do canal da captação, foi possível avaliar as taxas de transporte desviadas e formas de redução deste aporte.

3.3.1 Fundamentos Teóricos

A seção de equilíbrio de um curso d'água natural está associada a uma vazão formativa, também denominada de *Vazão Modeladora*, ou seja, a que define as dimensões médias da seção. Esta vazão é representativa do hidrograma anual e produziria o mesmo padrão geomorfológico do rio caso ocorresse constantemente ao longo do ano. Não existe um padrão para a descrição da vazão modeladora, porém um dos critérios mais utilizados para a sua definição é a *Vazão de Seção Plena* do leito principal do rio (esta definição somente é válida para rios aluvionares).

No caso da região da captação no Rio São Francisco o critério de vazão modeladora é bastante afetado uma vez que o regime de vazões não é o natural. A operação do reservatório de Sobradinho é que impõe o regime de vazões, atenuando significativamente os picos das cheias naturais, porém elevando as vazões de estiagem. A grande capacidade de retenção de sedimentos também é um fator determinante para os padrões morfológicos a jusante da barragem. Portanto, nas considerações de cálculo que serão feitas mais adiante, ao se adotar a vazão modeladora segundo o critério do limite de extravasamento, estar-se-á utilizando um critério bastante conservativo.

Para a avaliação da capacidade de transporte foram selecionadas as equações de Ackers-White, Engelund-Hansen, Van Rijn e de Brownlie. Os critérios para a seleção destas equações foram, entre outros, a adequabilidade ao tipo de rio que se está estudando (morfologia, granulometria e hidrometria) e o uso consagrado destas equações. As três primeiras equações já foram muito testadas, apresentando boa credibilidade e resultados tidos como bastante satisfatórios. A equação de Brownlie tem como maior mérito o fato de ter sido desenvolvida a partir de um grande número de dados de laboratório e de campo levantados até o momento de sua elaboração, na década de 80. São contribuições das mais recentes no histórico de desenvolvimento de equações de transporte sólido.

De forma resumida, as equações utilizadas apresentam as seguintes estruturas básicas:

Equação de Ackers-White:

$$C = c.s \left(\frac{d}{Rh} \right) \left(\frac{V}{v_*} \right)^n \left(\frac{F_g}{A} - 1 \right)^{(1-n)}$$

onde:

C = é a concentração de sedimentos totais em peso;

D = é o diâmetro representativo (d_{50});

Rh = é o raio hidráulico;

$s = \gamma_s/\gamma =$ é a relação entre os pesos específicos do sedimento e da água;

V = é a velocidade média da vertical;

v_* = é a velocidade de atrito;

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}}$$

τ_o é a tensão de cisalhamento sobre o leito e ρ é a massa específica da água.

c, n, F_g e A são parâmetros da equação, calculados por:

60 > D* > 1	D* > 60
$\log(c) = 2,86 \log(D^*) - (\log(D^*))^2 - 3,53$	$c = 0,025$
$n = 1 - 0,56 \log(D^*)$	$n = 0,00$
A = 0,14 + 0,23/D*^{0,5}	A = 0,17
m = 1,34 + 9,66/D*	m = 1,50

D_* é o diâmetro sedimentológico, calculado por:

$$D_* = d \left[\frac{g(s-1)}{n^2} \right]$$

g = é a aceleração da gravidade;

v = é o coeficiente cinemático de viscosidade

$$F_g = \frac{v_*^n}{\sqrt{g \cdot d(s-1)}} \left[\frac{V}{\sqrt{32 \cdot \log(10Rh/d)}} \right]^{(1-n)}$$

Equação de Engelund-Hansen:

$$f \cdot \mathbf{f} = 0,1 \cdot \mathbf{t}_*^{2,5}$$

onde:

\mathbf{f} é o parâmetro de transporte de sedimentos de Einstein;

$$\mathbf{f} = \frac{q_{st}}{g_s \sqrt{g(s-1)d^3}}$$

q_{st} = é a vazão sólida específica em peso (kg/m.s);

γ_s = é o peso específico do sedimento;

f = é o fator de atrito total:

$$f = 8 \frac{V_*}{V}$$

τ^* = é o parâmetro de Shields, calculado por:

$$\mathbf{t}_* = \frac{t_o}{(g_s - g) \cdot d} = \frac{V_*}{(s-1) \cdot g d}$$

Equação de Van Rijn:

$$\frac{q_{sf}}{V.h} = 0,005 \left(\frac{V - V_c}{\sqrt{(s-1)gd_{50}}} \right)^{2,4} \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{1,2}$$

$$\frac{q_{ss}}{V.h} = 0,012 \left(\frac{V - V_c}{\sqrt{(s-1)gd_{50}}} \right)^{2,4} \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{D_*^{-0,6}}$$

onde:

q_{sf} e q_{ss} = são as vazões específicas em peso, de fundo e em suspensão;

V_{cr} = é a velocidade crítica de início de movimento, calculada por:

$$V_c = \alpha d_{50}^{\beta} \cdot \log \left(\frac{12.Rh}{3.d_{90}} \right)$$

onde os coeficientes α e β são definidos em função da dimensão de d_{50} :

d_{50}	α	β
0,1 mm < d_{50} < 0,5 mm	0,19	0,1
0,5 mm < d_{50} < 2,0 mm	8,5	0,6

Equação de Brownlie:

$$C = 9022 \left(\frac{V - V_c}{\sqrt{(s-1)gd}} \right)^{1,978} \left(\frac{Rh}{d} \right)^{-0,3301} j^{0,6601}$$

onde:

j = é a declividade da linha de energia;

V_c = é a velocidade crítica definida por:

$$\frac{V_c}{\sqrt{(s-1)gd}} = 4,596 \cdot t_{*c}^{0,529} j^{-0,1405} s^{-0,1606}$$

τ_{*c} = é o parâmetro de Shields para a condição crítica;

s = é o desvio padrão geométrico da distribuição granulométrica;

Os demais termos já foram definidos nas equações anteriores.

Pode-se, a partir de uma seção de rio regular e estável, definir os padrões característicos de equilíbrio do escoamento sólido e líquido do trecho em estudo, ou seja, a capacidade de transporte de sólidos determinada pelas equações apresentadas anteriormente devem definir o regime de transporte de sólidos.

A equação de distribuição vertical de concentrações, também é bastante útil para o entendimento da dinâmica de transporte sólido, como ocorre a segregação do transporte, quais as parcelas mais susceptíveis à deposição e as parcelas mais finas que deverão ser transportadas perenemente por todo o sistema, praticamente sem deposições (carga de lavagem). Com este tipo de informação pode-se encontrar as formas mais eficientes de impedir, pelo menos em parte, o acesso dos sedimentos à captação.

A equação de O'Brien, que permite determinar a distribuição dos sedimentos em suspensão, é expressa da forma:

$$\frac{C}{C_a} = \left(\frac{h-y}{y} \cdot \frac{a}{h-a} \right)^z$$

onde:

C e C_a = são as concentrações a uma distância "y" e "a" do leito;

a = é a distância de referência, normalmente tomada a 0,05.h;

h = é a profundidade local;

z = parâmetro de Rouse, definido por:

$$z = \frac{\omega_0}{C \cdot V^*}$$

ω_0 = é a velocidade de queda do sedimento;

χ = é a constante de Von Karmann (= 0,4);

O parâmetro de Rouse (z) é um indicativo importante, pois valores elevados de z indicam, ou que o nível de turbulência é baixo (v^* pequeno) como é o caso de escoamentos que entram em reservatórios, ou que os sedimentos em suspensão são graúdos (w_o elevado). Neste caso os sedimentos concentram-se mais próximos ao leito, não tendo condições de atingir alturas elevadas na coluna líquida, tendendo a se depositar mais rapidamente. Por esta razão, em situações como esta somente sedimentos muito finos é que conseguem ultrapassar os limites dos reservatórios. O raciocínio inverso também pode ser feito, de forma que partículas finas (siltes e argilas) ou situações de alto nível de turbulência (rios de grande declividade), apresentam uma distribuição de concentração de sedimentos em suspensão mais uniformemente distribuída ao longo da coluna líquida. A Figura 1, apresenta exemplos de distribuição de concentrações para diferentes valores de z , ilustrando melhor estes conceitos.

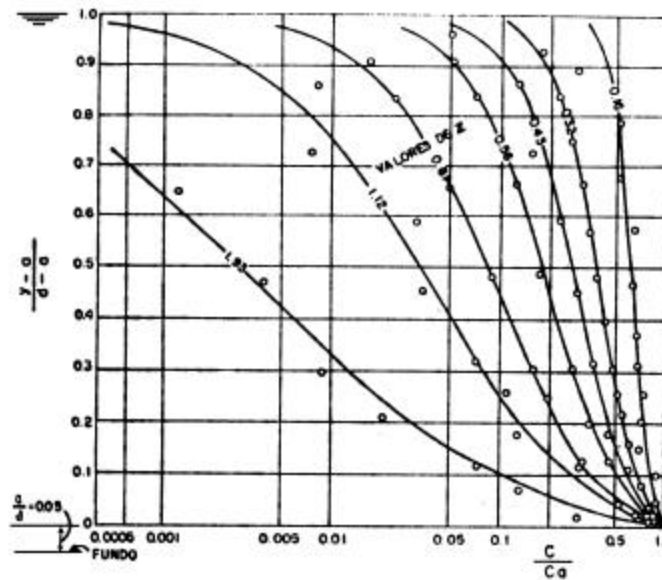


Figura 1 – Distribuição de Concentrações (de Vanoni-1977)

Como complemento da conceituação do transporte em suspensão, é interessante também abordar a condição crítica de início de sustentação de uma partícula sólida. Um critério sobre esta condição crítica foi apresentado por Bagnold, que considerava esta situação quando a força hidrodinâmica ascensional, devido à turbulência, superava o peso da partícula. Esta situação ocorre quando:

$$\frac{V_*}{w_o} = 1$$

Um outro critério foi apresentado, posteriormente por Van Rijn, fazendo considerações semelhantes:

$$\frac{v_*}{w_o} = \frac{4}{D} \quad \text{para } 1 < D < 10$$

$$\frac{v_*}{w_o} = 0,4 \quad \text{para } 10 < D.$$

A velocidade de queda das partículas finas, até 0,1 mm, pode ser calculada pela lei de Stokes, que para as condições usuais é dada por:

$$w_o = 898.333 \cdot d^2$$

Para diâmetros entre 0,1 mm e 1,0 mm a velocidade de queda pode ser calculada pela equação de Zanke:

$$w_o = 10 \frac{n}{D} \left[\sqrt{1 + \frac{0,01(s-1)gD^3}{n^2}} - 1 \right]$$

Para diâmetros superiores a 1,0 mm pode-se utilizar a equação:

$$w_o = 1,1\sqrt{(s-1)gD}$$

A determinação da tensão de cisalhamento, ou da velocidade de atrito, pode ser feita indiretamente através da distribuição de velocidades na vertical, ou a partir da declividade da linha d'água. A primeira forma é a mais adequada por não incorrer em imprecisões de levantamentos topográficos e de definições de distâncias.

Considerando-se que a distribuição teórica de velocidades no regime turbulento deve seguir uma distribuição logarítmica do tipo:

$$\frac{v}{v_*} = \frac{1}{\chi} \cdot \ln\left(\frac{y}{K}\right) + \text{constante}$$

onde K é a rugosidade do leito e χ é a constante de Von Karmann. O valor de χ para escoamentos com transporte de sedimentos discretos tem o valor aproximado igual a 0,4.

Fazendo-se a regressão linear entre a velocidade e o logaritmo da distância de medição em relação ao fundo (y) encontra-se o valor da velocidade de atrito, e conseqüentemente da tensão de cisalhamento, pela equação:

$$V_* = \alpha \cdot a$$

onde α é o coeficiente angular da regressão.

Alguns valores de características hidráulicas foram determinados pela equação de Manning:

$$V = \frac{Rh^{2/3} j^{1/2}}{n}$$

3.3.2 Base de dados para os cálculos

O leito do Rio São Francisco, no trecho em estudo, é constituído predominantemente de areias médias, conforme a tabela do resumo das características granulométricas (Quadro 1). O valor da média do diâmetro mediano das amostras levantadas é $d_{50} = 0,50 \text{ mm}$ e o desvio padrão é $s = 2,35$, sendo que este último é calculado, admitindo-se que as distribuições granulométricas aproximem-se à uma lei de variação do tipo log-normal, pela equação:

$$s = 0,5 \cdot \left(\frac{d_{50}}{d_{16}} + \frac{d_{84}}{d_{50}} \right)$$

Para os cálculos com a discretização da granulometria, considerando a mesma distribuição log-normal, determinou-se a freqüência a partir da equação:

$$d_i = x.s.d_{50}$$

onde o valor de **x** é determinado pela lei de distribuição log-normal. O Quadro 2 apresenta os diâmetros utilizados nos cálculos e a correspondente frequência.

