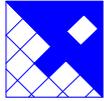




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais



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

PROJETO BÁSICO

**TRECHO V – EIXO LESTE
R2 – CRITÉRIOS DE PROJETO**



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

TRECHO V – EIXO LESTE R2 – CRITÉRIOS DE PROJETO

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

Coordenador Geral: João Urbano Cagnin

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor Interino: Volker W. J. H. Kirchhoff

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

Gerente: José Armando Varão Monteiro

Coordenador Técnico: Antônio Carlos de Almeida Vidon

Coordenador Técnico Adjunto: Ricardo Antônio Abrahão

Brasília, março de 2001

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE

Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional; Trecho V – Eixo Leste – R2 – Critérios de Projeto. – São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2000.

65 p

1. Transposição de Águas
- I. Trecho V – Eixo Leste – R2 – Critérios de Projeto

CDU 556.5

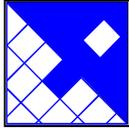
FUNCATE:

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



FUNCATE

**Fundação de Ciência,
Aplicações e Tecnologia
Espaciais**

Projeto	Data
Verificação	Data
Aprovação	Data
Aprovação	Data
Código FUNCATE EN.B/V.RF.GR.0002	Data

Rev.	Data	Folha	Descrição	Aprovação	FUNCATE	
					Data	Aprovação

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

**TRECHO V - EIXO LESTE
R2 - CRITÉRIOS DE PROJETO**

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

Equipe

José Armando Varão Monteiro: Gerente

Antônio Carlos de Almeida Vidon: Coordenador Técnico

Ricardo Antônio Abrahão: Coordenador Técnico Adjunto

Akira Ussami: Chefe da Equipe de Geotecnia:

*Geverson Luiz Machado – Engenheiro Civil
Gislaine Terezinha de Matos – Engenheira Civil
Newton Bitencourt Santos – Engenheiro Civil*

Nobutugu Kaji: Chefe da Equipe de Geologia:

*Aloysio Accioly de Senna Filho – Geólogo
Fábio Canzian – Geólogo
José Frederico Büll – Geólogo
Wilson Roberto Mori – Geólogo
Fernando Bispo de Jesus – Técnico de Campo
José Antonio Santos Subrinho – Técnico de Campo*

José Carlos Mazzo: Chefe da Equipe de Hidráulica:

*Anibal Young Eléspuru – Engenheiro Civil
Rafael Guedes Valença – Engenheiro Civil*

José Carlos Degaspere: Chefe da Equipe de Estrutura

José Ricardo Junqueira do Val: Chefe da Equipe de Orçamento e Planejamento

*Roberto Lira de Paula – Engenheiro Civil
José Luiz Barbosa Vianna – Tecnólogo em Obras Cíveis*

Ricardo Carone: Chefe da Equipe de Engenharia Mecânica

Bernd Dieter Lukas – Engenheiro Mecânico

Sidnei Collange: Chefe da Equipe de Engenharia Elétrica

Coaraci Inajá Ribeiro – Engenheiro Eletricista

Sandra Schaaf Benfica: Chefe da Equipe de Produção

*Aleksander Szulc – Projetista
Antonio Muniz Neto – Projetista
Carla Costa R. Pizzo Atvars – Projetista
Florencio Ortiz Martinez – Projetista
João Luiz Bosso – Projetista
Leandro Eboli – Projetista
Rubens Crepaldi – Projetista
Mônica de Lourdes Sampaio – Auxiliar Técnica*

Infra Estrutura e Apoio

*Ana Julia Cristofani Belli – Secretária
Maria Luiza Chiarello Miragaia – Secretária
Célia Regina Pandolphi Pereira – Assistente Adm. Especializada
Carlos Roberto Leite Marques – Assistente Administrativo
Laryssa Lillian Lopes – Técnica em Geoprocessamento
Henrique de Brito Farias – Técnico de Informática
Jacqueline Oliveira de Souza – Auxiliar Administrativo
Marcelo Pereira Almeida – Auxiliar Administrativo
Priscila Pastore M. dos Santos – Auxiliar Administrativo
Juliano Augusto do Rosário – Mensageiro
Maria Aparecida de Souza – Servente*

Consultores

*Francisco Gladston Holanda
Luiz Antonio Villaça de Garcia
Luiz Ferreira Vaz
Nick Barton*



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R2 – CRITÉRIOS DO PROJETO, parte integrante do **Projeto Básico do Trecho V – Eixo Leste**, referente ao PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL, elaborado pela FUNCATE através do contrato INPE/FUNCATE nº 01.06.094.0/99.

O Projeto de Transposição está sendo desenvolvido com base no Convênio nº 06/97-MPO/SEP/RE celebrado entre o MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL-MI e o MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA-MCT e seu INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE.

O **Projeto Básico do Trecho V – Eixo Leste** compõe-se seguintes relatórios:

- R1 Descrição do Projeto
- R2 Critérios de Projeto
- R3 Sistemas de Captação no Reservatório da UHE Itaparica
- R4 Estações de Bombeamento
- R5 Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas de Usos Difusos, Túnel, Estruturas de Controle
- R6 Barragens e Vertedouros
- R7 Sistema de Drenagem
- R8 Bases Cartográficas
- R9 Geologia e Geotecnia
- R10 Estudos Hidrológicos
- R11 Sistemas de Supervisão, Controle e Telecomunicações
- R12 Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional
- R13 Sistema Elétrico
- R14 Canteiros e Sistema Viário
- R15 Cronograma e Orçamentos
- R16 Caderno de Desenhos
- R17 Dossiê de Licitação
- R18 Memoriais de Cálculo



ÍNDICE	PG.
1 . OBJETO E OBJETIVO	1
2 . CRITÉRIOS GERAIS DE PROJETO	1
3 . ESTUDOS HIDROLÓGICOS	1
3.1 Introdução	1
3.2 Critérios de Projeto dos Estudos Operacionais.....	1
3.2.1 Vazão na Tomada d'água	1
3.3 Critério de Projeto para o Dimensionamento Hidrológico das Obras Principais	2
3.3.1 Nível d'água de projeto na tomada d'água	2
3.3.2 Vazões de Dimensionamento dos Vertedouros das Barragens	2
3.3.3 Critérios de dimensionamento das obras de drenagem.....	2
4 . HIDRÁULICA.....	2
4.1 Introdução	2
4.2 Critérios Gerais do Projeto	2
4.2.1 Traçado Geométrico.....	2
4.2.2 Soluções Tecnológicas	3
4.2.3 Estradas de Acesso e Manutenção	3
4.2.4 Proteção da Faixa de Domínio	3
4.3 Critérios do Projeto Hidráulico.....	3
4.3.1 Introdução	3
4.3.2 Traçado Geométrico.....	4
4.3.3 Declividade das Obras de Adução	4
4.3.4 Vazões de Dimensionamento das Obras de Adução.....	4
4.3.5 Cálculo do Escoamento	5
4.3.6 Rugosidade das paredes	6
4.3.7 Capacidade de Transporte de Sedimentos	8
4.3.8 Velocidade Limite	9
4.3.9 Canais.....	10
4.3.10 Túneis	13
4.3.11 Aquedutos	14
4.3.12 Aduclas.....	14
4.3.13 Obras Especiais	14
4.3.14 Estações de Bombeamento	16
4.3.15 Reservatórios	17
4.3.16 Obras de Captação no Reservatório de Itaparica	18
4.3.17 Obras de Drenagem Superficial	20
5 . GEOLOGIA E GEOTECNIA	21
5.1 Introdução	21
5.2 Características dos Materiais de Escavação	21
5.3 Características de Materiais Compactados.....	23
5.4 Tratamento de Fundação e Taludes	25
5.5 Maciços de Aterros Compactados.....	27
5.6 Seções de Escoamento dos Canais.....	27
5.6.1 Seções em Escavação em Solo.....	27
5.6.2 Seções Escavadas em Material de 2ª categoria.....	28
5.6.3 Seções Escavadas em Rocha.....	28



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

5.6.4 Seções sobre Aterro Compactado.....	28
5.7 Túneis	29
5.8 Barragens	29
5.9 Áreas de Empréstimo	30
6 . ENGENHARIA ELÉTRICA	30
6.1 Introdução	30
6.2 Equipamentos e Sistemas Elétricos Previstos	30
6.2.1 Nas Estações Elevatórias	30
6.2.2 Nas Estruturas de Controle	31
6.2.3 Nas Tomadas D'água de Uso Difuso	31
6.2.4 Nas Estruturas de Derivação.....	31
6.3 Normas Técnicas e Padrões.....	31
6.3.1 Norma Oficial	32
6.3.2 Normas Opcionais.....	32
6.3.3 Padrões.....	32
6.4 Critérios de Projeto para os Equipamentos e Sistemas Elétricos das Estações de Bombeamento, Subestações, Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação	32
6.4.1 Localização e Número.....	32
6.4.2 Unidades de Bombeamento	32
6.4.3 Subestações	33
6.4.4 Arranjo Físico	33
6.4.5 Sistema de Aterramento.....	36
6.4.6 Equipamentos Principais.....	37
6.4.7 Comando, Controle, Proteção e Supervisão	37
6.4.8 Serviços Auxiliares em Corrente Alternada	40
6.4.9 Serviços Auxiliares em Corrente Contínua	40
6.4.10 Sistema de Telecomunicações.....	41
6.4.11 Sistema de Iluminação	43
6.4.12 Sistema de Fiação	43
6.4.13 Sistema de Vias de Cabos	44
7 . CRITÉRIOS DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA.....	44
7.1 Introdução	44
7.2 Traçado Consolidado e Estruturas Hidráulicas Previstas.....	44
7.3 Equipamentos e Sistemas Mecânicos Previstos	45
7.3.1 Estações de Bombeamento	45
7.3.2 Estruturas de Controle	45
7.3.3 Tomadas d'Água de Uso Difuso.....	45
7.4 Unidades, Normas e Padrões.....	46
7.5 Critérios de Projeto para os Equipamentos e Sistemas Mecânicos das Estações de Bombeamento	46
7.5.1 Captação.....	46
7.5.2 Localização e número de Estações.....	47
7.5.3 Unidades de Bombeamento	47
7.5.4 Poços de Instalação das Unidades de Bombeamento.....	47
7.5.5 NPSH Disponível	47
7.5.6 Equipamentos Hidromecânicos da Tomada D'Água.....	47
7.6 Equipamentos de Levantamento e Transporte	48
7.6.1 Adutoras.....	48