Com os dados de medições de velocidades, apresentados nos quadros a seguir, foram determinados indiretamente, a velocidade de atrito e outros parâmetros hidráulicos relevantes, como a tensão de cisalhamento e a declividade da linha de energia. Esta determinação indireta foi feita a partir da curva teórica de distribuição de velocidades para o regime turbulento, conforme já foi explicado anteriormente na fundamentação teórica.

**QUADRO 1
GRANULOMETRIAS DO MATERIAL DO LEITO**

POSIÇÃO	d16	d50	d84
	(mm)	(mm)	(mm)
Seção A1(04)	0,30	0,39	0,59
Seção A1(20)	0,30	0,41	0,95
Seção B1(04)	0,10	0,18	0,35
Seção B1(16)	0,32	0,43	0,55
Seção C1(08)	0,22	0,43	0,63
Seção C1(12)	0,30	0,40	0,60
Seção C1(20)	0,21	0,35	0,63
Seção D1(04)	0,10	0,20	0,38
Seção D1(08)	0,16	0,26	0,39
Seção D1(20)	0,26	1,00	6,30
Seção E2(08)	0,37	2,60	7,00
Seção F1(04)	0,00	0,03	0,20
Seção F2(08)	0,31	0,40	0,59
Seção G(04)	0,30	0,36	0,40
Seção G(08)	0,31	0,39	0,51
SeçãoG(16)	0,16	0,21	0,29
Média	0,23	0,50	1,27
Desvio Padrão		2,35	

QUADRO 2
DIÂMETROS DE CÁLCULO

f (%)	d inf. (mm)	d sup. (mm)	dmi (mm)
1,8		< 0,1	
11,8	0,1	0,2	0,15
10,6	0,2	0,3	0,25
3,2	0,3	0,4	0,35
22,6	0,4	0,5	0,45
22,6	0,5	0,65	0,57
3,2	0,65	0,85	0,75
10,6	0,85	1,25	1,05
11,8	1,25	2,5	1,875
1,8		> 2,5	

QUADRO 3
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES NO SÃO FRANCISCO

Seção A1 **data: 29 12 99**

Ponto	1		2		3		4		5		6		
v (m/s)	y_{fundo} (m)	v (m/s)	y_{fundo} (m)	v (m/s)	y_{fundo} (m)	v (m/s)	y_{fundo} (m)	v (m/s)	y_{fundo} (m)	v (m/s)	y_{fundo} (m)	v (m/s)	y_{fundo} (m)
0,45	3,30	0,20	1,80	0,86	3,30	0,56	3,40	0,59	3,20	0,20	0,96		
0,69	2,80	0,03	1,60	0,98	2,80	0,61	2,88	0,68	2,72	0,11	0,72		
0,74	2,10	0,07	1,20	0,90	2,10	0,58	2,16	0,65	2,04	0,07	0,48		
0,67	1,40	0,07	0,80	0,93	1,40	0,63	1,44	0,68	1,36	0,03	0,24		
0,42	0,70	0,07	0,40	0,78	0,70	0,56	0,72	0,61	0,68				
0,42	0,20	0,03	0,20	0,71	0,20	0,52	0,20	0,47	0,20				

Seção A1 data: 29 12 99

Ponto	7		8		9		10		11		12	
V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	
0,24	3,10	0,61	4,30	0,18	3,30	0,20	0,96	0,45	3,00	0,94	3,30	
0,41	2,64	0,63	3,60	0,18	2,80	0,03	0,72	0,60	2,56	0,78	2,80	
0,39	1,98	0,67	2,70	0,18	2,10	0,07	0,48	0,54	1,92	0,61	2,10	
0,38	1,32	0,73	1,80	0,29	1,40	0,03	0,24	0,48	1,28	0,44	1,40	
0,41	0,66	0,60	0,90	0,15	0,70			0,47	0,64	0,38	0,70	
0,23	0,20	0,49	0,20	0,07	0,20			0,49	0,20	0,16	0,20	

Seção A2 data: 30 12 99

Ponto	1		2		3		4		5	
V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	
0,04	1,80	0,17	3,30	0,20	5,20	0,35	4,20	0,25	4,40	
0,00	1,60	0,28	2,80	0,25	4,32	0,50	3,52	0,31	3,68	
0,00	1,20	0,27	2,10	0,24	3,24	0,46	2,64	0,34	2,76	
0,00	0,80	0,20	1,40	0,38	2,16	0,44	1,76	0,36	1,84	
0,00	0,40	0,14	0,70	0,41	1,08	0,39	0,88	0,35	0,92	
0,00	0,20	0,14	0,20	0,32	0,20	0,36	0,20	0,30	0,20	

Seção B1 data: 29 12 99

Ponto	1		2		3		4		5		6	
V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	
0,21	4,80	0,20	6,50	0,49	3,90	0,74	1,36	0,63	2,70	0,80	3,00	
0,20	4,00	0,26	5,36	0,59	3,28	0,72	1,02	0,70	2,32	0,78	2,56	
0,22	3,00	0,31	4,02	0,49	2,46	0,74	0,68	0,69	1,74	0,61	1,94	
0,20	2,00	0,22	2,68	0,56	1,64	0,69	0,34	0,67	1,16	0,53	1,28	
0,18	1,00	0,27	1,34	0,54	0,82			0,67	0,58	0,49	0,64	
0,07	0,20	0,18	0,20	0,35	0,20			0,58	0,20	0,40	0,20	

Seção B1

Ponto	7		8		9		10		11		12
V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)
0,45	3,10	0,32	3,30	0,23	3,60	0,45	3,20	0,63	4,30	0,27	3,30
0,56	2,68	0,46	2,80	0,43	3,04	0,51	2,72	0,58	3,60	0,14	2,80
0,37	2,06	0,46	2,10	0,45	2,28	0,51	2,04	0,53	2,70	0,11	2,10
0,12	1,44	0,40	1,40	3,95	1,52	0,46	1,00	0,48	1,80	0,15	1,40
0,09	0,82	0,33	0,70	3,56	0,40	0,45	0,68	0,17	0,90	0,24	0,70
0,12	0,20	0,32	0,20	2,58	0,20	0,45	0,20	0,15	0,20	0,15	0,20

Seção B2 data: 30 12 99

Ponto	1		2		3		4
V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)
0,24	3,10	0,49	3,50	0,39	3,50	0,06	3,40
0,52	2,64	0,61	2,96	0,29	2,96	0,05	2,88
0,50	1,98	0,58	2,24	0,36	2,22	0,26	2,16
0,43	1,32	0,59	1,48	0,40	1,48	0,27	1,44
0,33	0,66	0,50	0,74	0,40	0,74	0,31	0,72
0,34	0,20	0,43	0,20	0,27	0,20	0,27	0,20

Seção B3 data: 30 12 99

Ponto	1		2		3		4		5
V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)
0,40	2,60	0,40	3,40	0,59	4,10	0,61	4,80	0,31	4,70
0,36	2,24	0,44	2,88	0,61	3,44	0,62	4,00	0,33	3,92
0,41	1,68	0,40	2,16	0,56	2,58	0,58	3,00	0,45	2,94
0,40	1,12	0,34	1,44	0,54	1,72	0,54	2,00	0,41	1,96
0,36	0,56	0,28	0,72	0,54	0,86	0,39	1,00	0,40	0,98
0,36	0,20	0,22	0,20	0,48	0,20	0,20	0,20	0,17	0,20

Seção F2 data: 30 12 99

Ponto	1		2		3		4
V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)
0,35	2,00	0,56	3,00	0,46	2,90	0,74	2,60
0,32	1,76	0,62	2,56	0,45	2,48	0,71	2,24
0,36	1,32	0,59	1,92	0,52	1,86	0,33	1,68
0,45	0,88	0,68	1,28	0,51	1,24	0,61	1,12
0,35	0,44	0,70	0,64	0,49	0,62	0,53	0,56
0,35	0,20	0,46	0,20	0,47	0,20	0,46	0,20

Seção F2

	5		6		7
V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)
0,78	3,10	0,90	3,20	0,38	2,80
0,78	2,64	0,90	2,72	0,40	2,40
0,78	1,98	0,72	2,04	0,47	1,80
0,63	1,32	0,63	1,36	0,51	1,20
0,52	0,66	0,48	0,68	0,41	0,60
0,39	0,20	0,58	0,14	0,17	0,20

Seção F3 data: 30 12 99

Ponto	1		2		3		4
V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)	V (m/s)	y _{fundo} (m)
0,38	6,30	0,50	4,80	0,87	4,80	0,46	3,40
0,34	5,20	0,63	4,00	1,01	4,00	0,58	2,88
0,32	3,90	0,63	3,00	0,83	3,00	0,58	2,16
0,21	2,60	0,64	2,00	0,90	2,00	0,38	1,44
0,22	1,30	0,63	1,00	0,72	1,00	0,41	0,74
0,03	0,20	0,59	0,20	0,59	0,20	0,27	0,20

A posição em que foram medidas as velocidades, tomadas em relação à margem esquerda encontra-se no Quadro 4 a seguir:

QUADRO 4

POSIÇÃO DAS MEDIÇÕES DE VELOCIDADES

Seção	A1		A2		B1		B2		B3	
Ponto	x (m)	h (m)	X (m)	H (m)	x (m)	h (m)	x (m)	h (m)	x (m)	h (m)
1	20	3,50	42	2,00	38	5,00	14	3,30	20	2,80
2	90	2,00	82	3,50	77	6,70	29	3,70	45	3,60
3	135	3,50	125	5,40	121	4,10	44	3,70	61	4,30
4	160	3,60	162	4,40	167	1,70	54	3,60	77	5,00
5	212	3,40	192	4,60	212	2,90			83	4,90
6	272	1,20			262	3,20				
7	315	3,30			315	3,30				
8	395	4,50			342	3,50				
9	405	3,50			394	3,80				
10	451	1,20			432	3,40				
11	495	3,20			493	4,50				
12	547	3,50			530	3,50				
Seção	C1		C2		D1		E1		E2	
Ponto	x (m)	h (m)	x (m)	H (m)	x (m)	h (m)	x (m)	h (m)	x (m)	h (m)
1	58	1,60	26	3,50	51	6,90	15	3,10	48	4,20
2	75	11,40	44	2,80	70	7,00	53	2,50	76	4,60
3	143	4,40	63	4,50	111	3,60	65	2,50	137	4,10
4	193	3,90	101	3,20	196	5,20	98	6,20	208	1,20
5	242	3,10	133	3,70	267	4,70	122	5,50	244	2,20
6	290	4,40	165	2,50	313	3,20	132	4,40	286	2,90
7	336	5,50			355	3,40			341	2,40
8	387	4,20			390	4,00			388	1,80
9	443	4,20			464	6,40			439	2,90
10	482	4,70			511	3,90			496	3,60
11					558	2,10				
12					611	4,00				
13					622	3,80				

QUADRO 5

RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR – continuação

Seção	E1							
r²	0,850	0,975						
v*	0,026	0,050						
to	0,698	2,454						
j	2,79E-05	4,46E-05						
Seção	E2							
r²	0,997	0,998	0,832	0,924	0,840	0,982	0,951	0,915
v*	0,046	0,056	0,040	0,035	0,029	0,082	0,048	0,027
to	2,085	3,165	1,618	1,239	0,816	6,713	2,289	0,728
j	4,96E-05	6,88E-05	7,36E-05	4,27E-05	3,40E-05	3,73E-04	7,89E-05	2,02E-05
Seção	E3							
r²	0,983	0,940	0,972	0,386				
v*	0,051	0,044	0,068	0,008				
to	2,594	1,957	4,576	0,070				
l	7,01E-05	4,89E-05	9,15E-05	2,79E-06				
Seção	F1							
r²	0,942	0,891	0,860					
v*	0,006	0,063	0,094					
to	0,039	4,009	8,769					
j	5,63E-07	0,000115	0,000351					
Seção	F2							
r²	0,993	0,963	0,936					
v*	0,008	0,064	0,059					
to	0,069	4,095	3,515					
j	2,23E-06	1,24E-04	1,17E-04					
Seção	F3							
r²	0,964	0,952	0,922	0,901				
v*	0,036	0,007	0,050	0,046				
to	1,298	0,055	2,521	2,085				
j	2,00E-05	1,10E-06	5,04E-05	5,79E-05				

A partir destes resultados foi feita uma média dos valores dos pontos levantados junto à margem esquerda, onde está situada a tomada d'água, com os seguintes resultados:

QUADRO 6
PARÂMETROS HIDRÁULICOS MÉDIOS
PRÓXIMO À MARGEM ESQUERDA

	MÉDIA	D.PADRÃO
V*	0,0438	0,0034
To	2,52	0,677375
j	8,89E-05	5,4E-05
n	0,041	0,012361
V	0,47	0,117915

Com os dados da campanha hidrométrica realizada em dezembro de 1999 e janeiro de 2000, determinou-se o fator de atrito de cada medição e a média destes cálculos isolados. Estas campanhas foram realizadas na seção A, situada a montante da região da captação, antes das ramificações do escoamento. Como se pode observar no Quadro 7 os resultados são praticamente idênticos aos determinados indiretamente nas outras seções apresentadas anteriormente, dando assim maior confiabilidade nestas avaliações.

QUADRO 7
FATOR DE ATRITO DE MANNING (n)
A PARTIR DAS MEDIÇÕES DE VAZÃO

Data	Q	A	h	j	n
29/Dez	2065	3868	3,50	8,89E-05	0,041
18/Jan	1938	3853	3,49	8,89E-05	0,043
19/Jan	2357	4134	3,74	8,89E-05	0,040
20/Jan	2357	4021	3,64	8,89E-05	0,038
26/Jan	1911	3771	3,41	8,89E-05	0,042
27/Jan	2204	3994	3,61	8,89E-05	0,040
				n =	0,041

$$d = 1,88E-03 \text{ mm}$$

z (m)	h (m)	v* (m/s)	v (m/s)	v' * (m/s)	Fg	V/v*	C peso (kg/kg)	qst (kg/m.s)
324,8	2,0	0,042	0,36	0,016	0,13	8,63	0,00E+00	0,00
325,8	3,0	0,051	0,47	0,020	0,16	9,24	0,00E+00	0,00
326,8	4,0	0,059	0,57	0,023	0,19	9,69	0,00E+00	0,00
327,8	5,0	0,066	0,66	0,027	0,22	10,06	1,62E-08	0,00
328,8	6,0	0,072	0,75	0,029	0,24	10,37	1,37E-07	0,01
329,8	7,0	0,078	0,83	0,032	0,26	10,64	3,27E-07	0,02
330,8	8,0	0,083	0,91	0,035	0,28	10,88	5,50E-07	0,04
331,8	9,0	0,089	0,98	0,037	0,30	11,09	7,87E-07	0,07
332,8	10,0	0,093	1,05	0,039	0,32	11,29	1,03E-06	0,11
333,8	11,0	0,098	1,12	0,042	0,33	11,47	1,27E-06	0,16

O quadro a seguir apresenta a totalização de cada fração. As duas últimas colunas apresentam o valor da vazão sólida total desviada à captação, considerando a vazão máxima de bombeamento em 99 m³/s.

QUADRO 9
CAPACIDADE DE TRANSPORTE TOTAL

z (m)	h (m)	C peso (kg/kg)	qst (kg/m.s)	Qst (kg/s)	Qst (ton/dia)
324,8	2,0	2,28E-06	0,02	2,3	197
325,8	3,0	5,62E-06	0,08	5,6	485
326,8	4,0	9,16E-06	0,21	9,2	792
327,8	5,0	1,25E-05	0,42	12,5	1083
328,8	6,0	1,57E-05	0,71	15,7	1360
329,8	7,0	1,87E-05	1,09	18,7	1618
330,8	8,0	2,15E-05	1,56	21,5	1859
331,8	9,0	2,41E-05	2,13	24,1	2083
332,8	10,0	2,65E-05	2,80	26,5	2292
333,8	11,0	2,88E-05	3,56	28,8	2488

$d = 1,05E-03$ mm

Z (m)	h (m)	t*	t'*	h' (m)	v'*(m/s)	v (m/s)	F	f	qst (kg/m.s)
324,8	2,0	0,10	0,10	1,97	0,041	0,36	0,1073	0,00	0,00
325,8	3,0	0,15	0,12	2,37	0,045	0,47	0,0938	0,00	0,00
326,8	4,0	0,21	0,14	2,77	0,049	0,57	0,0852	0,00	0,01
327,8	5,0	0,26	0,16	3,17	0,053	0,66	0,0791	0,00	0,02
328,8	6,0	0,31	0,18	3,57	0,056	0,75	0,0744	0,01	0,03
329,8	7,0	0,36	0,20	3,97	0,059	0,83	0,0707	0,01	0,04
330,8	8,0	0,41	0,22	4,37	0,062	0,91	0,0676	0,02	0,06
331,8	9,0	0,46	0,24	4,77	0,064	0,98	0,0650	0,02	0,09
332,8	10,0	0,51	0,27	5,17	0,067	1,05	0,0628	0,03	0,12
333,8	11,0	0,56	0,29	5,57	0,070	1,12	0,0608	0,04	0,15

$d = 1,88E-03$ mm

Z (m)	h (m)	t*	t'*	h' (m)	v'*(m/s)	v (m/s)	F	f	qst (kg/m.s)
324,8	2,0	0,06	0,08	2,89	0,050	0,36	0,1073	0,00	0,00
325,8	3,0	0,09	0,09	3,29	0,054	0,47	0,0938	0,00	0,00
326,8	4,0	0,11	0,11	3,69	0,057	0,57	0,0852	0,00	0,01
327,8	5,0	0,14	0,12	4,09	0,060	0,66	0,0791	0,00	0,01
328,8	6,0	0,17	0,13	4,49	0,063	0,75	0,0744	0,00	0,02
329,8	7,0	0,20	0,14	4,89	0,065	0,83	0,0707	0,00	0,03
330,8	8,0	0,23	0,15	5,29	0,068	0,91	0,0676	0,00	0,04
331,8	9,0	0,26	0,16	5,69	0,070	0,98	0,0650	0,01	0,05
332,8	10,0	0,29	0,17	6,09	0,073	1,05	0,0628	0,01	0,07
333,8	11,0	0,32	0,19	6,49	0,075	1,12	0,0608	0,01	0,09

$d = 2,50E-04$ mm

z (m)	h (m)	Vcr (m/s)	V (m/s)	M	qsb (kg/m.s)	qsb (kg/m.s)	qst (kg/m.s)
324,8	2,0	0,23	0,36	4	0,00	0,00	0,00
325,8	3,0	0,24	0,47	32	0,00	0,01	0,01
326,8	4,0	0,25	0,57	115	0,01	0,03	0,04
327,8	5,0	0,25	0,66	294	0,01	0,06	0,07
328,8	6,0	0,26	0,75	613	0,02	0,11	0,13
329,8	7,0	0,26	0,83	1124	0,03	0,17	0,20
330,8	8,0	0,26	0,91	1882	0,04	0,25	0,29
331,8	9,0	0,27	0,98	2946	0,05	0,35	0,40
332,8	10,0	0,27	1,05	4377	0,07	0,46	0,53
333,8	11,0	0,27	1,12	6241	0,09	0,60	0,69

 $d = 3,50E-04$ mm

z (m)	h (m)	Vcr (m/s)	V (m/s)	M	qsb (kg/m.s)	qsb (kg/m.s)	qst (kg/m.s)
324,8	2,0	0,28	0,36	1	0,00	0,00	0,00
325,8	3,0	0,29	0,47	11	0,00	0,00	0,00
326,8	4,0	0,30	0,57	49	0,00	0,00	0,01
327,8	5,0	0,31	0,66	138	0,00	0,01	0,01
328,8	6,0	0,31	0,75	304	0,00	0,02	0,02
329,8	7,0	0,32	0,83	579	0,01	0,03	0,04
330,8	8,0	0,32	0,91	998	0,01	0,05	0,05
331,8	9,0	0,33	0,98	1595	0,01	0,06	0,08
332,8	10,0	0,33	1,05	2412	0,02	0,09	0,11
333,8	11,0	0,33	1,12	3487	0,02	0,12	0,14

$d = 4,50E-04$ mm

z (m)	h (m)	Vcr (m/s)	V (m/s)	M	qsb (kg/m.s)	qsb (kg/m.s)	qst (kg/m.s)
324,8	2,0	0,33	0,36	0	0,00	0,00	0,00
325,8	3,0	0,34	0,47	4	0,00	0,00	0,01
326,8	4,0	0,35	0,57	23	0,00	0,02	0,02
327,8	5,0	0,36	0,66	71	0,01	0,04	0,05
328,8	6,0	0,37	0,75	167	0,02	0,08	0,10
329,8	7,0	0,37	0,83	332	0,03	0,13	0,17
330,8	8,0	0,38	0,91	589	0,05	0,21	0,26
331,8	9,0	0,38	0,98	963	0,08	0,30	0,38
332,8	10,0	0,38	1,05	1482	0,10	0,42	0,52
333,8	11,0	0,39	1,12	2175	0,13	0,56	0,70

 $d = 5,75E-04$ mm

z (m)	h (m)	Vcr (m/s)	V (m/s)	M	qsb (kg/m.s)	qsb (kg/m.s)	qst (kg/m.s)
324,8	2,0	0,35	0,36	0	0,00	0,00	0,00
325,8	3,0	0,37	0,47	2	0,00	0,00	0,00
326,8	4,0	0,38	0,57	12	0,00	0,01	0,01
327,8	5,0	0,39	0,66	42	0,01	0,03	0,03
328,8	6,0	0,39	0,75	103	0,02	0,05	0,07
329,8	7,0	0,40	0,83	211	0,03	0,09	0,12
330,8	8,0	0,41	0,91	382	0,05	0,15	0,20
331,8	9,0	0,41	0,98	634	0,07	0,22	0,29
332,8	10,0	0,41	1,05	987	0,09	0,31	0,40
333,8	11,0	0,42	1,12	1462	0,12	0,42	0,54

$d = 1,88E-03 \text{ mm}$

z (m)	h (m)	Vcr (m/s)	V (m/s)	M	qsb (kg/m.s)	qsb (kg/m.s)	qst (kg/m.s)
324,8	2,0	0,35	0,36	0	0,00	0,00	0,00
325,8	3,0	0,37	0,47	0	0,00	0,00	0,00
326,8	4,0	0,38	0,57	3	0,00	0,00	0,00
327,8	5,0	0,39	0,66	10	0,00	0,01	0,01
328,8	6,0	0,39	0,75	25	0,01	0,01	0,02
329,8	7,0	0,40	0,83	51	0,02	0,02	0,03
330,8	8,0	0,41	0,91	92	0,02	0,03	0,05
331,8	9,0	0,41	0,98	153	0,03	0,04	0,08
332,8	10,0	0,41	1,05	239	0,05	0,06	0,11
333,8	11,0	0,42	1,12	354	0,06	0,08	0,15

QUADRO 13
CAPACIDADE DE TRANSPORTE TOTAL

z (m)	h (m)	C peso (kg/kg)	Qst (kg/m.s)	Qst (kg/s)	Qst (ton/dia)
324,8	2,0	1,84E-06	0,013	1,84	159,35
325,8	3,0	4,40E-06	0,062	4,40	380,46
326,8	4,0	7,57E-06	0,173	7,57	654,35
327,8	5,0	1,09E-05	0,363	10,95	945,92
328,8	6,0	1,44E-05	0,646	14,36	1241,10
329,8	7,0	1,78E-05	1,033	17,75	1533,99
330,8	8,0	2,11E-05	1,532	21,09	1822,03
331,8	9,0	2,44E-05	2,153	24,35	2104,19
332,8	10,0	2,75E-05	2,903	27,55	2380,12
333,8	11,0	3,07E-05	3,788	30,67	2649,81

QUADRO 14

MÉTODO DE BROWNLIE

d = 1,50E-04 mm

z	h	V	C peso	qst	Qst	Qst
(m)	(m)	(m/s)	(kg/kg)	(kg/m.s)	(kg/s)	(ton/dia)
324,8	2,0	0,36	6,75E-07	0,00	0,7	58
325,8	3,0	0,47	1,45E-06	0,02	1,4	125
326,8	4,0	0,57	2,29E-06	0,05	2,3	198
327,8	5,0	0,66	3,19E-06	0,11	3,2	275
328,8	6,0	0,75	4,11E-06	0,18	4,1	355
329,8	7,0	0,83	5,05E-06	0,29	5,1	436
330,8	8,0	0,91	6,01E-06	0,44	6,0	519
331,8	9,0	0,98	6,97E-06	0,62	7,0	603
332,8	10,0	1,05	7,95E-06	0,84	8,0	687
333,8	11,0	1,12	8,94E-06	1,10	8,9	772

d = 2,50E-04 mm

Z	h	V	C peso	qst	Qst	Qst
(m)	(m)	(m/s)	(kg/kg)	(kg/m.s)	(kg/s)	(ton/dia)
324,8	2,0	0,36	6,06E-07	0,00	0,6	52
325,8	3,0	0,47	1,30E-06	0,02	1,3	112
326,8	4,0	0,57	2,06E-06	0,05	2,1	178
327,8	5,0	0,66	2,86E-06	0,10	2,9	247
328,8	6,0	0,75	3,69E-06	0,17	3,7	319
329,8	7,0	0,83	4,54E-06	0,26	4,5	392
330,8	8,0	0,91	5,40E-06	0,39	5,4	466
331,8	9,0	0,98	6,26E-06	0,55	6,3	541
332,8	10,0	1,05	7,14E-06	0,75	7,1	617
333,8	11,0	1,12	8,03E-06	0,99	8,0	694

$d = 3,50E-04$ mm

z (m)	h (m)	V (m/s)	C peso (kg/kg)	qst (kg/m.s)	Qst (kg/s)	Qst (ton/dia)
324,8	2,0	0,36	1,83E-07	0,00	0,2	16
325,8	3,0	0,47	3,92E-07	0,01	0,4	34
326,8	4,0	0,57	6,22E-07	0,01	0,6	54
327,8	5,0	0,66	8,64E-07	0,03	0,9	75
328,8	6,0	0,75	1,11E-06	0,05	1,1	96
329,8	7,0	0,83	1,37E-06	0,08	1,4	118
330,8	8,0	0,91	1,63E-06	0,12	1,6	141
331,8	9,0	0,98	1,89E-06	0,17	1,9	163
332,8	10,0	1,05	2,16E-06	0,23	2,2	186
333,8	11,0	1,12	2,42E-06	0,30	2,4	209