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

7.6.2 Sistemas Auxiliares Mecânicos	49
7.7 Critérios de Projeto para os Equipamentos Mecânicos das Estruturas de Controle	49
7.8 Critérios de Projeto para os Equipamentos Mecânicos das Tomadas D'água de Uso Difuso.....	49
8 . ESTRUTURAS CIVIS	50
8.1 Objetivo.....	50
8.1.1 Estruturas a Analisar	50
8.1.2 Critérios Básicos	51
8.1.3 Normas e Entidades Normalizadoras	51
8.2 Características dos Materiais	51
8.2.1 Concreto	51
8.2.2 Aço para concreto armado	52
8.2.3 Aço para concreto protendido	52
8.2.4 Aço Estrutural.....	52
8.3 Cargas de Projeto	52
8.3.1 Cargas Permanentes	52
8.3.2 Cargas Hidrostáticas Externas	52
8.3.3 Subpressões e Pressões Neutras	52
8.3.4 Sobrecargas.....	53
8.3.5 Cargas de Assoreamento.....	54
8.3.6 Empuxos Estáticos de Terra e de Enrocamento.....	55
8.3.7 Cargas de Vento	55
8.3.8 Cargas Sísmicas	56
8.3.9 Cargas Hidrodinâmicas	56
8.3.10 Ação do Calor de Hidratação	57
8.4 Condições de Carregamento.....	57
8.4.1 Geral	57
8.4.2 Condições de Carregamento Normais (CCN).....	57
8.4.3 Condições de Carregamento Excepcionais (CCE)	57
8.4.4 Condições de Carregamento Limites (CCL)	58
8.4.5 Condições de Carregamento de Construção (CCC).....	58
8.4.6 Condições Adicionais	58
8.5 Estruturas de Concreto	58
8.5.1 Análises de Estabilidade	58
8.5.2 Geral	58
8.5.3 Análise de Tensões.....	60
8.5.4 Dimensionamento Estrutural	62
8.5.5 Disposições Construtivas	62
8.6 Barragem, Diques e Ensecadeiras.....	63
8.6.1 Análises de Estabilidade	63
8.6.2 Análises de Percolação.....	64
8.6.3 Análises de Recalques.....	64
9 . REFERÊNCIAS	65



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

1 . OBJETO E OBJETIVO

Este relatório tem por objeto o projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional.

O seu objetivo é o de apresentar os Critérios de Projeto Civil, Elétrico e Mecânico para o desenvolvimento do Projeto Básico desse empreendimento com vistas a fixar normas técnicas e diretrizes de projeto, definir os dados básicos e parâmetros a serem considerados nos estudos e cálculos deste empreendimento e fixar os procedimentos principais de análise que permitam obter um nível de confiabilidade para as estruturas principais, equivalente a estruturas de obras similares e do mesmo porte.

Os critérios aqui apresentados visam apenas complementar as normas brasileiras, quando elas forem insuficientes para a resolução de problemas específicos, valendo-se para isto de parâmetros e hipóteses de cálculo universalmente aceitos, que se encontram em normas e publicações editadas por entidades de renome internacional. Tais critérios poderão sofrer alterações durante o desenvolvimento dos trabalhos, em função de resultados de novas investigações de campo, de resultados de ensaios de laboratório ou de avanços tecnológicos em áreas específicas.

2 . CRITÉRIOS GERAIS DE PROJETO

Os critérios de projeto aqui apresentados visarão sempre, através das diretrizes e dos valores estabelecidos, a garantia da segurança da obra, durante as fases de construção e de operação das estruturas, a eficiência e confiabilidade operacional, ensejando ao empreendimento condições de otimização de custos e de prazos.

O traçado geométrico das obras de transposição deverá se desenvolver de modo a tirar o melhor partido da topografia e condições geológicas locais, de modo a minimizar os custos de implantação, manutenção e operação, devendo, ainda, se ajustar aos objetivos e conceitos definidos para o Projeto.

Soluções tecnológicas diversas para a condução das águas serão adotadas em função das condições topográficas, geológicas e hidráulicas de cada trecho e essas soluções serão apresentadas em desenhos específicos.

3 . ESTUDOS HIDROLÓGICOS

3.1 Introdução

Este item apresenta os principais critérios de projeto que serão utilizados no desenvolvimento dos estudos hidrológicos para o projeto básico.

3.2 Critérios de Projeto dos Estudos Operacionais

3.2.1 Vazão na Tomada d'água

A partir dos estudos de inserção regional, consolidados nos estudos de viabilidade da fase anterior, estabeleceu-se que, para atender as demandas definidas no cenário estabelecido para sua evolução seria necessária uma captação máxima de 28 m³/s.

Essa vazão foi dimensionada para atender as demandas em toda a extensão do trecho, levando-se em conta as perdas físicas, notadamente por infiltração e evaporação, e por deficiência de gestão.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

3.3 Critério de Projeto para o Dimensionamento Hidrológico das Obras Principais

3.3.1 Nível d'água de projeto na tomada d'água

Os níveis adotados para dimensionamento da tomada d'água no Reservatório de Itaparica, são os níveis característicos do projeto, ou seja,

NA mínimo 299,00 msnm

NA normal 304,00 msnm

NA máx. maximorum 305,00 msnm

3.3.2 Vazões de Dimensionamento dos Vertedouros das Barragens

Os critérios para dimensionamento dos vertedouros das novas barragens, com vistas à formação dos reservatórios de compensação ou derivação, são apresentadas a seguir, em função do porte da obra:

Pequenas e médias barragens: dimensionamento para o hidrograma de projeto com período de retorno de 500 anos e verificação da borda livre para o hidrograma de projeto com período de retorno de 1.000 anos.

Grandes barragens: dimensionamento para o hidrograma de projeto com período de retorno de 1.000 anos.

Em princípio, as barragens dos reservatórios de compensação ou derivação podem ser consideradas de pequeno e médio porte.

3.3.3 Critérios de dimensionamento das obras de drenagem

O critério hidrológico de dimensionamento estabelece que as obras de drenagem serão dimensionadas para vazões correspondentes ao hidrograma com período de retorno de 100 anos.

4 . HIDRÁULICA

4.1 Introdução

Este item apresenta os principais critérios de projeto que serão utilizados no desenvolvimento dos estudos hidráulicos para o Projeto Básico.

4.2 Critérios Gerais do Projeto

4.2.1 Traçado Geométrico

Nas fases anteriores de projeto foi definida a macro-localização das obras da transposição, a partir da qual foram efetuados os trabalhos de restituição aerofotogramétrica do terreno.

Respeitando ou adaptando as diretrizes de percurso já definidas, o traçado geométrico das obras de transposição deverá se desenvolver de modo a tirar o melhor partido da topografia e das condições geológicas locais, para minimizar os custos de implantação, manutenção e operação, devendo, ainda, se ajustar aos objetivos e conceitos definidos para o Projeto.

Deverá minimizar, ainda, as obras de escavação e aterro e obter a melhor compensação possível dos volumes de corte e aterro, de modo a se diminuir volumes de bota-fora ou volumes de empréstimos de solo ou rocha.

Tanto o traçado geométrico como o tipo de solução tecnológica a ser adotada em cada trecho deverão minimizar problemas sociais de deslocamentos de populações ou desapropriações custosas.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.2.2 Soluções Tecnológicas

Soluções tecnológicas diversas para condução das águas serão adotadas em função das condições topográficas, geológicas e hidráulicas de cada trecho, sendo enunciadas abaixo:

- ensecadeiras;
- canais revestidos em corte em solo ou rocha;
- canais revestidos sobre aterros ou enrocamentos;
- túneis escavados convencionalmente a fogo;
- aquedutos em concreto;
- adutoras em aço;
- galerias pré-moldadas ou moldadas no local;
- reservatórios;
- comportas;
- tomadas d'água;
- válvulas dispersoras.

4.2.3 Estradas de Acesso e Manutenção

Estradas de acesso para a implantação de estruturas importantes, tais como estações de recalque, comportas, equipamentos de manobras e outras, deverão ser consideradas e seu projeto elaborado em nível de projeto básico.

Serão consideradas estradas de manutenção em ambos os lados do canal, com 3,5m de largura.

As estradas deverão ser consideradas com uma largura de plataforma de 3,5m e serão apresentadas na escala 1:100.000.

Ligações entre o lado direito e o esquerdo do canal a céu aberto serão previstas, para permitir o trânsito das populações afetadas pela implantação do sistema.

4.2.4 Proteção da Faixa de Domínio

Visando controlar eventuais ocupações, evitar a queda de animais de médio e grande porte nos canais, a faixa de domínio será protegida por cercas de arame.

4.3 Critérios do Projeto Hidráulico

4.3.1 Introdução

As obras hidráulicas previstas no Projeto compreendem:

- obras de captação na margem esquerda do rio São Francisco, localizadas no reservatório de Itaparica;
- estações elevatórias;
- adutoras associadas às obras de recalques;
- obras de adução:
- canais de condução d'água;
- túneis de adução;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- aquedutos;
- obras de controle, como vertedouros, válvulas dispersoras, reservatórios de regularização, reservatórios de compensação e outros;
- obras de tomada d'água para uso difuso;
- adutoras.

4.3.2 Traçado Geométrico

O traçado geométrico das obras de adução será constituído de uma sucessão de trechos retilíneos e curvas.

Preferencialmente, as obras em túnel e aquedutos serão executadas em trechos retilíneos, com todas as curvas necessárias para a execução do traçado desenvolvidas nos canais.

O raio mínimo de curvatura dos canais será de:

- canais revestidos $R \geq 4B$;
- canais em solo ou rocha $R \geq 7B$;

onde:

R – raio de curvatura no eixo do canal;

B – largura superficial do escoamento.

A implantação das obras deverá ser executada em trechos não muito extensos, ajustando o traçado de forma a minimizar os volumes de obra e balancear os volumes de corte e escavação, dentro de limites econômicos para distância de transporte dos materiais envolvidos.

Na concepção dos traçados deverão ser evitados, dentro do possível:

- cortes de grande altura >30m;
- aterros de grande altura >30m;
- contornos extensos de vales ou espigões.

4.3.3 Declividade das Obras de Adução

Na fase dos estudos de viabilidade, foi realizada uma análise econômica que estabeleceu o valor de 0,0001 m/m para o projeto dos canais, para operação em plena capacidade, quando situados em trechos do bombeamento.