$d = 4,50E-04$ mm

z (m)	h (m)	V (m/s)	C peso (kg/kg)	qst (kg/m.s)	Qst (kg/s)	Qst (ton/dia)
324,8	2,0	0,36	1,29E-06	0,01	1,3	112
325,8	3,0	0,47	2,77E-06	0,04	2,8	239
326,8	4,0	0,57	4,40E-06	0,10	4,4	380
327,8	5,0	0,66	6,11E-06	0,20	6,1	528
328,8	6,0	0,75	7,87E-06	0,35	7,9	680
329,8	7,0	0,83	9,67E-06	0,56	9,7	836
330,8	8,0	0,91	1,15E-05	0,84	11,5	994
331,8	9,0	0,98	1,34E-05	1,18	13,4	1154
332,8	10,0	1,05	1,52E-05	1,60	15,2	1316
333,8	11,0	1,12	1,71E-05	2,11	17,1	1479

$d = 5,75E-04$ mm

z (m)	h (m)	V (m/s)	C peso (kg/kg)	qst (kg/m.s)	Qst (kg/s)	Qst (ton/dia)
324,8	2,0	0,36	1,29E-06	0,01	1,3	112
325,8	3,0	0,47	2,77E-06	0,04	2,8	239
326,8	4,0	0,57	4,40E-06	0,10	4,4	380
327,8	5,0	0,66	6,11E-06	0,20	6,1	528
328,8	6,0	0,75	7,87E-06	0,35	7,9	680
329,8	7,0	0,83	9,67E-06	0,56	9,7	836
330,8	8,0	0,91	1,15E-05	0,84	11,5	994
331,8	9,0	0,98	1,34E-05	1,18	13,4	1154
332,8	10,0	1,05	1,52E-05	1,60	15,2	1316
333,8	11,0	1,12	1,71E-05	2,11	17,1	1479

$d = 7,50E-04$ mm

z (m)	h (m)	V (m/s)	C peso (kg/kg)	qst (kg/m.s)	Qst (kg/s)	Qst (ton/dia)
324,8	2,0	0,36	1,83E-07	0,00	0,2	16
325,8	3,0	0,47	3,92E-07	0,01	0,4	34
326,8	4,0	0,57	6,22E-07	0,01	0,6	54
327,8	5,0	0,66	8,64E-07	0,03	0,9	75
328,8	6,0	0,75	1,11E-06	0,05	1,1	96
329,8	7,0	0,83	1,37E-06	0,08	1,4	118
330,8	8,0	0,91	1,63E-06	0,12	1,6	141
331,8	9,0	0,98	1,89E-06	0,17	1,9	163
332,8	10,0	1,05	2,16E-06	0,23	2,2	186
333,8	11,0	1,12	2,42E-06	0,30	2,4	209

$d = 1,05E-03$ mm

z (m)	h (m)	V (m/s)	C peso (kg/kg)	qst (kg/m.s)	Qst (kg/s)	Qst (ton/dia)
324,8	2,0	0,36	6,06E-07	0,00	0,6	52
325,8	3,0	0,47	1,30E-06	0,02	1,3	112
326,8	4,0	0,57	2,06E-06	0,05	2,1	178
327,8	5,0	0,66	2,86E-06	0,10	2,9	247
328,8	6,0	0,75	3,69E-06	0,17	3,7	319
329,8	7,0	0,83	4,54E-06	0,26	4,5	392
330,8	8,0	0,91	5,40E-06	0,39	5,4	466
331,8	9,0	0,98	6,26E-06	0,55	6,3	541
332,8	10,0	1,05	7,14E-06	0,75	7,1	617
333,8	11,0	1,12	8,03E-06	0,99	8,0	694

$d = 1,88E-03$ mm

z (m)	h (m)	V (m/s)	C peso (kg/kg)	qst (kg/m.s)	Qst (kg/s)	Qst (ton/dia)
324,8	2,0	0,36	6,75E-07	0,00	0,7	58
325,8	3,0	0,47	1,45E-06	0,02	1,4	125
326,8	4,0	0,57	2,29E-06	0,05	2,3	198
327,8	5,0	0,66	3,19E-06	0,11	3,2	275
328,8	6,0	0,75	4,11E-06	0,18	4,1	355
329,8	7,0	0,83	5,05E-06	0,29	5,1	436
330,8	8,0	0,91	6,01E-06	0,44	6,0	519
331,8	9,0	0,98	6,97E-06	0,62	7,0	603
332,8	10,0	1,05	7,95E-06	0,84	8,0	687
333,8	11,0	1,12	8,94E-06	1,10	8,9	772

QUADRO 15

CAPACIDADE DE TRANSPORTE TOTAL

z (m)	h (m)	C peso (kg/kg)	qst (kg/m.s)	Qst (kg/s)	Qst (ton/dia)
324,8	2,0	5,51E-06	0,04	5,5	476
325,8	3,0	1,18E-05	0,17	11,8	1021
326,8	4,0	1,87E-05	0,43	18,7	1620
327,8	5,0	2,60E-05	0,86	26,0	2250
328,8	6,0	3,36E-05	1,51	33,6	2900
329,8	7,0	4,13E-05	2,40	41,3	3565
330,8	8,0	4,91E-05	3,57	49,1	4240
331,8	9,0	5,70E-05	5,04	57,0	4923
332,8	10,0	6,50E-05	6,85	65,0	5612
333,8	11,0	7,30E-05	9,02	73,0	6307

A Figura 2 apresenta os resultados comparativos da aplicação dos quatro métodos aplicados. As dispersões encontradas são bem características na aplicação de diferentes equações de transporte sólido. Os resultados do método de Engelund-Hansen são os que apresentam valores mais elevados em relação aos demais e por esta razão serão tomados como referência da ordem de grandeza da capacidade de transporte, adotando assim um critério conservador.

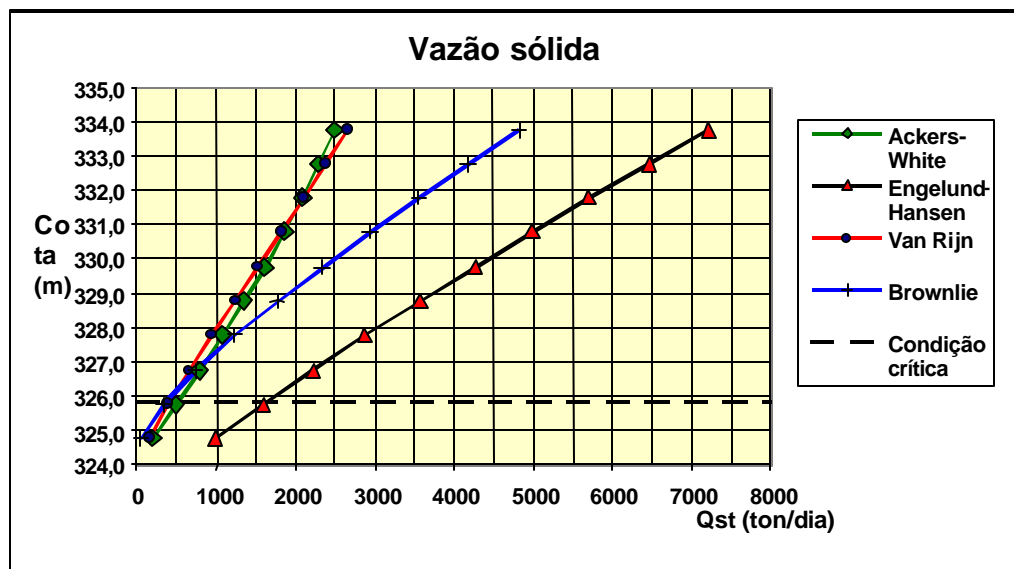
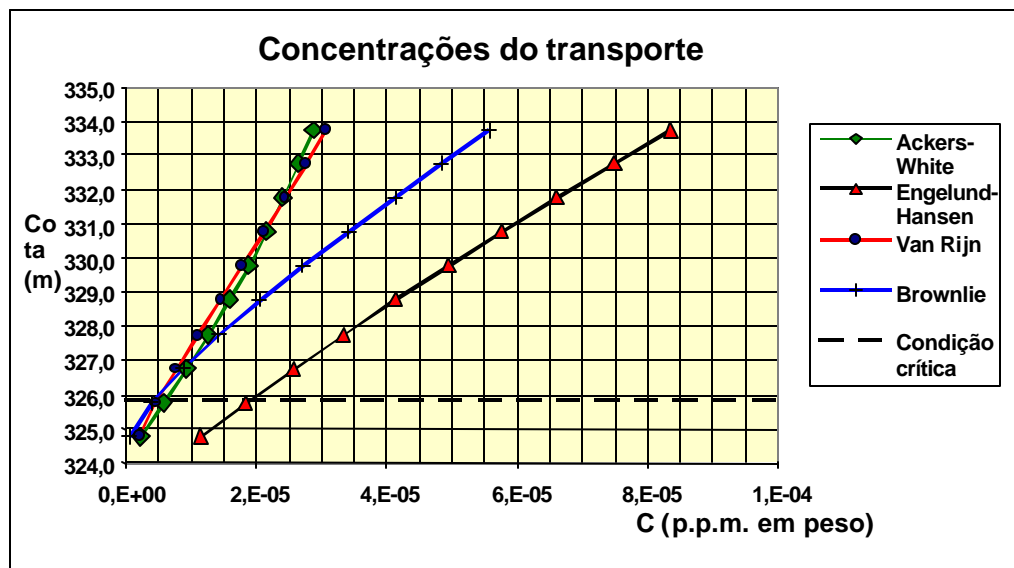


Figura 2 - Curvas de vazão sólida e concentrações do escoamento desviado para a captação

Através do método de Van Rijn, pode-se ter uma primeira avaliação da relação entre o transporte em suspensão e o total. Segundo este método, cerca de 87% dos sedimentos é transportado em suspensão. A Figura 3 ilustra esta relação.

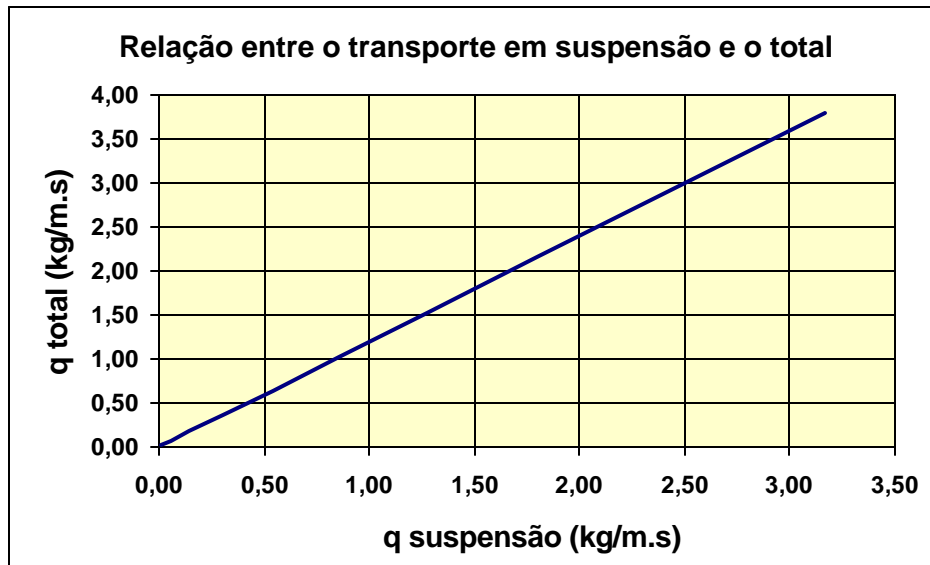


Figura 3 - Relação entre o transporte em suspensão e o total

3.3.4 Características Hidráulicas do Canal da Captação

A geometria do canal de aproximação às bombas, desde a região da captação até a EB-I/1, terá seção trapezoidal com 9,5 m de base, talude 1V:1,5H, e declividade 0,0001 m/m. O coroamento dos diques laterais deverá estar em torno da cota 330,0 m e a cota de fundo em 317,08 m. Na extremidade do canal, junto à margem do São Francisco, deverá haver uma transição fazendo variar gradualmente a largura inicial de 150 m para a largura da seção típica do canal. Nessa região, restará um septo de rocha escavado na cota 321,00, para reduzir a possibilidade de ingresso de sedimentos no canal.

Para efeitos da avaliação de transporte de sólidos, foram feitas algumas simulações do canal com a vazão de bombeamento (99 m³/s). Com os resultados desta simulação apresentada no Quadro 16, foi possível estabelecer a condição mais desfavorável em termos de maior capacidade de transporte sólido do canal. Neste quadro apresentam-se as características hidráulicas mais relevantes. A Figura 4 apresenta as linhas d'água obtidas nas simulações. Percebe-se claramente que a situação de maior capacidade de transporte, portanto a mais crítica, ocorre com os níveis operacionais mais baixos, condição em que o gradiente de energia é mais acentuado.