Nos demais trechos, a declividade poderá ser maior de acordo com a topografia.

As obras especiais de adução de água (túneis e aquedutos), sempre que as condições topográficas o permitirem, deverão ter sua declividade aumentada para 0,0004 m/m, respeitando os valores limites de velocidade de escoamento e o número de Froude. O objetivo desta medida é minorar o custo destas obras, que são localizadas e apresentam custo por metro linear significativamente maior aos dos canais de adução.

4.3.4 Vazões de Dimensionamento das Obras de Adução

Conforme definido na fase de Viabilidade as obras de transposição de água serão dimensionadas considerando o bombeamento de água fora do horário de pico do sistema elétrico, ou seja, bombeamento durante 20,5 horas seguidas nos dias úteis e paralisação das bombas no referido horário de pico.

As vazões de dimensionamento para os canais e estações de bombeamento são:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- captação no reservatório de Itaparica, Rio São Francisco até o reservatório de Copiti – 28m³/s;
- derivação do reservatório Muquém até o reservatório de Juá – 10m³/s;
- derivação do reservatório de Copiti até o reservatório de Poço da Cruz–18 m³/s;
- derivação do reservatório de Copiti até o reservatório de Poções – 18 m³/s;
- derivação do reservatório Campos até o reservatório Pão de Açúcar, no rio Ipojuca – 8 m³/s.

4.3.5 Cálculo do Escoamento

4.3.5.1 Dimensionamento dos canais

As obras de adução de água serão dimensionadas para as vazões de projeto, conforme definidas no item anterior. O dimensionamento hidráulico para determinação da seção transversal será feito para o escoamento em regime permanente e uniforme, a partir do qual será definido o perfil longitudinal do sistema de canais, definindo-se sua implantação geométrica.

Para os estudos de comportamento do canal em situações diversas, determinação das linhas de água e bordas livres será utilizado programa computacional. Este programa é capaz de determinar as condições de escoamento em canais tanto em regime permanente como variado, considerando em seus cálculos as equações completas de Saint Venant. No cálculo das perdas de carga é adotada a fórmula de Chezy, considerando os coeficientes de rugosidade conforme definidos por Manning. As perdas localizadas são consideradas como proporcionais à energia cinética na seção.

Com a utilização do mesmo programa, será pré-dimensionado o comportamento dos canais em regime variado, definindo-se as características necessárias, trecho a trecho, para limitação das variações de nível durante a operação. A verificação final do comportamento dos canais será realizada para o canal como um todo, conforme definido no relatório nº 12.

4.3.5.2 Conduitos em pressão

Nos conduitos fechados em pressão as perdas de carga (ΔH) serão calculadas pela fórmula universal de perda de carga.

$$\Delta H = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = f \left(R_e ; \frac{\varepsilon}{D} \right) \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

onde:

f – fator de perda de carga ou fator de resistência, função do número de Reynolds Re e da rugosidade relativa: $\frac{\varepsilon}{D}$

ε - rugosidade absoluta, m

L – comprimento do conduto,(m);

D – diâmetro hidráulico da seção de escoamento,(m);

V – velocidade de escoamento, (m/s)

$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} i^{1/2}$$



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Na utilização da fórmula de Manning a relação entre f e n é dada pela seguinte equação:

$$f = 124,6 \frac{n^2}{D^{1/3}}$$

n - Coeficiente de rugosidade de Manning, s/m^{1/3} ;

$$R_h = \frac{S}{P} \text{ - raio hidráulico, m;}$$

S - Seção molhada, m²;

P – perímetro molhado, m;

i – declividade, m/m.

4.3.5.3 Conduto em baixa pressão

Neste caso, também, as perdas de carga serão calculadas seguindo o mesmo critério do caso anterior. Para um tubo de PVC, de 2,80 m de diâmetro e para o qual adotou-se a rugosidade n de Manning igual a 0,011 s/m^{1/3}.

4.3.5.4 Perdas Localizadas

As perdas devidas a singularidades existentes no traçado serão calculadas pela fórmula:

$$\Delta H = K \frac{V^2}{2g}$$

onde:

V - velocidade de escoamento na seção estrangulada, (m/s);

g - aceleração da gravidade (adotado 9,81 m/s²);

K - coeficiente de perda de carga; função das características geométricas;

ΔH - perda de carga, (m)

4.3.6 Rugosidade das paredes

Muitos são os fatores que influem na rugosidade, entre eles:

- Rugosidade superficial

A rugosidade depende da forma e do tamanho das irregularidades do material que forma a parede. Materiais finos provocam um efeito menor, reduzindo o atrito. Materiais grosseiros aumentam a rugosidade.

- Vegetação

A vegetação pode ser simulada como rugosidade superficial. Seu efeito depende principalmente da sua altura, densidade, distribuição e espécie. Deve-se ter especial atenção com o crescimento da vegetação. Segundo estudos apresentados na literatura existente específica, o coeficiente de rugosidade pode variar de 2 a 3 vezes o seu valor original devido ao desenvolvimento de vegetação ao longo dos canais.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Irregularidades

Canais com irregularidades no seu perímetro molhado e variações na sua seção transversal sofrem acréscimo na rugosidade.

- Sedimentação e Erosão

A sedimentação e erosão em canais, ao longo do período de operação, podem provocar alterações na rugosidade das paredes.

- Obstruções

A presença de troncos de árvores, pilares de pontes e outros materiais incrementam a rugosidade do canal, além de provocarem o efeito de redução de seção.

Diversos fatores influem na determinação da rugosidade real de um canal:

- material de acabamento;
- método construtivo e forma de acabamento;
- manutenção;
- erosão e deposição, etc.

4.3.6.1 Obras em concreto

Pesquisas realizadas e a experiência já adquirida demonstraram que canais com revestimento bem executado em concreto apresentam coeficiente de rugosidade de *Manning*, $n = 0,012$ a $0,013 \text{ s/m}^{1/3}$.

Com o passar do tempo, entretanto, podem ocorrer erosões ou deposições, movimentação das placas de revestimento, etc, aumentando a resistência ao escoamento.

Avaliações de campo realizadas em São Paulo (DAEE-SP) indicaram valores do coeficiente de *Manning* de até cerca de $n = 0,018 \text{ s/m}^{1/3}$, em função destes problemas.

A experiência americana aliada a estudos de campo demonstra que, para canais revestidos de concreto, o valor de n aumenta com aumentos nas dimensões do canal. Os estudos constataram uma relação entre o coeficiente n e o raio hidráulico R_H .

Com base nesses estudos, o coeficiente a ser utilizado no dimensionamento de canais de concreto é $n = 0,015 \text{ s/m}^{1/3}$.

4.3.6.2 Obras com revestimento em Concreto Projetado

Nas superfícies revestidas em concreto projetado, dois fatores principais influenciam a rugosidade:

acabamento do concreto projetado;

regularidade da superfície.

Quando em superfícies bem escavadas e com o concreto projetado conformando uma superfície contínua, regular e alinhada, os coeficientes de rugosidade recomendados são:

- concreto projetado, alisado à colher ou desempenadeira, bem acabado $n = 0,018 \text{ s/m}^{1/3}$;
- concreto projetado, alisado à colher ou desempenadeira, mal acabado $n = 0,020 \text{ s/m}^{1/3}$;
- concreto projetado, sem acabamento $n = 0,022 \text{ s/m}^{1/3}$;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Nos casos em que a superfície de escavação seja irregular, com o concreto projetado lançado de forma a não preencher totalmente os vazios para uma superfície final regular e alinhada, os coeficientes de rugosidade recomendados são:

- superfície contínua mas não alinhada, com variações suaves e pouco pronunciadas na seção $n = 0,022 \text{ s/m}^{1/3}$;
- escavação irregular em rocha, sem preenchimento total com concreto projetado $n = 0,027 \text{ s/m}^{1/3}$.

4.3.6.3 Obras escavadas em rocha

Os canais escavados em rocha deverão ter o coeficiente de rugosidade estimado em função do acabamento esperado da escavação. A estimativa, para cada caso, deverá ser realizada em função do tipo de rocha e das especificações de acabamento da escavação. Em princípio, os valores do coeficiente de *Manning* estarão dentro da faixa de variação $0,030 \leq n \leq 0,100$, tendo os seguintes valores específicos:

- com pré fissuramento, bem acabados (mínimo) - $0,030 \text{ s/m}^{1/3}$;
- com pré fissuramento, bem acabados (médio) - $0,035 \text{ s/m}^{1/3}$;
- escavado em rocha sem pré fissuramento com fogo cuidadoso - $0,050 \text{ s/m}^{1/3}$;
- escavado em rocha sem pré fissuramento com superfície mal acabada (máximo) - $0,100 \text{ s/m}^{1/3}$.

4.3.6.4 Composição de Rugosidades

Em canais com diversidade de revestimento nos fundos e nas paredes/taludes laterais, o coeficiente de rugosidade deverá ser composto a partir da rugosidade obtida para cada material.

Entre as diversas fórmulas existentes para cálculo da rugosidade composta, é recomendada a seguinte:

$$n = \left[\frac{\sum_1^N P_i x n_i^{3/2}}{\sum_1^N P_i} \right]^{2/3}, \quad (\text{Horton, Einstein})$$

onde:

P_i = Perímetro molhado da seção com revestimento i (m);

n_i = Rugosidade do material do revestimento i ($\text{s/m}^{1/3}$);

4.3.7 Capacidade de Transporte de Sedimentos

Tendo em vista a capacidade nominal dos canais constante ao longo do Trecho V - Eixo Leste e a utilização ao longo de todo o trecho da mesma declividade de projeto, não há variação na capacidade de transporte de sedimentos ao longo do Trecho. Assim sendo, não serão construídas estruturas de desarenação ao longo dos canais.

Deverão ser tomados cuidados especiais em locais específicos, a saber:

na tomada d'água no reservatório de Itaparica, rio São Francisco;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

no desemboque de afluentes interceptados pela formação dos reservatórios necessários ao sistema de transposição.

4.3.8 Velocidade Limite

4.3.8.1 Velocidades máximas quanto ao desgaste

O controle de velocidade nos vários tipos de obras deve ser utilizado no projeto de transposição, tendo em vista diminuir o desgaste do revestimento de canais e demais obras, bem como evitar a erosão do leito e/ou das margens de canais naturais.

Os valores máximos adotados para projeto estão indicados no Quadro 4.2 e foram obtidos com base na literatura existente e na experiência dos projetistas.

Em estruturas especialmente projetadas, tais como “rápidos” e dissipadores de energia, as velocidades limites acima indicadas poderão ser excepcionalmente ultrapassadas.

4.3.8.2 Canais revestidos

Em canais revestidos, a presença de trincas pode provocar a transformação de energia cinética em pressão adicional sob o revestimento. Em curvas com velocidades altas, tanto podem ocorrer perdas da carga significativas adicionais, como a elevação do N.A. no lado externo.

Quadro 4.2

VELOCIDADES PERMITIDAS PARA DIFERENTES MATERIAIS	
MATERIAL	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)
Concreto	5,0
Aço	5,0
Revestimento com gabião em colchão tipo “Reno” e = 0,17 e = 0,23 e = 0,30 (e – espessura em metro)	1,8 3,5 4,5
Solos arenosos	0,8
Solos argilosos compactos	1,0
Solos argilosos duros	1,2
Cascalho grosso, pedregulho ou piçarra	1,5
Rochas brandas	1,8
Canais revestidos com grama	
Solos erodíveis	1,5
Solos resistentes	2,1



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Tendo em vista estas condições, como regra geral, nos canais revestidos a velocidade de escoamento deverá ser limitada a 1,8 m/s. Nos casos em que a velocidade de escoamento superar este valor, deverão ser verificadas as condições de escoamento em todas as curvas e serão estabelecidos cuidados específicos na construção dos revestimentos.

4.3.8.3 Número de *Froude*

Deverá ser garantido que o escoamento não se aproxime do regime crítico ($Fr = 1$) com a possibilidade de formação de ondas estacionárias.

O valor limite do número de *Froude* a ser observado é de 0,7 calculado com um coeficiente de rugosidade inferior em 0,003 ao n (de *Manning*) de projeto, garantindo-se as condições de escoamento fluvial tanto em seções com acabamento diferenciado quanto ao esperado em projeto, como em trechos com declividade superior e as decorrentes de tolerâncias de construção.

4.3.9 Canais

4.3.9.1 Seção transversal

O critério básico para a definição das seções transversais dos canais revestidos em concreto será adotar bases mínimas construtivas que possibilitem o tráfego durante a construção de, no mínimo, um veículo.

4.3.9.2 Revestimento dos Canais

As observações e análises realizadas sobre a geologia da região a ser atravessada mostraram a presença das seguintes áreas:

- planícies aluvionares;
- bacias sedimentares;
- embasamento cristalino (granitos, gnaisses, xistos).

Como critério básico, independentemente do tipo geológico, os canais deverão ser sempre revestidos com concreto.

Em locais específicos como, por exemplo, junto à tomada de água do reservatório de Itaparica e nas câmaras de carga a montante das estações de bombeamento no trecho junto à estrutura, no caso do nível do lençol freático encontrar-se razoavelmente acima da cota da borda do canal, ou o maciço rochoso seja comprovadamente impermeável, sem risco de perda d'água por infiltração, poderão ser empregados canais escavados em rocha, sem revestimento de concreto.

4.3.9.3 Borda Livre

Os canais serão projetados com altura constante em toda a seção revestida, incluindo altura correspondente a uma borda livre mínima. Os valores da borda livre mínima seguirão os valores indicados pelo Bureau of Reclamation para projetos de adução e irrigação no Brasil, para borda livre revestida.

A borda livre revestida, responsável por acomodar as flutuações normais e freqüentes no nível d'água, tais como ondas resultantes de mudanças de vazão, ondas e desequilíbrios temporários, etc, é definida como a altura existente entre o nível d'água nas condições de projeto e o limite superior a ser revestido no canal (concreto ou manta impermeável). Seu valor será estimado pela fórmula seguinte, que está indicada a seguir:

$$10 < Q < 40 \Rightarrow H = 0,34 (\log Q) - 0,01$$



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

onde:

Q – vazão em, m³/s;

H – borda livre para revestimento em, m

Nos cálculos e dimensionamentos a serem efetuados, deverão ser verificadas as flutuações decorrentes da operação normal do sistema de transposição, com partida e parada de bombas, com a utilização de modelo hidrodinâmico. Estas verificações deverão ser efetuadas com a utilização de programas de cálculo do escoamento em regime transitório, e as variações do NA no canal nesta situação deverão ser acomodadas na borda livre. Nos trechos em que as flutuações normais ultrapassarem a altura padrão de revestimento, a seção padrão deverá ser ampliada, garantindo borda livre de 0,30m.

Serão também consideradas no dimensionamento, operações pouco frequentes, tais como ocorrência de cheias nos reservatórios de compensação e de derivação, pelo sistema e parada brusca das estações de bombeamento. Por ocasião destas ocorrências o NA nos canais poderá ultrapassar os limites do revestimento dos canais, devendo ser prevista uma borda livre adicional para acomodar as referidas variações de NA.

A borda livre adicional para aterro poderá ser obtida pela fórmula indicada a seguir:

$$10 < Q < 30 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow \text{HB} = 0,524 (\log Q) + 0,31; \text{m}$$

Q – vazão em m³/s;

HB – borda livre para o aterro em, m.

Ou pela adoção de obras especiais como por exemplo, a construção de muretas de contenção, já adotada na fase de estudos de viabilidade.

Como critério geral foi adotada numa borda livre de 0,30 m, acima do NA máximo maximorum.

4.3.9.4 Seção Transversal

O quadro 3.3 apresenta as características principais das seções transversais típicas dos canais revestidos a serem empregados no projeto.

Nos trechos sem revestimento, deverão ser dimensionados canais com paredes rugosas (escavados em rocha sem pré fissuramento ou revestidos com enrocamento graúdo, com coeficiente de rugosidade *n* de Manning = 0,050 s/m^{1/3}.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

QUADRO 3.3

CARACTERÍSTICAS E DIMENSÕES DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DOS CANAIS

Condicionantes:

Coeficiente de <i>Manning</i>	$n=0,015 \text{ s/m}^{1/3}$ (revestido em concreto)
Coeficiente de <i>Manning</i>	$n=0,035 \text{ s/m}^{1/3}$ (acabamento médio) – revestido em rocha
Declividade do canal.....	$1 = 0,0001 \text{ m/m}$
Talude do canal de concreto.....	1V:1,5H
Talude do canal de adução revestido em enrocamento.....	1V:0,0H
Borda livre	
mínimo.....	0,40 m
adotado.....	0,50 m

SEÇÃO CONSTRUTIVA										
Base (B) m	Altura de água (H) m	Perímetro Molhado (P) m	Seção Transversal (S) m ²	Raio Hidráulico (RH) m	Velocidade (V) m/s	Vazão (Q) m ³ /s	Borda livre mínima m	Borda livre USBR m	1,5 V ² /2g m	Altura total m
Trecho V										
3,0	2,81	13,13	20,27	1,54	0,89	18,00	0,40	0,42	0,06	3,3
4,00	3,21	15,57	28,30	1,82	0,99	28,00	0,40	0,48	0,08	3,7
14,00	2,95	27,19	58,71	2,16	0,48	28,00	0,40	0,48	0,02	3,5

* canal revestido com enrocamento



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.3.9.5 Níveis Operacionais nos Canais a Montante dos Reservatórios

A cota final do revestimento dos canais na aproximação dos reservatórios, deverá ser igual à cota do remanso da cheia de período de retorno de 1.000 anos no interior do canal, acrescido de 0,30m, considerando-se o reservatório no nível máximo maximorum.

Na eventual necessidade de elevação da cota de coroamento das margens do canal devido aos efeitos hidrodinâmicos, a forma mais adequada para realizar este alteamento será resultante de análise técnico econômica entre a execução de muretas de concreto ou elevação de aterro.

4.3.9.6 Níveis Operacionais nos Canais a Jusante dos Reservatórios

A cota final do revestimento nos canais a jusante dos reservatórios deverá ser igual ao nível d'água resultante do regime permanente acrescido de 0,50m, respeitado o desenvolvimento geométrico.

A exceção dos reservatórios localizados imediatamente à montante de Estações de Bombeamento (EB's), todos os outros reservatórios deverão ter estrutura de controle de vazão.

Nos trechos onde a distância entre as (EB's) seja relativamente curta poderá ser dispensada a estrutura de controle de vazão no reservatório intermediário.

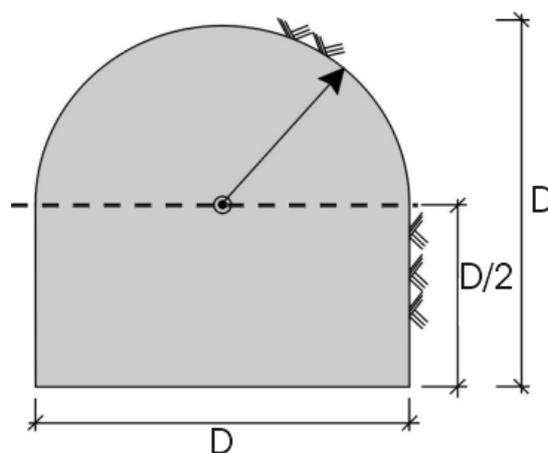
A estrutura de controle será constituída de comportas do tipo "Setor", com no mínimo duas comportas por estrutura. A cota dos muros laterais da estrutura de controle deverá ter a mesma cota da crista da barragem.

4.3.10 Túneis

4.3.10.1 Seção Transversal

No dimensionamento das obras de adução, será utilizado um túnel escavado por método convencional com seção arco retângulo.

A seção hidráulica transversal a ser utilizada terá as seguintes características geométricas:



4.3.10.2 Revestimento total

O túnel terá o piso revestido em concreto.

Os estudos realizados mostraram ser mais econômica a construção dos túneis sem revestimento. A necessidade de revestimento das paredes deverá ser definida em função das características da rocha, tanto quanto à estabilidade, quanto à rugosidade esperada no acabamento de superfície.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.3.11 Aquedutos

O traçado em planta dos aquedutos deverá ser o mais retilíneo possível, de forma a minimizar os custos de implantação. Sua declividade deverá ser maximizada, dentro das condições reinantes no entorno, possibilitando minimizar a seção transversal.

Deverão ser construídos em concreto, moldado in loco ou pré-moldados. A seção transversal adotada deverá ser a retangular.