QUADRO 16

CAPACIDADE DE TRANSPORTE TOTAL

Vazão: 99,00 m³/s d = 0,000501 m
 n = 0,024 σ = 2,35
 Fundo plano na cota 320,00 m ωω= 0,072 m/s
 Nível: 325,30 m

Seção	Dist.Ac. (m)	N.A (m)	j (m/m)	v* (m/s)	τ ₀ (N/m ²)	τ*
RSF	0,00	325,83	1,39E-05	0,027	0,74	0,06
1	72,00	325,83	1,39E-05	0,026	0,69	0,05
2	144,00	325,83	1,39E-05	0,025	0,63	0,05
3	216,00	325,83	1,39E-05	0,025	0,64	0,05
4	288,00	325,75	9,72E-05	0,055	3,00	0,23
5	300,00	325,75	1,67E-04	0,072	5,14	0,39
6	400,00	325,73	1,70E-04	0,072	5,23	0,39
7	500,00	325,72	1,80E-04	0,074	5,52	0,42
8	600,00	325,70	1,70E-04	0,072	5,20	0,39
9	700,00	325,68	1,80E-04	0,074	5,49	0,41
10	800,00	325,66	1,90E-04	0,076	5,77	0,43
11	900,00	325,64	1,80E-04	0,074	5,47	0,41
12	1.000,00	325,62	1,90E-04	0,076	5,75	0,43
13	1.100,00	325,60	1,90E-04	0,076	5,73	0,43
14	1.200,00	325,58	2,00E-04	0,078	6,02	0,45
15	1.300,00	325,56	2,00E-04	0,077	6,00	0,45
16	1.400,00	325,54	2,00E-04	0,077	5,98	0,45
17	1.500,00	325,52	2,00E-04	0,077	5,96	0,45
18	1.600,00	325,49	2,10E-04	0,079	6,24	0,47
19	1.700,00	325,47	2,10E-04	0,079	6,22	0,47
20	1.800,00	325,45	2,20E-04	0,081	6,49	0,49
21	1.900,00	325,43	2,20E-04	0,080	6,47	0,49
22	2.000,00	325,40	2,20E-04	0,080	6,45	0,49

QUADRO 16**CAPACIDADE DE TRANSPORTE TOTAL - continuação**

Nível:325,30 m

Seção	Dist.Ac. (m)	N.A (m)	j (m/m)	v* (m/s)	t_o (N/m²)	t* (s)
23	2.100,00	325,38	2,20E-04	0,080	6,42	0,48
24	2.150,00	325,37	2,40E-04	0,084	6,99	0,53
25	2.200,00	325,36	2,20E-04	0,080	6,40	0,48
26	2.250,00	325,34	2,40E-04	0,083	6,96	0,52
27	2.300,00	325,33	2,40E-04	0,083	6,96	0,52
28	2.350,00	325,32	2,20E-04	0,080	6,36	0,48
29	2.400,00	325,31	2,40E-04	0,083	6,91	0,52
Bombas	2.425,00	325,30	2,40E-04	0,083	6,91	0,52

QUADRO 16

CAPACIDADE DE TRANSPORTE TOTAL - continuação

Nível: 326,50 m

Seção	Dist.Ac. (m)	N.A (m)	j (m/m)	v* (m/s)	t_o (N/m²)	t*
RSF	0,00	326,75	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
1	72,00	326,75	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
2	144,00	326,75	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
3	216,00	326,75	1,39E-05	0,027	0,72	0,05
4	288,00	326,70	4,17E-05	0,038	1,46	0,11
5	300,00	326,70	8,33E-05	0,054	2,91	0,22
6	400,00	326,69	9,00E-05	0,056	3,14	0,24
7	500,00	326,69	9,00E-05	0,056	3,14	0,24
8	600,00	326,68	9,00E-05	0,056	3,13	0,24
9	700,00	326,67	9,00E-05	0,056	3,13	0,24
10	800,00	326,66	9,00E-05	0,056	3,12	0,24
11	900,00	326,65	9,00E-05	0,056	3,12	0,24
12	1000,00	326,64	9,00E-05	0,056	3,12	0,24
13	1100,00	326,63	9,00E-05	0,056	3,11	0,23
14	1200,00	326,62	9,00E-05	0,056	3,11	0,23
15	1300,00	326,61	9,00E-05	0,056	3,10	0,23
16	1400,00	326,60	1,00E-04	0,059	3,45	0,26
17	1500,00	326,59	9,00E-05	0,056	3,10	0,23
18	1600,00	326,58	9,00E-05	0,056	3,10	0,23
19	1700,00	326,57	1,00E-04	0,059	3,44	0,26
20	1800,00	326,56	9,00E-05	0,056	3,09	0,23
21	1900,00	326,55	1,00E-04	0,059	3,43	0,26
22	2000,00	326,54	1,00E-04	0,058	3,42	0,26
23	2100,00	326,53	9,00E-05	0,055	3,08	0,23
24	2150,00	326,53	1,00E-04	0,058	3,42	0,26
25	2200,00	326,52	1,00E-04	0,058	3,42	0,26
26	2250,00	326,52	1,00E-04	0,058	3,41	0,26
27	2300,00	326,51	1,00E-04	0,058	3,41	0,26
28	2350,00	326,51	1,00E-04	0,058	3,41	0,26
29	2400,00	326,50	1,00E-04	0,058	3,41	0,26
Bombas	2425,00	326,50	1,20E-04	0,064	4,09	0,31

QUADRO 16

CAPACIDADE DE TRANSPORTE TOTAL - continuação

Nível: 327,50 m

Seção	Dist.Ac. (m)	N.A (m)	j (m/m)	v* (m/s)	t _o (N/m ²)	t*
RSF	0,00	327,64	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
1	72,00	327,64	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
2	144,00	327,64	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
3	216,00	327,64	1,39E-05	0,028	0,80	0,06
4	288,00	327,61	2,78E-05	0,033	1,08	0,08
5	300,00	327,61	2,78E-05	0,033	1,08	0,08
6	400,00	327,61	5,00E-05	0,044	1,94	0,15
7	500,00	327,60	6,00E-05	0,048	2,33	0,18
8	600,00	327,60	5,00E-05	0,044	1,94	0,15
9	700,00	327,59	5,00E-05	0,044	1,94	0,15
10	800,00	327,59	5,00E-05	0,044	1,94	0,15
11	900,00	327,58	5,00E-05	0,044	1,94	0,15
12	1000,00	327,58	5,00E-05	0,044	1,94	0,15
13	1100,00	327,57	6,00E-05	0,048	2,32	0,17
14	1200,00	327,57	5,00E-05	0,044	1,93	0,15
15	1300,00	327,56	5,00E-05	0,044	1,93	0,15
16	1400,00	327,56	5,00E-05	0,044	1,93	0,15
17	1500,00	327,55	6,00E-05	0,048	2,32	0,17
18	1600,00	327,55	5,00E-05	0,044	1,93	0,14
19	1700,00	327,54	5,00E-05	0,044	1,93	0,14
20	1800,00	327,53	5,00E-05	0,044	1,93	0,14
21	1900,00	327,53	6,00E-05	0,048	2,31	0,17
22	2000,00	327,52	5,00E-05	0,044	1,93	0,14
23	2100,00	327,52	6,00E-05	0,048	2,30	0,17
24	2150,00	327,52	4,00E-05	0,039	1,54	0,12
25	2200,00	327,51	6,00E-05	0,048	2,30	0,17
26	2250,00	327,51	6,00E-05	0,048	2,30	0,17
27	2300,00	327,51	4,00E-05	0,039	1,54	0,12
28	2350,00	327,50	6,00E-05	0,048	2,30	0,17
29	2400,00	327,50	6,00E-05	0,048	2,30	0,17
Bombas	2425,00	327,50	4,00E-05	0,039	1,54	0,12

QUADRO 16

CAPACIDADE DE TRANSPORTE TOTAL - continuação

Nível: 328,50 m

Seção	Dist.Ac. (m)	N.A (m)	j (m/m)	v* (m/s)	t_o (N/m²)	t*
RSF	0,00	328,59	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
1	72,00	328,59	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
2	144,00	328,58	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
3	216,00	328,58	1,39E-05	0,030	0,88	0,07
4	288,00	328,57	1,39E-05	0,024	0,60	0,04
5	300,00	328,57	1,39E-05	0,024	0,60	0,04
6	400,00	328,56	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
7	500,00	328,56	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
8	600,00	328,56	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
9	700,00	328,55	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
10	800,00	328,55	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
11	900,00	328,55	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
12	1000,00	328,54	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
13	1100,00	328,54	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
14	1200,00	328,54	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
15	1300,00	328,54	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
16	1400,00	328,53	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
17	1500,00	328,53	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
18	1600,00	328,53	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
19	1700,00	328,52	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
20	1800,00	328,52	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
21	1900,00	328,52	4,00E-05	0,041	1,71	0,13
22	2000,00	328,51	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
23	2100,00	328,51	3,00E-05	0,036	1,28	0,10
24	2150,00	328,51	2,00E-05	0,029	0,85	0,06
25	2200,00	328,51	4,00E-05	0,041	1,71	0,13
26	2250,00	328,51	2,00E-05	0,029	0,85	0,06
27	2300,00	328,50	4,00E-05	0,041	1,71	0,13
28	2350,00	328,50	2,00E-05	0,029	0,85	0,06
29	2400,00	328,50	4,00E-05	0,041	1,71	0,13
Bombas	2425,00	328,50	4,00E-05	0,041	1,71	0,13

QUADRO 16

CAPACIDADE DE TRANSPORTE TOTAL - continuação

Nível: 329,10 m

Seção	Dist.Ac. (m)	N.A (m)	j (m/m)	v* (m/s)	t _o (N/m ²)	t*
RSF	0,00	329,17	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
1	72,00	329,16	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
2	144,00	329,16	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
3	216,00	329,16	0,00E+00	0,000	0,00	0,00
4	288,00	329,15	1,39E-05	0,025	0,63	0,05
5	300,00	329,15	1,39E-05	0,025	0,63	0,05
6	400,00	329,15	3,00E-05	0,037	1,36	0,10
7	500,00	329,14	2,00E-05	0,030	0,91	0,07
8	600,00	329,14	2,00E-05	0,030	0,91	0,07
9	700,00	329,14	2,00E-05	0,030	0,91	0,07
10	800,00	329,14	3,00E-05	0,037	1,36	0,10
11	900,00	329,14	2,00E-05	0,030	0,91	0,07
12	1000,00	329,13	2,00E-05	0,030	0,91	0,07
13	1100,00	329,13	2,00E-05	0,030	0,91	0,07
14	1200,00	329,13	3,00E-05	0,037	1,36	0,10
15	1300,00	329,13	2,00E-05	0,030	0,91	0,07
16	1400,00	329,12	2,00E-05	0,030	0,91	0,07
17	1500,00	329,12	2,00E-05	0,030	0,91	0,07
18	1600,00	329,12	3,00E-05	0,037	1,36	0,10
19	1700,00	329,12	2,00E-05	0,030	0,90	0,07
20	1800,00	329,11	2,00E-05	0,030	0,90	0,07
21	1900,00	329,11	2,00E-05	0,030	0,90	0,07
22	2000,00	329,11	3,00E-05	0,037	1,36	0,10
23	2100,00	329,11	2,00E-05	0,030	0,90	0,07
24	2150,00	329,11	2,00E-05	0,030	0,90	0,07
25	2200,00	329,11	2,00E-05	0,030	0,90	0,07
26	2250,00	329,10	2,00E-05	0,030	0,90	0,07
27	2300,00	329,10	4,00E-05	0,043	1,81	0,14
28	2350,00	329,10	2,00E-05	0,030	0,90	0,07
29	2400,00	329,10	2,00E-05	0,030	0,90	0,07
Bombas	2425,00	329,10	0,00E+00	0,000	0,00	0,00

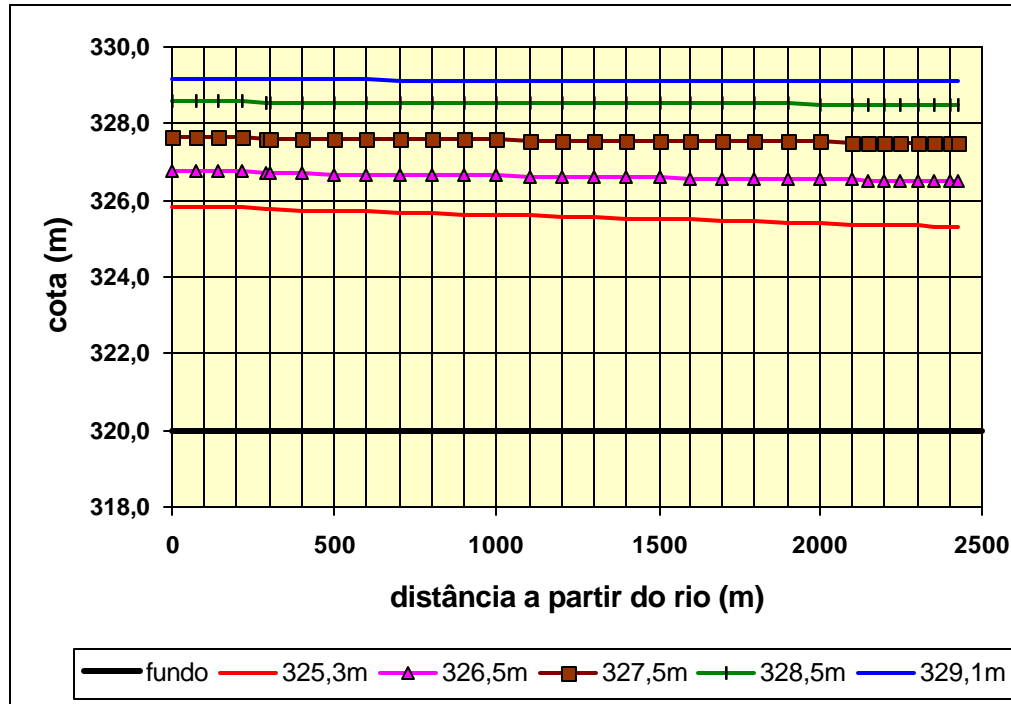


Figura 4 – Remanso calculado no canal da captação

3.3.5 Análise dos resultados

Iniciando a análise de uma forma mais ampla, considere-se apenas a granulometria média do material transportado ($d_{50} = 0,5 \text{ mm}$). Observa-se nos resultados das simulações que, para o nível operacional máximo de bombeamento, o escoamento em praticamente todo o canal apresenta tensões de cisalhamento inferiores ao valor crítico de início de transporte (resulta com isto $t^* < t^*_c = 0,06$), ou seja, corresponde a uma situação de imobilidade.