Os aquedutos serão projetados como canais em superfície livre, obedecendo aos demais critérios pertinentes já estabelecidos para este tipo de obra.

Conforme resultados obtidos na fase de estudos de viabilidade os aquedutos deverão ser previstos para construção em uma única etapa.

4.3.12 Adutoras

Serão utilizadas adutoras nos recalques das estações de bombeamento e no trecho final do eixo Leste, entre a cidade de Monteiro e o açude Poções.

Os critérios de dimensionamento das adutoras de recalque estão apresentados no item 7 do presente documento.

A adutora entre a cidade de Monteiro e o açude Poções de um tubo de PVC de 2,8 m de diâmetro envelopado com concreto, com um comprimento da ordem de 12 km.

4.3.13 Obras Especiais

4.3.13.1 Caixas de Desarenação

Conforme definido no item 3, não estão previstas caixas de desarenação ao longo dos canais da transposição. Nas tomadas de água nos reservatórios que interceptam cursos naturais, com a possibilidade de carreamento de sedimentos deverão ser previstas obras especiais que inibam a entrada dos sedimentos nos canais de adução.

4.3.13.2 Estruturas de Controle na Entrada de Canais

Deverão ser previstas estruturas de controle de vazão nas saída de reservatórios para canais de adução de água.

Na fase de estudos de viabilidade foi definida a conveniência de se utilizar comportas para controle das saídas de todos os reservatórios situados a montante de trechos extensos de canal. Atendendo a essa necessidade e, procurando minimizar as perdas de carga ao longo dos canais, as estruturas de controle serão previstas em seções retangulares com estrangulamento da seção, dotadas de comportas tipo setor. As estruturas deverão ser dimensionadas de modo a minimizar a perda de carga e possibilitar a operação do sistema com a comporta totalmente aberta. O controle fino da vazão aduzida ao canal poderá ser efetuado por operação da comporta.

Em todas as estruturas deverá ser prevista a utilização de no mínimo duas comportas, possibilitando a operação do canal durante períodos de manutenção de uma comporta.

Nos reservatórios situados a montante de estações de bombeamento, não serão previstas estruturas de controle, sendo o controle de vazões efetuado pela operação da estação de bombeamento. O controle de níveis será feito pelo vertedouro de emergência ou vertedouro de cheias, se houver.

4.3.13.3 Medidores de vazão

Deverão ser previstos pontos de medição de vazão nos canais adutores nos seguintes casos:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- na saída dos reservatórios com estrutura de controle;
- a jusante de estruturas de partição de vazão;
- nos pontos de entrega de água aos Estados;
- nas tomadas d'água para uso difuso.

Tendo em vista reduzir as perdas de carga, nas saídas dos reservatórios e ao longo dos canais, a medição de vazão deverá ser efetuada com a leitura de níveis de água e a utilização de curvas cota x vazão no canal. Opcionalmente poderão ser empregados métodos mais acurados como a utilização de dois pontos de nível para definição da inclinação da linha d'água ou medição de velocidades de escoamento.

Nos pontos de entrega de vazão, seja na conexão com os sistemas estaduais, seja nas tomadas para uso difuso, deverão ser previstos medidores de vazão que possibilitem correspondência bi-unívoca entre a leitura realizada e a vazão, tais como:

- calhas Parshall;
- vertedouros;
- medidores volumétricos, etc.

Os medidores de vazão deverão ser dotados de equipamentos e acessórios que possibilitem, a qualquer tempo, a instalação de aparelhos registradores e sensores para transmissão de dados no controle de operação.

4.3.13.4 Estruturas de Controle e Seccionamento dos Canais

Não serão previstas estruturas para seccionamento dos canais, exceto nas saídas dos reservatórios. Quando da eventual necessidade de intervenção para manutenção do canal, este deverá ser esvaziado em toda sua extensão.

4.3.13.5 Descarregadores / Vertedouros

Em todos os locais onde existam estruturas capazes de interromper o fluxo nos canais de adução (estações de bombeamento, estruturas de controle e com comportas, etc.) deverão ser previstas estruturas de descarga da vazão afluyente.

Preferencialmente, estas estruturas serão do tipo vertedouro, em soleira livre. Serão dimensionadas para a vazão máxima aduzida pelo canal, ou a vazão decorrente de cheias naturais no local, quando existirem, valendo sempre a maior delas.

O canal de descarga dessas estruturas deverá ser projetado e dimensionado acompanhando a drenagem natural, até atingir uma seção natural com capacidade superior à da vazão de dimensionamento da estrutura.

4.3.13.6 Estruturas de Derivação e Válvulas Dispensoras

As estruturas de derivação são compostas de: comportas, tomadas d'água, tubulação, registros e válvulas dispensoras. Estas estruturas podem estar acopladas a uma torre dentro do reservatório, ou embutidas na estrutura de concreto do vertedouro, ou muro de abraço.

As tomadas d'água foram projetadas com seção de escoamento tal que a velocidade na grade da mesma não ultrapasse a 1,0 m/s . A tubulação entre a tomada d'água e a derivação para as válvulas dispensoras deve ter seção tal que a velocidade na mesma não ultrapasse a 4,0 m/s.

Após a derivação estão previstas duas válvulas dispensoras, cada uma precedida de um registro tipo borboleta, para execução de manutenção das válvulas.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

A tomada d'água da estrutura de derivação de Muquém é composta de duas partes com dimensões de 2,0 x 3,0 m.

A tubulação da tomada d'água até a bifurcação para as válvulas terá diâmetro de 1.800 mm e, a seguir, tubulações com diâmetro de 900 mm.

A tomada d'água da estrutura de derivação de Copiti é composta de duas partes com dimensões de 2,0 x 5,0 m. A tubulação da tomada até a bifurcação para as válvulas tem diâmetro de 2.400 mm, após a bifurcação o diâmetro será de 1.200 mm.

As tomadas d'água de derivação são providas de grades e comporta ensecadeira para manutenção.

A tomada d'água de Copiti será dimensionada para a vazão de 18 m³/s, Muquém para 10 m³/s e a tomada d'água de Campos será dimensionada para a vazão de 8 m³/s.

Estas válvulas foram dimensionadas a partir da fórmula:

$$Q = C.A.\sqrt{2gH}$$

Q = vazão em m³/s

C = Coeficiente de descarga - adotado 0,6

A = Área do conduto à montante da válvula

H = Diferença entre o nível d'água mínimo do reservatório até o centro do tubo à montante da válvula

A derivação do reservatório de Campos ao açude Pão de Açúcar, no rio Ipojuca, será realizada através de duas comportas setor a serem instaladas no início do canal, e suas dimensões serão de 1,60 m de largura por 2,27 m de altura e dimensionada para a vazão de 8,0 m³/s com a comporta totalmente aberta.

4.3.13.7 Tomada d'água para usos difusos

Em todos os reservatórios, com exceção de Muquém, Copiti e Campos, onde são previstas derivações específicas é prevista uma tomada d'água para usos difusos com vazão de 2,0 m³/s. Essa vazão é dimensionada para o nível d'água no reservatório correspondente ao funcionamento de uma única bomba (NA mínimo de operação).

Estas tomadas foram projetadas em estrutura em torre com tomada d'água e grade. Desta torre sai uma tubulação com diâmetro de 700 mm até a derivação, que é composta de duas tubulações com 500 mm cada uma. Em cada tomada existirão duas válvulas dispersoras com diâmetro de 500 mm com capacidade de 1,0 m³/s cada uma.

A tomada d'água tem dimensões de 1,0 x 3,0 m.

4.3.14 Estações de Bombeamento

O projeto do sistema de transposição nos trechos em recalque deverá levar em conta a boa operacionalidade sobre toda a gama de vazões a serem recalçadas.

São componentes importantes dessas obras:

- as estações de bombeamento;
- as adutoras;
- as câmaras de carga;
- os reservatórios de compensação.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.3.14.1 Estações de Bombeamento

As estações de bombeamento deverão ser preferencialmente locadas em pontos do traçado em que naturalmente o desnível entre os canais de montante e jusante seja vencido em distâncias curtas.

Deverão também ser avaliadas as condições geológicas locais na seleção dos sítios para implantação das estações elevatórias.

Preferencialmente, as estações de bombeamento serão construídas a céu aberto, estando prevista a utilização de estações subterrâneas quando justificada por razões técnico-econômicas.

A vazão de dimensionamento das estações de bombeamento será aquela definida no item 4.3 deste documento, estando prevista a instalação de bomba reserva.

4.3.14.2 Aproximação da Estação de Bombeamento

Os canais de aproximação das estações de bombeamento deverão ser dimensionados de modo a proporcionar uma aproximação tranqüila, com velocidades inferiores a 1,0 m/s.

As transições deverão ser suaves, e projetadas de modo a possibilitar o escoamento a plena seção, sem formação de zonas mortas.

4.3.15 Reservatórios

4.3.15.1 Definição dos níveis de projeto

N.A.MÍNIMO - regime permanente com o funcionamento de um bomba;

N.A.NORMAL - regime permanente com todas as bombas funcionando;

N.A.MÁXIMO NORMAL - envoltória dos níveis d'água máximos em regime transitório, resultando da operação diária;

N.A.MÁXIMO MAXIMORUM - corresponde à cota da crista do vertedouro acrescida de uma lâmina vertente máxima de 0,5 m para atender as seguintes condições:

- Interrupção do fornecimento de energia por um período de 24 horas;
- passagem da onda de cheia para o período de retorno de 1.000 anos;
- ou a maior das duas alternativas.

4.3.15.2 Efeito de ondas nos reservatórios

Serão verificadas as alturas de ondas significativas resultantes da ação de vento com velocidade de 120 km/h atuando sobre o NA máximo normal do reservatório, e da ação de um vento de 80 km/h atuando sobre o NA máximo maximorum.

Será adotado o maior nível entre as duas situações, considerando-se ainda o escalamento das ondas e da maré de vento. Acima desse nível será adotada uma folga de 0,30 m.

4.3.15.3 Vertedouros

Os vertedouros deverão ser de soleira livre com a cota da crista estabelecida em 0,5 m acima do NA máximo normal. A lâmina vertente máxima é igual a 0,5 m;

4.3.15.4 Reservatórios de Compensação

Deverão ser previstos reservatórios de compensação nas proximidades das estações elevatórias, os quais serão responsáveis por garantir o suprimento de água ao sistema nos períodos de interrupção de bombeamento, durante o horário de pico do sistema elétrico.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.3.15.4.1 Dimensionamento dos Reservatórios de Compensação

A variação de nível nos reservatórios de compensação deverá atender às variações máximas de NA especificadas nas considerações operacionais dos canais.