Analisando a situação mais crítica, em que o nível operacional é mínimo (cota do nível de água em 325,3 m), na região de transição, numa extensão próxima a 300 m, as tensões ainda se apresentam na condição crítica de início de movimento ($t^* \cong t^*_c = 0,06$), aumentando somente quando o escoamento atinge o canal. Com isto, a região de transição desempenha um papel importante na retenção das frações mais graúdas dos sedimentos do leito. Esta situação, por sua vez, ocorre para níveis em que o transporte sólido é mais reduzido (ver o gráfico da Figura 2).

Na cota 325,8 m a concentração estaria em pouco menos de 20 mg/l e a capacidade de transporte em pouco menos de 1600 t/dia (sistema internacional) aproximadamente da ordem de 100 m³/dia em termos de material depositado no leito.

Admitindo que boa parte do material transportado encontra-se em suspensão (cerca de 85%), pode-se supor que parte desta parcela poderia movimentar-se para dentro do canal e chegar à estação de bombeamento. Deve-se fazer então uma análise mais detalhada de cada fração transportada em suspensão.

Foram feitos cálculos de alguns parâmetros importantes, para a condição mais crítica, na seção de montante, apresentados no Quadro 17, discretizados por frações granulométricas, a exemplo do que já foi feito nos cálculos de capacidade de transporte. Nas primeiras linhas são apresentados alguns dados básicos: diâmetro (d), frequência relativa (f), velocidade de queda da partícula (w_o), diâmetro sedimentológico (D_s). A seguir apresenta-se o valor crítico do parâmetro de Shields para o início de movimento (t_{*c}) e o parâmetro de Shields na seção para a situação mais desfavorável, a condição crítica de suspensão dos sedimentos, segundo o critério de Van Rijn, e o correspondente valor disponível pelo escoamento na mesma seção. Finalmente apresenta-se o parâmetro de Rouse (z) e a distância máxima de deslocamento da partícula mais elevada até que repouse sobre o leito.

QUADRO 17

CONDIÇÕES CRÍTICAS DE TRANSPORTE

d	0,50	0,15	0,25	0,35	0,45	0,58	0,75	1,05	1,88
f	(d50)	0,118	0,106	0,032	0,226	0,226	0,032	0,106	0,118
w_o	0,072	0,016	0,035	0,052	0,066	0,080	0,097	0,121	0,169
D_s	12,6	3,8	6,3	8,8	11,3	14,4	18,8	26,4	47,1
t_{*c}	0,06	0,038	0,033	0,045	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
t_*	0,06	0,186	0,111	0,079	0,06	0,048	0,037	0,026	0,015
v_*/w_{oc}	0,40	1,06	0,64	0,45	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
v_*/w_o	0,38	1,69	0,78	0,52	0,41	0,34	0,28	0,22	0,16
Z	6,64	1,48	3,22	4,76	6,06	7,41	8,98	11,15	15,55
L máx	123	*****	709	225	143	104	79	59	39

Analisando o quadro anterior, observa-se que somente os sedimentos com diâmetro inferior a 0,40 mm têm condições de serem transportados para jusante, ou seja, cerca de 75% dos sedimentos que constituem a fração mais graúda, podem ser retidos na região de transição. A distância máxima para a deposição de sedimentos com dimensão superior a 0,40 mm é de 143 m, portanto dentro do trecho de transição que é de cerca de 300 m.

Os valores do parâmetro de Rouse também indicam que os sedimentos tendem a concentrar-se nas regiões mais próximas do leito. A Figura 5 mostra como são estas distribuições de concentração para cada fração. Praticamente quase todas as frações granulométricas concentram o transporte em suspensão a uma distância inferior a 0,5 m. Somente os sedimentos com granulometria inferior a 0,2 mm ultrapassam esse limite, ainda assim, num total inferior a 10%, o que equivale a um valor da ordem de 1% do transporte sólido total, o que representa valores irrisórios da ordem de 20 t/d (sistema internacional).

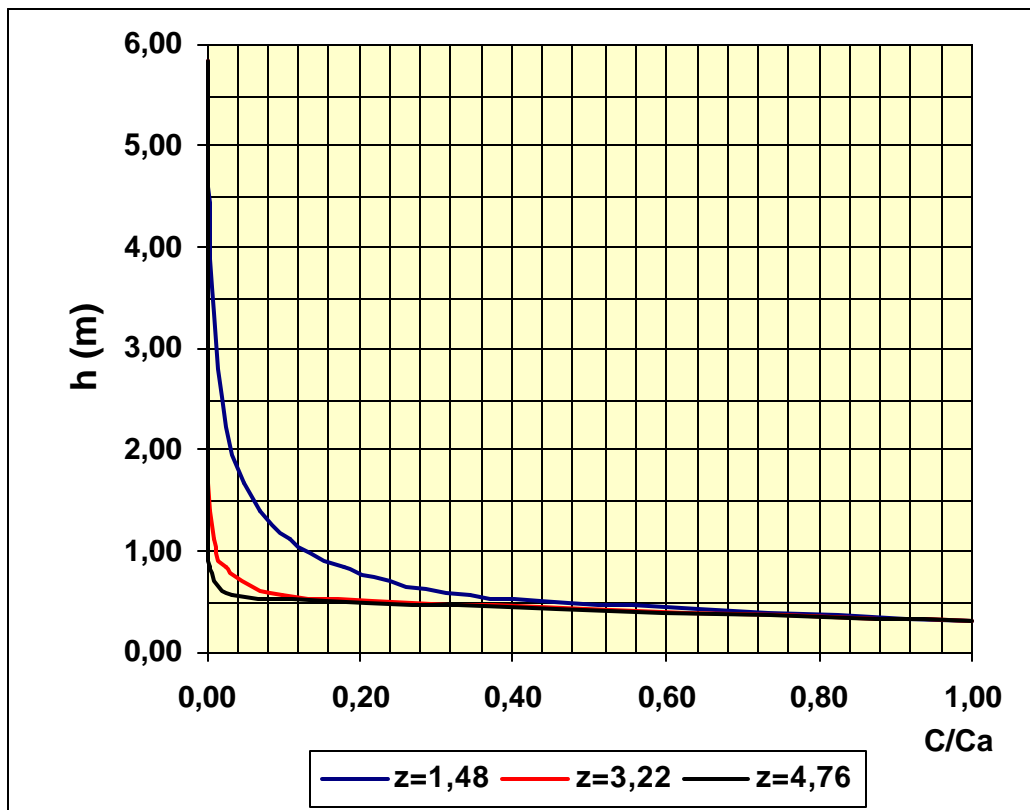


Figura 5 – Distribuição de concentração de sedimentos em suspensão

3.3.6 Recomendações de Projeto

Face aos resultados do estudo, verifica-se que o aporte sólido é pouco significativo e que o trecho de transição já é suficiente para praticamente reter a parcela principal que adentra o canal da captação.

A manutenção de um septo na cota 321,00 servirá para reter o restante dos sedimentos transportados em suspensão na região mais próxima ao leito.

Embora a taxa de transporte para a condição mais crítica seja pouco significativa (1600 t/d), é importante considerar a necessidade de serviços periódicos de limpeza de manutenção no trecho inicial. Uma possibilidade é deixar uma cavidade pré-escavada para a retenção dos sedimentos e efetuar o seu esvaziamento periodicamente.

Não foi considerada a parcela de carga de lavagem pois esta somente pode ser determinada a partir de campanhas contínuas de sedimentometria. As equações de transporte sólido somente permitem a avaliação da capacidade de transporte de material do leito. Isto, no entanto, não representa qualquer problema, pois a carga de lavagem, se presente, não poderia ser retida. Por outro lado, a carga de lavagem, por suas características próprias, não participa de transformações morfológicas, uma vez que permanecem permanentemente em suspensão.

3.4 HIDRÁULICA

Para atender as recomendações dos estudos sedimentológicos realizados, conforme apresentados no item anterior, o emboque da captação terá um septo de rocha remanescente, escavado na El. 321,00 m, numa largura igual a 150 m. Conforme detalhes apresentados nos desenhos 261-FUN-TSF-A1-B0484/0485/0486 – Eixo Norte Trecho I – Tomada d'água no Rio São Francisco – Implantação – Planta e Cortes, apresentado no Anexo I, a jusante do septo na El. 321,00 m, haverá um trecho 50 m escavado na cota 316,08 m, ainda com largura de 150 m, com a finalidade de reter sedimentos, funcionando como uma grande “caixa de areia”, com 1,0 (um) metro de altura. As velocidades máximas esperadas, na região da entrada do septo (El. 321,00 m), serão da ordem de 0,20 m/s.

A partir desse ponto, a largura de 150 m será gradualmente reduzida, numa extensão também de 150 m, até a largura da base do canal de alimentação igual a 9,50 m, escavado na cota 317,08 m. A origem do estaqueamento do canal (estaca 0+000 e cota 317,08 m) começa exatamente no final da “caixa de areia”.

Para a construção dessas obras captação, será necessário deixar um septo junto à margem do rio, possibilitando sua execução sem presença de água. Posteriormente deverá ser complementado por um aterro de regularização, de forma a garantir uma plataforma mínima para a execução da escavação de rocha sob o aterro e sua remoção, até as cotas indicadas.

Para a proteção definitiva ao longo de todo o canal de captação está prevista a execução de um dique coroado na El. 330,00 m junto às bordas do canal.