4.3.15.5 Construção dos Reservatórios

Os reservatórios de compensação deverão ser implantados o mais próximo possível das Estações de Bombeamento, aproveitando a topografia existente.

As estruturas de contenção deverão ser executadas aproveitando os materiais existentes no local, de forma a minimizar o custo de obras.

Os reservatórios situados a montante das estações de bombeamento deverão ter suas variações do N.A., preferencialmente, abaixo do nível nominal máximo do canal afluente, evitando a necessidade de alteamento das bordas livres nesta última estrutura. Deverão ser dotados de estruturas de vertimento para extravazão da vazão afluente, nos casos de paralisação por tempo superior ao de projeto.

Nos casos em que os reservatórios interceptem a rede de drenagem natural, seus barramentos deverão obedecer aos critérios estabelecidos para os reservatórios de regularização.

4.3.16 Obras de Captação no Reservatório de Itaparica

A captação na margem esquerda do Reservatório de Itaparica no rio São Francisco e na margem direita da foz do Rio Mandantes é composta de canal escavado com proteção de enrocamento, com largura da base de 14,0 metros, taludes 1V:2H e com declividade de fundo de 0,0001 m/m.

As enscadeiras construídas durante a escavação do canal e serão mantidas na cota 307,00 msnm.

As velocidades neste canal devem ser da ordem de 0,5 m/s a fim de se evitar carreamento do material para o canal.

O quadro 4.3 mostra as cotas médias mensais no reservatório de Itaparica desde 1987 até 1999.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

QUADRO 4.3

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO – CHESF
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO – DO SUPERINTENDÊNCIA DE OPERAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA – SOC
DEPARTAMENTO DE COMERCIALIZAÇÃO E PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO – DCO
DIVISÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – D O R H
DATA: 15/06/2000
SISTEMA DE CONTROLE E GERENCIAMENTO DE DADOS HIDROLÓGICOS
RESERVATÓRIO DE ITAPARICA
COTAS MÉDIAS MENSAIS COM REFERÊNCIA AO NÍVEL DO MAR (m³/s)

ANO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	MÁXIMA	MÉDIA	MÍNIMA
1987									258,99	261,41	267,76	268,25			
1988	267,33	268,67	282,32	294,18	298,96	298,97	299,36	300,10	302,44	302,75	300,99	300,71	302,75	293,06	267,33
1989	300,31	300,51	300,67	301,15	302,81	303,76	303,91	303,71	303,39	302,41	301,32	301,98	303,91	302,16	300,31
1990	300,33	301,49	302,64	303,42	303,29	303,65	303,90	303,39	303,53	303,79	303,21	302,05	303,90	302,89	300,33
1991	302,06	301,95	302,12	301,68	303,35	302,93	303,44	303,73	303,74	303,54	303,58	303,20	303,74	302,94	301,68
1992	301,87	301,34	301,37	303,62	303,96	304,03	303,98	303,95	303,84	303,86	303,55	302,55	304,03	303,16	301,34
1993	302,38	302,83	303,61	303,73	303,81	304,04	303,96	303,94	303,90	303,97	303,52	302,32	304,04	303,50	302,32
1994	302,02	301,82	302,32	303,10	303,97	301,88	302,40	303,39	303,87	303,87	303,25	303,13	303,97	302,92	301,82
1995	302,42	301,97	301,76	302,15	302,50	303,52	303,79	303,87	303,84	303,12	302,22	302,03	303,87	302,77	301,76
1996	302,01	301,93	302,07	302,56	302,23	303,42	303,98	303,87	303,24	302,21	301,44	301,52	303,98	302,54	301,44
1997	301,89	301,96	302,40	303,56	303,96	303,93	303,92	303,89	303,83	303,85	303,37	302,28	303,96	303,23	301,89
1998	302,07	301,95	301,82	302,04	303,66	303,93	303,91	303,90	303,87	303,90	303,60	302,51	303,93	303,10	301,82
1999	301,83	301,58	302,15	302,26	303,69	303,80	303,88	303,87	303,56	302,04	300,89	300,77	303,88	302,53	300,77



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.3.17 Obras de Drenagem Superficial

Em princípio, todas as águas pluviais e de drenagens naturais deverão ser desviadas, evitando-se suas afluições para os canais de adução de água. O projeto das obras de drenagem pode ser subdividido em:

- drenagem da plataforma;
- drenagem de encostas, no caso de trechos em cortes;
- drenagem de proteção do pé do talude, em caso de aterros;
- drenagem de rios.

4.3.17.1 Drenagem da plataforma - Cortes

Nos trechos em corte, deverão ser previstas canaletas em todos os pés de corte. Quando em solo, essas canaletas serão construídas em concreto, devendo aduzir as águas até a saída das respectivas bermas no terreno natural, onde estas serão desviadas para a drenagem natural.

Quando construídas em rocha, as canaletas poderão ser revestidas em concreto ou não, conforme resultar a solução mais econômica. Nas bermas de manutenção, laterais ao canal da transposição a seção de escoamento poderá ocupar todo o leito da via de manutenção, limitando a altura de água em 0,25m para garantir a passagem de veículos de manutenção.

Todas as drenagens deverão ser projetadas e dimensionadas até atingirem o talvegue natural, de modo a evitar erosões no terreno natural e nas obras.

4.3.17.2 Drenagem da Plataforma - Aterros

Nas seções em aterro, a drenagem deverá remover as águas pluviais precipitadas sobre a plataforma.

Nos trechos em que o aterro for constituído de maciço em solo ou enrocamento, a drenagem será executada através de inclinação transversal da plataforma, direcionando a água precipitada diretamente para os taludes externos. Para seções em solo, os taludes externos serão protegidos obrigatoriamente por uma camada de enrocamento segregado.

No pé dos taludes de aterro deverão ser projetadas canaletas de drenagem captando todas as águas oriundas das obras e dos terrenos adjacentes e conduzindo-as até os talvegues naturais.

4.3.17.3 Drenagem de Encostas e do Pé do Aterro

No topo de cortes e pé de aterros, deverá ser projetado um sistema de drenagem para interceptação das águas oriundas das encostas e sua condução até as drenagens naturais no fundo dos vales.

Esta mesma drenagem será a responsável pela coleta das águas pluviais oriundas da plataforma e das bermas. Sempre que possível este sistema de drenagem será integrado com a drenagem dos pés de aterro.

Quando for necessário transferir águas de drenagem de um lado a outro do canal, deverá ser projetada estrutura para passagem das águas. Em princípio, os tipos de obras a serem utilizados são:

- bueiros tubulares;
- bueiros celulares;
- overchutes



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Quando as condições topográficas o permitirem, deverão ser utilizados bueiros, os quais poderão ser simples, duplos ou triplos. Sempre que possível (vazões de menor magnitude) serão empregados tubulares, cujas dimensões padronizadas são:

- 0,80 m;
- 1,00 m;
- 1,20 m;
- 1,50 m

Os bueiros celulares deverão ter dimensões padronizadas, devendo ser observados na padronização os estudos realizados de obras típicas.

Todos os bueiros deverão ser dotados de obras de emboque e restituição, que protejam os taludes de aterro e os canais naturais contra erosão. Nos locais onde a restituição não se der nos talwegues naturais, as obras deverão ser estendidas até estes últimos, para garantir os terrenos circundantes contra erosão.

O nível de água a montante dos bueiros deverá ser limitado em 20% acima do diâmetro nominal.

No dimensionamento dos bueiros deverão ser verificadas suas condições de funcionamento, ou seja, escoamento livre ou afogado, tubo curto ou longo, controle de vazão na entrada ou por perda no tubo, e calculada sua capacidade de vazão.

Quando as condições topográficas assim o exigirem, a passagem de águas das drenagens naturais deverá ser feita sobre os canais da transposição, com a construção de *overchutes*.

4.3.17.4 Drenagem dos Rios

Os rios, ou drenagem de maior porte, interceptados pelas obras de adução da transposição deverão ser cruzados com a construção de sifões ou aquedutos. O projeto deste tipo de obra deverá ser feito de acordo com os critérios estabelecidos neste documento.

5 . GEOLOGIA E GEOTECNIA

5.1 Introdução

Este item tem por objetivo apresentar os principais critérios de dimensionamento das obras dos canais em corte e aterro, das obras subterrâneas, de fundações das estruturas principais, e de tratamento de taludes dos diversos dispositivos previstos para o Projeto Básico.

5.2 Características dos Materiais de Escavação

Os materiais de escavação das estruturas principais serão classificadas em três grupos distintos:

- Material de 1ª Categoria – materiais que possam ser escavados por equipamentos convencionais, como escavadeiras, trator de lâmina e *motoscrapers*.
- Material de 2ª Categoria – materiais constituídos por rocha decomposta, que possam ser escavados com o auxílio de tratores de esteiras munidos de escarificadores, e que não necessitem de emprego sistemático de desmontes com explosivos (a fogo).
- Material de 3ª Categoria – materiais que necessitem o emprego sistemático de "desmonte a fogo", compreendendo rocha alterada dura a rocha sã. Incluem blocos de rocha com diâmetro superior a 1 m.
- Material de 1ª Categoria (solos)

Esses materiais compreendem os solos aluviais e coluviais e os solos de alteração de rocha.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

As espessuras desses materiais serão definidas através de investigações de campo, e de mapeamentos superficiais, sondagens mecânicas e poços de inspeção.

Os parâmetros geotécnicos desses materiais serão definidos a partir de ensaios específicos executados durante os estudos. Quando os resultados desses ensaios específicos não estiverem disponíveis, os parâmetros serão inferidos a partir de dados indiretos, respeitando-se entretanto os seguintes valores mínimos:

- Aluviões moles

Peso específico natural (seco)	14kN/m ³
Coesão (in situ)	10kN/m ²
Ângulo de atrito (in situ)	10°

- Solos essencialmente arenosos

Peso específico natural (seco)	18kN/m ³
Coesão (in situ)	0kN/m ²
Ângulo de atrito (in situ)	28°

- Solos essencialmente argilosos

Peso específico natural (seco)	15kN/m ³
Coesão (in situ)	10kN/m ²
Ângulo de atrito (in situ)	20°

• Material de 2ª Categoria (rocha alterada mole)

Esses materiais compreendem a categoria de rocha alterada mole e são usualmente escavados com escarificadores ou ponta de lâmina de tratores de esteiras.