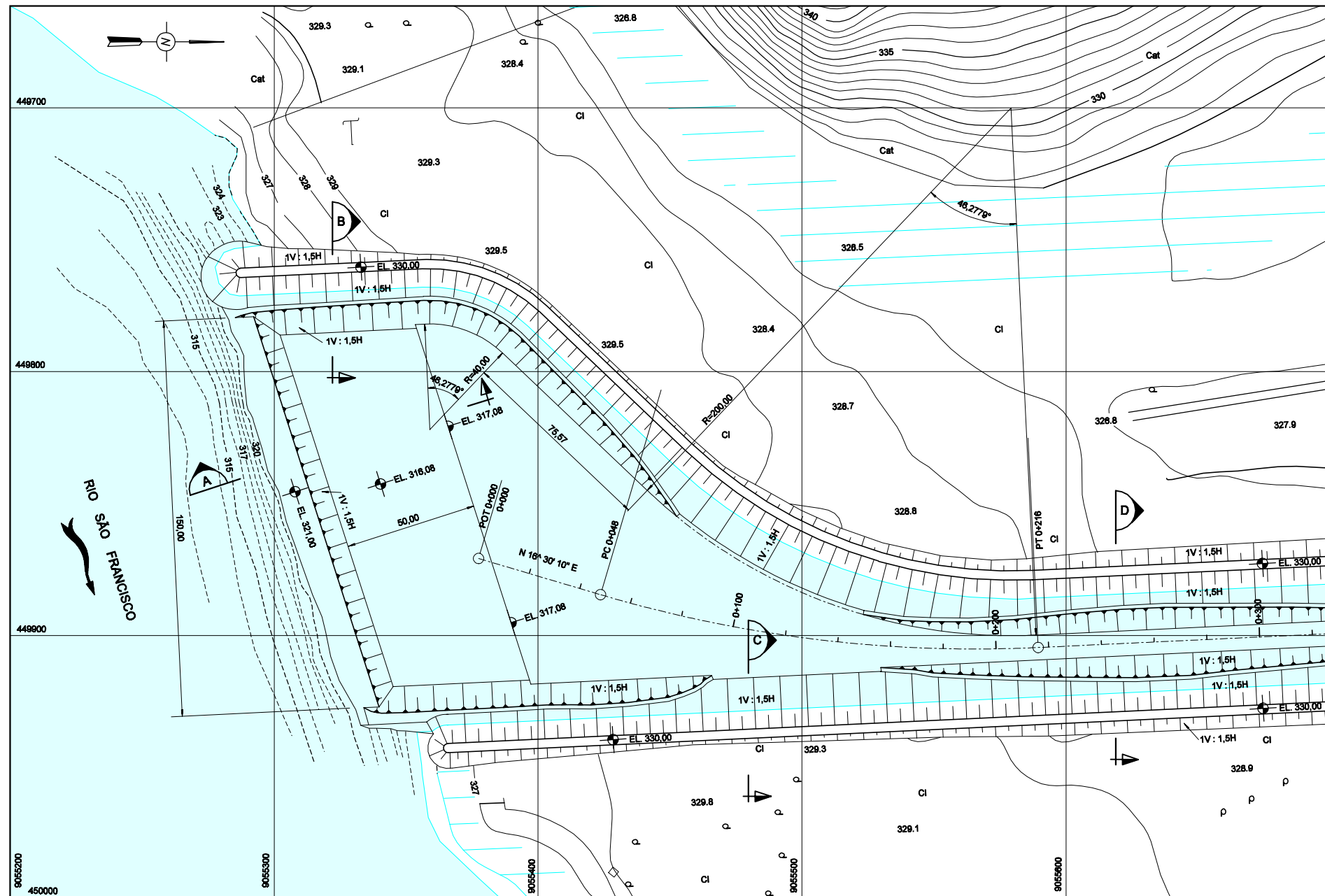
Do dimensionamento hidráulico e das simulações hidrodinâmicas efetuadas, resultaram as seguintes características do canal de aproximação às bombas e respectiva região da tomada d'água da EB-I/1:

a) Canal de aproximação às bombas

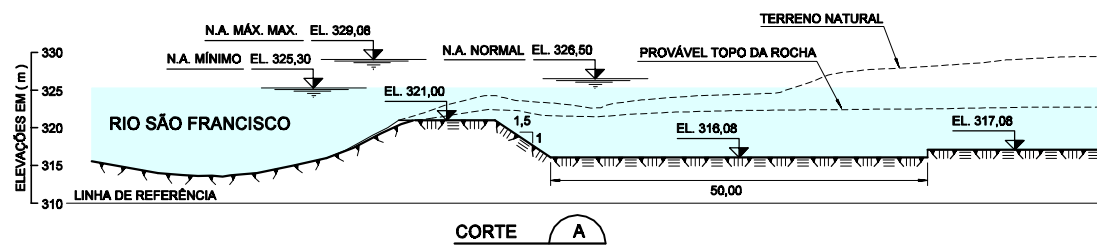
- Extensão = 2.060 m
- Largura da base = 9,50 m
- Inclinação dos taludes = 1,0V:1,5H
- Coroamento lateral = El. 330,00 m
- Vazão de dimensionamento = 99 m³/s
- Profundidades d'água = entre 8,22 e 12,00 m
- Declividade do fundo = 0,0001 m/m
- Coeficiente de rugosidade, n = 0,050
- Velocidade média máxima = 0,55 m/s

b) Tomada d'água da EB-I/1

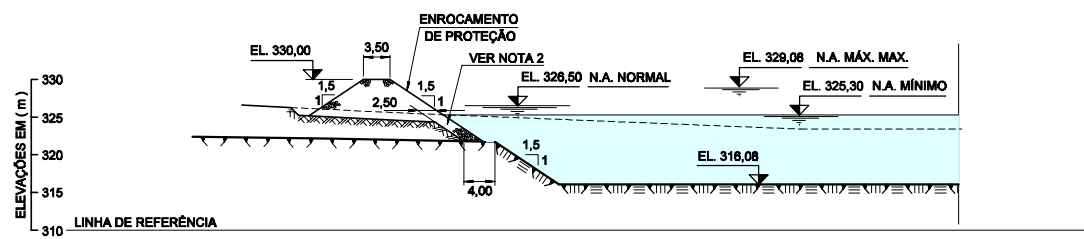
- Dimensões do “forebay” = 70 x 188 m
- Cota de fundo do “forebay” = El. 316,76 m
- Cota de fundo do canal = El. 316,76 m
- N.A. mínimo operacional = 324,89 m
- N.A. normal = 326,30 m
- N.A. máximo maximorum = 329,32 m



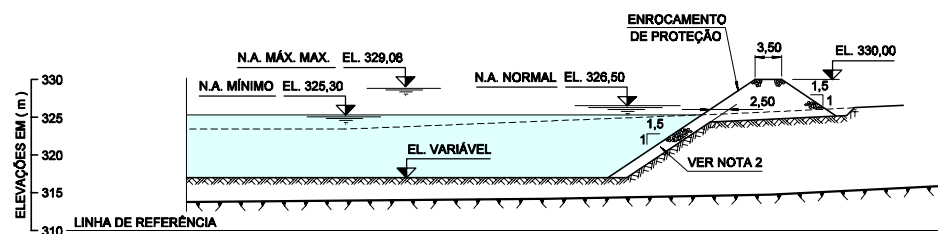
PLANTA
0 10 20 30 40 80m
ESCALA GRÁFICA



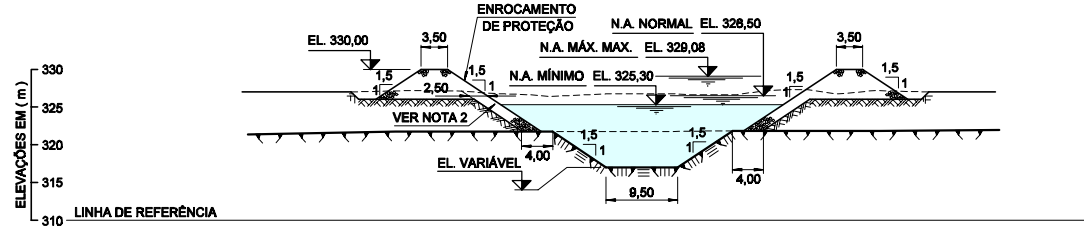
CORTE A
ESC. 1: 500



CORTE B
ESC. 1: 500

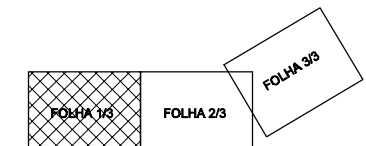


CORTE C
ESC. 1: 500



CORTE D
ESC. 1: 500

0 5 10 15 20 40m
ESCALA GRÁFICA



ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

NOTAS

- 1 - ELEVACIONES E DIMENSIONES EN METRO.
- 2 - A CAMADA DE PROTEÇÃO EN CONTACTO CON TALUDES DE SOLO ESCAVADO DEVERÁ SER EXECUTADA CON ENROCAMENTO SEGREGADO.
- 3 - NO TRECHO DE CANAL ENTRE A TOMADA D'ÁGUA E A EB 1/1 NÃO ESTÁ PREVISTO O REVESTIMENTO DE CONCRETO. DURANTE AS OBRAS ESTE CRITÉRIO PODERÁ SER REAVALIADO EN FUNÇÃO DAS REAIS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS LOCAIS.
- 4 - AS FUNDACIONES DOS DIQUE LATERAIS DEVERÁN SER CONSTITUIDAS DE SOLOS COLUVIONARES, ALUVIÕES ARENOSOS OU SOLO DE ALTERAÇÃO DE ROCHA. SOLOS ORGÁNICOS MOLES A MUITO MOLES DEVERÁN SER REMOVIDOS.
- 5 - O SISTEMA DE REBAIXAMENTO DO LENÇOL FRÁTICO PARA A IMPLANTAÇÃO DAS OBRAS DEVERÁ SER DE RESPONSABILIDADE DO CONSTRUTOR (PROJETO, IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO)

REFERÊNCIA

261-FUN-TSF-A1-B0289- EIXO NORTE - TRECHO I
PROJETO GEOMÉTRICO DO CANAL - PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL EST. 000 A 3+000 - FL. 1/48

Nº FUNCATE	EN. B/I. DS. GT. 1800
------------	-----------------------

REV. Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	EXEC.	VERIF.	APROV.

CONSORCIO **ENGEORPS HARZA**

PROJETO	CMN	DATA	15 / 12 / 00
PROJETISTA	POPPE	DES.	DATA 15 / 12 / 00
VERIFICAÇÃO	MOG	DATA	15 / 12 / 00
APROVAÇÃO	Engº Civil Murilo Donnici Ruiz CREA 13002/D 6ª Região		

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA

VERIFICAÇÃO	DATA		
APROVAÇÃO	R.A.	DATA	
APROVAÇÃO	A.C.V.	DATA	

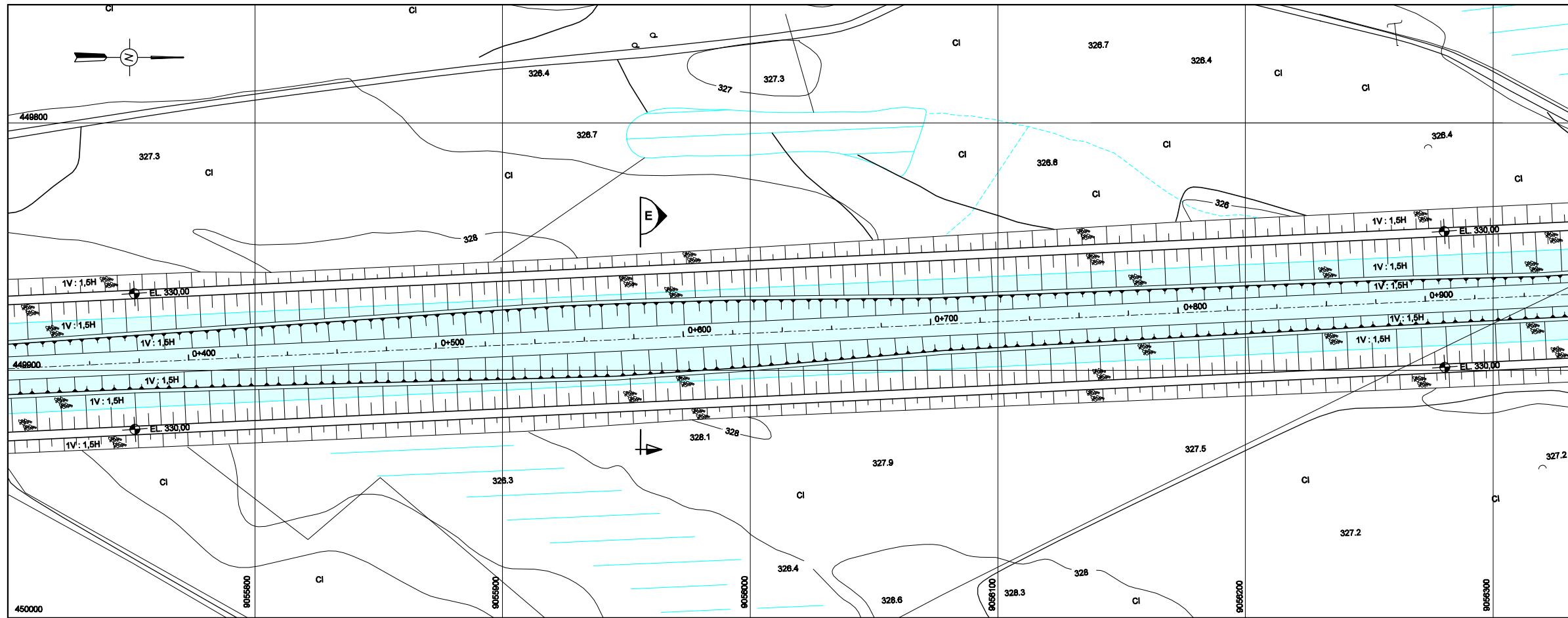
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS

PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

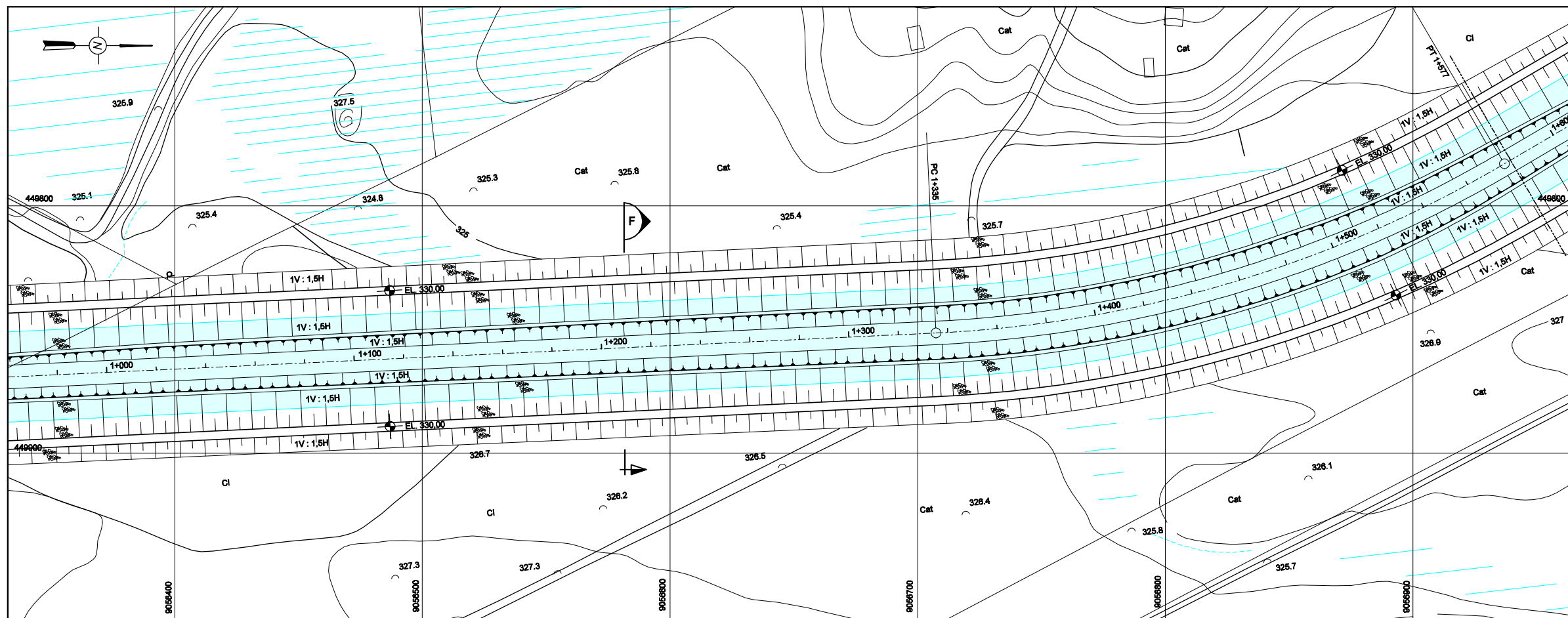
PROJETO BÁSICO

EIXO NORTE - TRECHO I
TOMADA D'ÁGUA NO RIO SÃO FRANCISCO
IMPLANTAÇÃO
PLANTA E CORTES

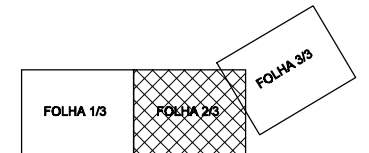
FL. 1/3	ESCALA INDICADA
Nº	REV.
261-FUN-TSF-A1-B0484	0/A



PLANTA



PLANTA



ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

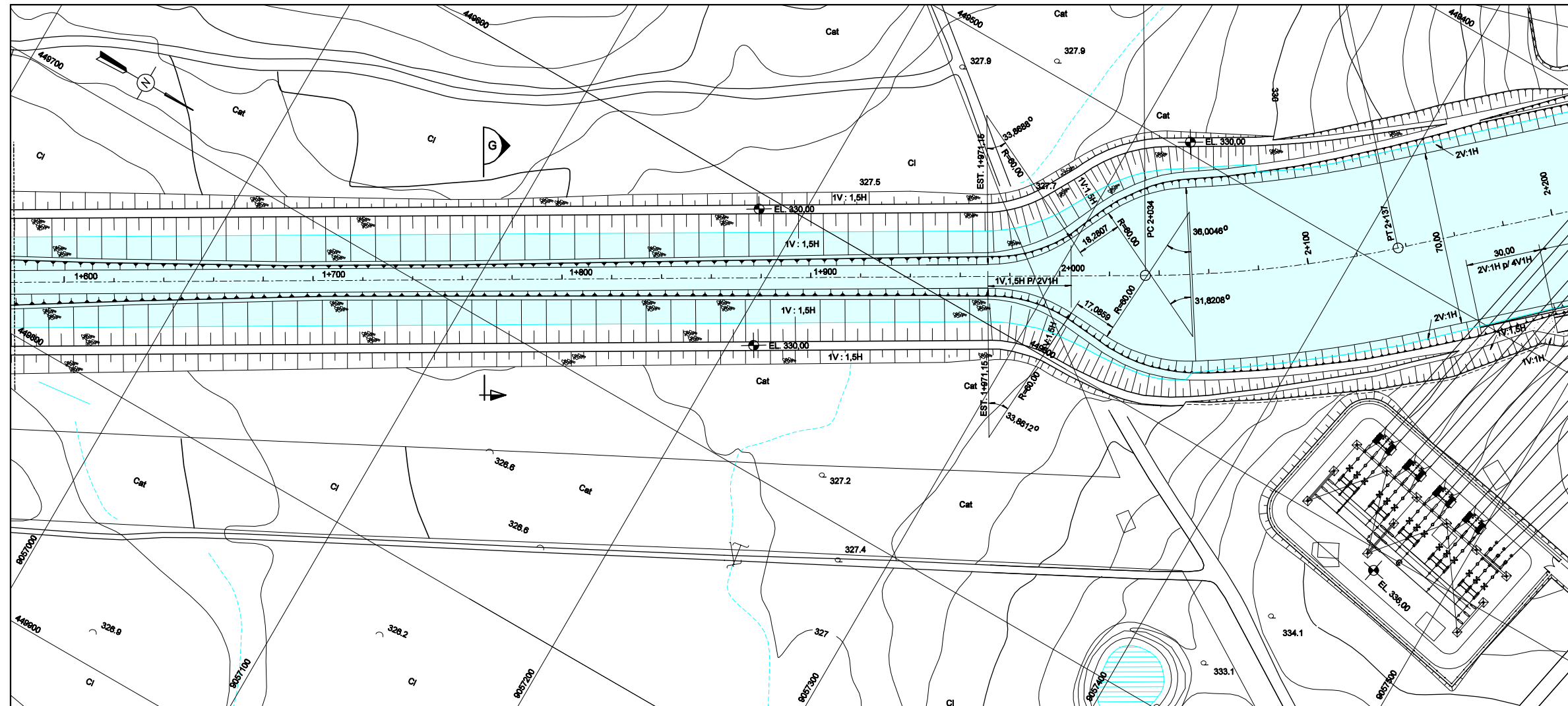
NOTAS

- 1 - ELEVÇÕES E DIMENSÕES EM METRO.
- 2 - A CAMADA DE PROTEÇÃO EM CONTATO COM TALUDES DE SOLO ESCAVADO DEVERÁ SER EXECUTADA COM ENROCAMENTO SEGREGADO.
- 3 - NO TRECHO DE CANAL ENTRE A TOMADA D'ÁGUA E A EB I / 1 NÃO ESTÁ PREVISTO O REVESTIMENTO DE CONCRETO. DURANTE AS OBRAS ESTE CRITÉRIO PODERÁ SER REAVALIADO EM FUNÇÃO DAS REAIS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS LOCAIS.

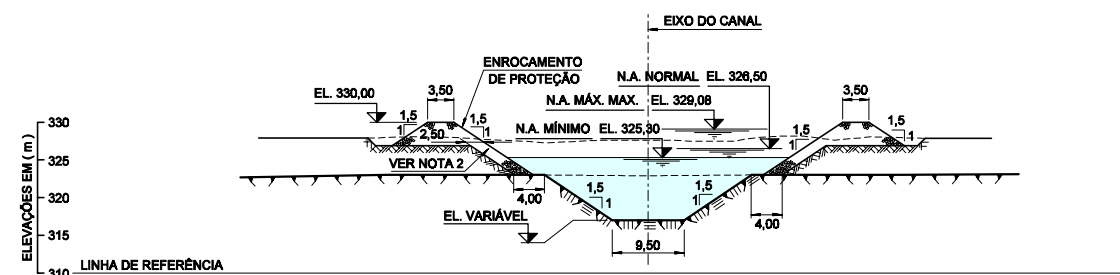
REFERÊNCIA

261-FUN-TSF-A1-B0289- EIXO NORTE - TRECHO I
 PROJETO GEOMÉTRICO DO CANAL - PLANTA E
 PERFIL LONGITUDINAL EST. 000 À 3+000 - FL. 1/48

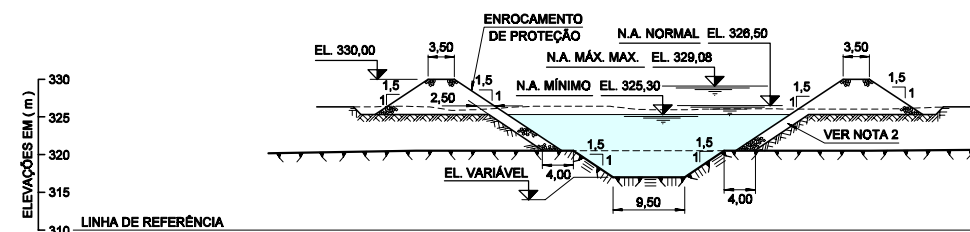
Nº FUNCATE		EN. B/I. DS. GT. 1801			
REV. Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	EXEC.	VERIF.	APROV.
PROJETO	CMN	DATA	15 / 12 / 00		
PROJETISTA	POPPE	DES.	DATA 15 / 12 / 00		
VERIFICAÇÃO	MOG	DATA	15 / 12 / 00		
APROVAÇÃO	Engº Civil Murilo Dondici Ruiz CREA 13002/D 6ª Região				
VERIFICAÇÃO	R.A.		DATA	/ /	
APROVAÇÃO	A.C.V.		DATA	/ /	
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL PROJETO BÁSICO					
EIXO NORTE - TRECHO I TOMADA D'ÁGUA NO RIO SÃO FRANCISCO IMPLANTAÇÃO PLANTA					
					FL. 2/3
SUBSTITUI	SUBSTITUÍDO POR		ESCALA INDICADA		
Nº	261-FUN-TSF-A1-B0485		REV. 0/A		



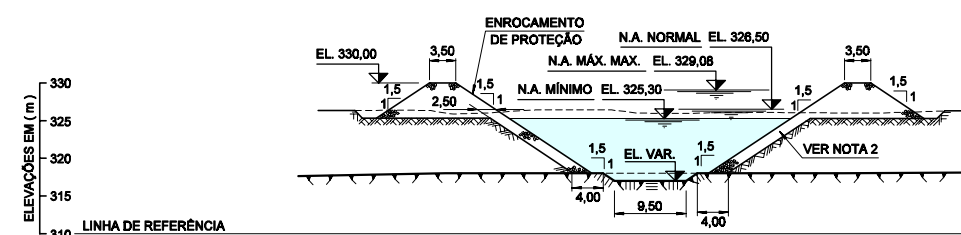
PLANTA



CORTE E
ESC. 1: 500



CORTE F
ESC. 1: 500



CORTE G
ESC. 1: 500



ESCALA GRÁFICA

FOLHA 1/3	FOLHA 2/3
-----------	-----------

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

NOTAS

- 1 - ELEVÇÕES E DIMENSÕES EM METRO.
- 2 - A CAMADA DE PROTEÇÃO EM CONTATO COM TALUDES DE SOLO ESCAVADO DEVERÁ SER EXECUTADA COM ENROCAMENTO SEGREGADO.
- 3 - NO TRECHO DE CANAL ENTRE A TOMADA D' ÁGUA E A EB 1/1 NÃO ESTÁ PREVISTO O REVESTIMENTO DE CONCRETO. DURANTE AS OBRAS ESTE CRITÉRIO PODERÁ SER REAVALIADO EM FUNÇÃO DAS REAIS CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS LOCAIS.

REFERÊNCIA

281-FUN-TSF-A1-B0289- EIXO NORTE - TRECHO I
PROJETO GEOMÉTRICO DO CANAL - PLANTA E
PERFIL LONGITUDINAL EST. 000 A 3+000 - FL. 1/48

Nº FUNCATE EN. B/I. DS. GT. 1802

REV. Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	EXEC.	VERIF.	APROV.

CONSORCIO **ENGEORPS HARZA**

PROJETO	CMN	DATA	15 / 12 / 00
PROJETISTA	POPPE	DES.	DATA
VERIFICAÇÃO	MOG	DATA	15 / 12 / 00
APROVAÇÃO	Engº Civil Murilo Dondici Ruiz CREA 13002/D 6ª Região		

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA

FUNCATE
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES
E TECNOLOGIA ESPACIAIS

VERIFICAÇÃO	DATA	/ /
APROVAÇÃO	R.A.	DATA
APROVAÇÃO	A.C.V.	DATA

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA,
APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS

PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS
DO RIO SÃO FRANCISCO PARA
O NORDESTE SETENTRIONAL

PROJETO BÁSICO

EIXO NORTE - TRECHO I
TOMADA D' ÁGUA NO RIO SÃO FRANCISCO
IMPLANTAÇÃO
PLANTA E CORTES

SUBSTITUI	SUBSTITUÍDO POR	ESCALA INDICADA
Nº	281-FUN-TSF-A1-B0488	REV. 0/A