São, em geral, constituídos por solos que apresentam uma granulometria bem distribuída, variando desde parcelas de material que passa na peneira 200, até blocos de rocha sã com dimensões de 100 cm.

Uma vez que a determinação das espessuras efetivas desses materiais é bastante dificultosa através de sondagens à percussão, poços de inspeção e sondagens rotativas, a quantificação desses horizontes será feita com o auxílio de correlações dessas investigações com perfisagens sísmicas.

Quando não se dispuser desses dados, serão adotados os valores indicados a seguir:

- Granitos / Gnaisses

espessura 2,0 m

- Xistos

espessura 3,0 m

- Arenitos

espessura 5,0 m

Os parâmetros geotécnicos desses horizontes serão estimados em função das principais feições geológicas obtidas de mapeamentos de superfície, dos dados de outros projetos desenvolvidos na região, e de trabalhos apresentados na literatura técnica. Serão adotados como valores mínimos os seguintes parâmetros:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Arenitos	
peso específico natural (seco)	18kN/m ³
coesão	20kN/m ²
ângulo de atrito	30°
- Xistos	
peso específico natural (seco)	20kN/m ³
coesão	20kN/m ²
ângulo de atrito	28°
- Granitos	
peso específico natural (seco)	20kN/m ³
coesão	20kN/m ²
ângulo de atrito	32°

- Material de 3ª Categoria (Rocha Alterada Dura a Sã)

Com relação aos maciços rochosos, as propriedades geomecânicas desses materiais serão definidas a partir de investigações de campo compreendendo sondagens rotativas, perfilagens sísmicas e mapeamentos detalhados de superfície. Assim, serão definidos coerência, grau de fraturamento, alteração, condutividade hidráulica e direções preferenciais de fraturamento.

Esses dados fornecerão os elementos necessários para a definição de fundações e dos tipos de tratamento de fundação e dos taludes necessários às diversas obras previstas para o PTSF.

Quando não houver dados disponíveis que permitam uma avaliação adequada das propriedades geomecânicas dos maciços geológicos, serão adotados parâmetros mínimos indicados a seguir:

- Arenitos	
peso específico natural (seco)	26,0kN/m ³
coesão	variável em função do grau de alteração
ângulo de atrito	35°
- Xistos	
peso específico natural (seco)	26,5kN/m ³
coesão	variável em função do grau de alteração
ângulo de atrito	30°
- Granitos	
peso específico natural (seco)	27,0kN/m ³
coesão	variável em função do grau de alteração
ângulo de atrito	40°

5.3 Características de Materiais Compactados

Para a execução de aterros deverão ser empregados tanto solo (material de 1ª categoria), como rocha alterada mole (2ª categoria) e rocha (3ª categoria).



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Procurar-se-á empregar na construção dos aterros os materiais obtidos nas escavações obrigatórias de canais, túneis e estações de bombeamento. Para efeito de balanceamento de volumes, serão empregados os fatores de empolamento apresentados no quadro seguinte:

FATORES DE EMPOLAMENTO		
ATIVIDADE		FATOR
ORIGEM	DESTINO	
Escavação comum (1ª categoria)	Aterro compactado	0,8
Escavação de material de 2ª categoria	Aterro compactado	1
Saída do Sistema de Beneficiamento	Aterro compactado	0,9
Escavação em rocha (obrigatória ou pedreira)	Enrocamento compactado	1,3
Escavação comum	Bota-fora	1,25
Escavação de material de 2ª categoria	Bota-fora	1,3
Escavação de rocha obrigatória	Bota-fora	1,5
Escavação em jazida de areia	Transição Compactada	0,9
Escavação em jazida de cascalho	Transição Compactada	1
Pilha de material Britado/Beneficiado	Transição Compactada	0,8
Escavação de areia em jazida	Pilha de Estoque	1

Nota: As perdas de todo material escavado estão consideradas nesses fatores.

Com relação aos parâmetros geotécnicos dos diversos materiais compactados, serão adotados valores obtidos em ensaios específicos, ou a partir de dados de obras similares, respeitando os valores mínimos apresentados a seguir:

- Solo compactado

peso específico 18kN/m³

coesão 10kN/m²

ângulo de atrito 28°

- Areia compactada

Peso específico 20kN/m³

Coesão 0kN/m²

Ângulo de atrito 30°

- Transição

Peso específico 20kN/m³

Coesão 0kN/m²

Ângulo de atrito 35°

- Enrocamento compactado

Peso específico 22kN/m³

Coesão 0kN/m²

Ângulo de atrito 40°

- Rocha decomposta compactada

Peso específico 20kN/m³



Coesão	20kN/m ²
Ângulo de atrito	35°

5.4 Tratamento de Fundação e Taludes

Os tratamentos de fundação serão definidos, caso a caso, para cada estrutura que será agregada ao PTSF. Em princípio, serão considerados os seguintes critérios:

- Aterros Compactados

Deverão ser removidos todos os solos vegetais, aluviões e coluviões moles ou fofos.

Solos colapsíveis poderão ser eventualmente tratados ou removidos, quando as suas espessuras puderem gerar recalques incompatíveis com a altura dos aterros previstos.

Quando forem encontrados solos potencialmente expansivos, estes só serão mantidos nas fundações das obras quando se tiver certeza que as cargas a que eles estarão sujeitos sejam superiores às pressões de expansão. Caso contrário, deverão ser feitas escavações seletivas e providenciada a troca de solos.

Quando for constatada a presença de solos dispersivos, estes deverão ser confinados por camadas de filtro apropriadas, a fim de se evitarem erosões indesejáveis.

- Taludes de escavação em solo

A inclinação dos taludes escavados em solo será definida através de análises de estabilidade, procurando considerar as particularidades geológico-geotécnicas ao longo dos traçados.

Os taludes finais de escavação em solo acima da seção molhada dos canais deverão receber o revestimento em material granular como cascalho arenoso, enrocamento fino, etc. Para tal deverão ter inclinação 1V:1,5H.

Em regiões onde houver surgência de lençol freático, deverão ser previstos dispositivos apropriados, como drenos horizontais profundos, a fim de se evitarem possíveis erosões regressivas e instabilizações dos taludes.

Para proteção dos taludes contra erosão pluvial estes serão dotados de sistemas de drenagem superficial dimensionados de acordo com os critérios hidráulicos.

Serão implantadas bermas de 2m de largura a cada 10m de altura, aproximadamente, de escavação, à exceção das bermas de manutenção do canal, que deverão ser executadas com largura de 3,50m.

- Taludes de escavação em material de 2ª categoria (rocha alterada mole)

As inclinações dos taludes em material de 2ª categoria acima das seções hidráulicas serão definidas através de análises de estabilidade específicas (superfícies circulares e/ou planares), procurando levar em consideração as particularidades dos maciços atravessados pelos canais.

Deverão ser empregados taludes com inclinação de 1V:0,5H, a menos que dados específicos obtidos nas investigações geológico-geotécnicas indiquem superfícies preferenciais de instabilizações, que condicionem a inclinação final.

Para a drenagem superficial, deverão ser considerados os mesmos procedimentos já previstos para taludes em solo.

Poderão ainda ser previstas, em lugares específicos, proteções localizadas, como a implantação de cortinas atirantadas, telas de contenção de blocos, drenagens profundas (DHP), e outros dispositivos, para solucionar particularidades pontuais.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

A proteção dos taludes de escavação do material de 2ª categoria será feita segundo o critério abaixo, estimando-se uma porcentagem de cada tratamento em função das condições geológico-geotécnicas para quantificação dos serviços:

- RAM (rocha alterada mole), sem descontinuidades que favoreçam a instabilidade: sem proteção;
 - blocos de rocha com espaços entre os blocos preenchidos com solo: proteção com tela de polipropileno para evitar queda de blocos;
 - solo saprolítico com blocos de rocha esparsos: proteção com concreto projetado com fibra metálica, com sistema de alívio de subpressão.
- Taludes de escavação de rocha

Os taludes de rocha são a alterada dura acima da seção hidráulica serão fixados, em princípio, com inclinação de 1V:0,5H, para todos os domínios geológicos atravessados pelos canais.

Eventualmente, em pontos específicos, quando as informações geológico-geotécnicas indicarem outras condições, esta inclinação poderá ser ajustada.

Os tratamentos de taludes rochosos serão executados segundo os tipos definidos no desenho de nº EN.B/V.DS.GL.0029, adotando-se o tratamento de 5% da área total de taludes de maciços rochosos de classes I e II; de 100% da área total dos taludes de maciços rochosos de classes IV e V e de 100% da área total dos taludes em argilito expansivo.

- Fundações de Estruturas Principais

Para as estruturas de barramentos, estações de bombeamento, controle e derivação de vazões, serão considerados tratamentos específicos para cada caso em questão.

- Estações de bombeamento

Devido ao porte das obras previstas, as estações de bombeamento do PTSF serão implantadas sobre o maciço rochoso, procurando remover materiais e blocos soltos existentes na fundação. Será considerada a limpeza com jatos de água e ar comprimido após as escavações obrigatórias.

Sempre que necessária, será prevista drenagem de fundação para controlar subpressões indesejáveis.

- Barramentos e estruturas de controle e derivação

Para estruturas de concreto de barramentos e de controle e derivação de água, deverão ser considerados os mesmos critérios definidos para as estações de bombeamento.

Para barragens de enrocamento e/ou terra, deverá ser feita, em princípio, a escavação de camadas de materiais fofos e/ou permeáveis. Caso as camadas de solo e ou rocha alterada apresentem espessuras elevadas e em qualidade que possam gerar perdas significativas de água, deverão ser previstas trincheiras de vedação com largura mínima na base de 4,0m, ou tapetes a montante do barramento com dimensões apropriadas.

Outros dispositivos, como drenos de pé, poços de alívio, injeções de consolidação, etc, somente serão empregados após avaliação das investigações geológico-geotécnicas.

- Outros dispositivos

Para fundação de aquedutos, sifões, blocos de ancoragem, estruturas de dissipação e outros dispositivos, serão previstos tratamentos específicos caso a caso, em função das investigações geológico-geotécnicas e/ou de mapeamentos de campo.



5.5 Maciços de Aterros Compactados

Os maciços de aterros em solo e enrocamento compactado onde serão implantados os canais deverão ser construídos preferencialmente com materiais provenientes das escavações obrigatórias.

Procurar-se-á, sempre que possível, a implantação de seções homogêneas de solo ou mistas em enrocamento compactado. Nos casos em que não houver predominância de um material sobre o outro (inferior a 70% de solo e 30% de enrocamento, ou vice-versa), deverá ser previsto o zoneamento das seções de modo a que os solos constituam o núcleo do maciço, envolvendo a seção de escoamento do canal, enquanto os enrocamentos formarão os espaldares externos dos maciços compactados.

Para seções homogêneas em solo, os taludes externos dos aterros deverão ser, preferencialmente, protegidos com enrocamento segregado. Para seções em enrocamento, o processo construtivo deverá prever que os blocos de rocha de maiores dimensões sejam posicionados junto aos taludes externos.

Em seções zoneadas, deverá ser prevista pelo menos uma camada de transição entre o solo e o enrocamento, a qual poderá ser constituída por saprolitos obtidos nas escavações ou cascalhos areno-argilosos.

Quando ocorrerem solos dispersivos, as camadas de transição entre o maciço de solo e o enrocamento deverão ser convenientemente dimensionadas, de modo a se evitarem possíveis carreamentos de solo por eventuais vazamentos do canal, ou pela ocorrência de chuvas na região. Deverá ser evitado o emprego de solos expansivos próximo à camada de revestimento dos canais de adução, a fim de se evitarem possíveis danos ao concreto, caso ocorram infiltrações indesejáveis de água no maciço compactado.

Os taludes externos dos aterros deverão apresentar inclinação 1V:1,5H. Nos casos específicos em que a altura for muito elevada, estes taludes deverão ser abrandados para inclinações de até 1V:1,8H.

Para aterros em solo compactado com alturas superiores a 20m, deverão ser previstas bermas de 3,0m de largura.

A crista dos aterros junto ao topo dos taludes da seção de escoamento deverá apresentar largura mínima de 3,50m e declividade transversal de 2%, com caimento para a parte externa da seção.

5.6 Seções de Escoamento dos Canais

5.6.1 Seções em Escavação em Solo

Para locais onde foram implantadas seções hidráulicas, através da escavação em solo, os taludes deverão apresentar inclinação de 1V:1,5H.

A superfície final do canal deverá apresentar uma geomembrana para impermeabilização, e uma camada de concreto de proteção.

A geomembrana poderá ser dos seguintes tipos:

- geomembrana de PVC acoplada a geotextil;
- geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidade).

O revestimento dos canais será constituído por concreto com fibras sintéticas (nylon ou polipropileno) devendo ter uma resistência característica f_{ck} de no mínimo 15 MPa aos 28 dias.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

A espessura do revestimento em concreto será de 0,05m nos taludes e 0,12m na base. O revestimento será dotado de juntas longitudinais (construção e retração) e juntas transversais (retração e dilatação).

Nos taludes do canal sob a geomembrana serão implantados drenos contínuos de areia ou pedrisco com a finalidade de alívio de subpressões no revestimento.

No fundo do canal será implantado um dreno coletor longitudinal constituído por tubo perfurado com diâmetro mínimo de 0,30m que será descarregado para fora do canal, após o trecho escavado.

5.6.2 Seções Escavadas em Material de 2ª categoria

Os canais implantados em material de 2ª categoria (rocha alterada mole) deverão apresentar inclinação de 1V:1,5H.

O revestimento da seção deverá ser feito com uma geomembrana e uma camada de concreto, de forma similar à descrita no item 5.6.1.

Para a implantação da geomembrana e da camada de concreto, deverá ser feita a regularização da superfície escavada com areia ou pedrisco, que também atuará como drenagem para alívio de subpressão no revestimento. Caso o pedrisco apresente-se instável sobre o talude de rocha, onde a superfície de escavação apresente-se muito lisa, a regularização será feita com concreto poroso e solo-cimento segundo metodologia utilizada para as seções escavadas em rocha.

O sistema de drenagem longitudinal será implantado de maneira análoga à seção de escavação em solo.

5.6.3 Seções Escavadas em Rocha

Os canais implantados em maciço rochoso deverão apresentar, de um modo geral, inclinação de 1V:1,5H.

O revestimento final da seção deverá ser feito com geomembrana, de forma similar à descrita no item 5.6.1.

Para a implantação da geomembrana e da camada de concreto, deverá ser executado o pré-fissuramento ou *smooth blasting* para minimizar o *overbreak* dos taludes, e posterior regularização da superfície escavada com concreto poroso e solo cimento, sendo, na seqüência, implantada a geomembrana e a camada de concreto.

Nos taludes a regularização será feita intercalando-se faixas de 1,00 m de largura de concreto poroso e solo-cimento. No fundo do canal a regularização será feita com areia ou pedrisco

Será dispensado o revestimento com geomembrana no *forebay* a montante das estações de bombeamento, caso o nível do lençol freático encontre-se razoavelmente acima da cota da borda do canal, ou o maciço rochoso seja comprovadamente impermeável, sem risco de perda d'água por infiltração. No trecho rebaixado junto à Casa de Bombas a impermeabilização será feita através de tratamentos localizados de eventuais descontinuidades do maciço rochoso.

5.6.4 Seções sobre Aterro Compactado

Para canais apoiados sobre taludes de solo e/ou saprolitos (rocha alterada mole) compactados, o revestimento deverá ser aplicado sobre camada de areia ou pedrisco de maneira análoga ao item 5.6.1

O revestimento será constituído por geomembrana e camada de concreto, com as características indicadas no item 5.6.1.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Os aterros dos canais utilizando materiais de 1^a, 2^a e 3^a categorias, terão na zona central, na região do canal hidráulico e sob a mesma, aterros de solo compactados utilizando-se enrocamento nos espaldares.

No fundo do canal será implantado um dreno coletor de maneira análoga ao previsto no item 5.6.1

As transições posicionadas entre a zona central de aterro e espaldares de enrocamento não necessitam obedecer, rigorosamente, os critérios de filtros e transições.

5.7 Túneis

Para a implantação de túneis, será considerada a solução através de escavação convencional, sendo *Drilling and Blasting* (DB) para maciços rochosos e NATM para maciços de rocha alterada e/ou solo.

A seção a ser adotada nos estudos consistirá na forma arco-retângulo com base igual à altura, apresentando raio da abóbada igual à metade da altura total do túnel.

Para túneis em solo que apresentarem condições desfavoráveis de escavação, devido à presença de lençol freático, deverão ser adotados sistemas de rebaixamento englobando ponteiros drenantes, poços de bombeamento e, principalmente, drenos horizontais profundos.

Para os emboques deverão ser analisadas as condições geológico-geotécnicas de cada local, para definir os principais tratamentos a serem previstos.

Assim, deverão ser considerados aspectos como presença de corpos de tálus, foliações desfavoráveis do maciço e grau de fraturamento do maciço rochoso. Serão considerados, entre outros dispositivos chumbadores, tirantes isolados e/ou cortinas atirantadas, além da execução de túneis falsos e sistemas de rebaixamento do lençol freático adequado aos locais.

Para a classificação de maciço rochoso em obras subterrâneas deverá ser utilizado o "Sistema Q" de Nick Barton, que servirá de base para os serviços de estabilização.

Os túneis de acesso deverão ser admitidos, sempre que possível, com rampa máxima de 10% (dez por cento).

As seções hidráulicas dos túneis deverão considerar piso regularizado com concreto magro.

5.8 Barragens

A crista terá 6,0m de largura caso não seja utilizada como estrada, caso contrário terá o gabarito da estrada em questão. Terá declividade transversal para montante de 2%.

A proteção de enrocamento a montante terá o diâmetro D50, determinado pela onda de projeto, calculada pelo método de Saville, por exemplo, com espessura na normal ao talude de 2 X D50.

A proteção de enrocamento será estendida até 2,0m abaixo da cota da soleira da tomada d'água para uso difuso.

O desvio do rio para as barragens ficará a cargo do Construtor, sendo colocada uma "Nota" nos desenhos e indicado nas Especificações Técnicas.

Em todas as barragens, exceto as de derivação, haverá tomada d'água para usos difusos.

Os taludes das barragens homogêneas serão protegidos com material granular (enrocamento fino ou cascalho arenoso) com bermas a cada 20,0m de altura.

As barragens de terra-enrocamento não terão bermas.

O filtro vertical terá largura mínima de 0,50m a ser verificada pela estimativa de vazão de infiltração.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

O filtro horizontal terá saída afogada e gradiente máximo de 0,10.

O fator de segurança mínimo para dimensionamento da drenagem interna será de 10.

Os fatores de segurança mínimos das análises de estabilidade serão:

- 1,5 para regime permanente;
- 1,3 para o final da construção;
- 1,1 para o rebaixamento rápido até o NA min excepcional.

Para as barragens mistas a largura mínima do núcleo impermeável será de 0,50H na base e 3,0m na crista.

A largura das transições de jusante será de 0,8m e, para as transições de montante, conforme dimensionamento.

Será instalada a seguinte instrumentação nas barragens, aterros de encontro de aquedutos e aterros de *forebays*:

- piezômetros e medidores de nível d'água;
- marcos de recalque;
- medidores de recalque;
- medidores de vazão.

5.9 Áreas de Empréstimo

Para evitar a necessidade de recomposição futura, as áreas de empréstimo serão localizadas sempre que possível no interior do futuro reservatório, atendendo a uma distância mínima de 100 m do pé de montante da barragem.

6 . ENGENHARIA ELÉTRICA

6.1 Introdução

Este item tem por objetivo apresentar os principais critérios de dimensionamento do projeto elétrico, previstos para o Projeto Básico.

6.2 Equipamentos e Sistemas Elétricos Previstos

6.2.1 Nas Estações Elevatórias

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Subestação abaixadora 230-6,9 kV para alimentação das estações de bombeamento;
- Transformadores abaixadores 230-6,9 kV para alimentação da estação de bombeamento;
- Conjuntos moto-bombas e equipamentos associados (excitação, proteção contra surtos, etc.);
- Sistema de Distribuição de Média Tensão;
- Sistemas de partidas dos conjuntos moto-bombas;
- Sistema de comando, controle, proteção e supervisão;
- Sistema de telecomunicação;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente alternada;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente contínua;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Sistema de iluminação;
- Sistema de vias de cabos;
- Sistema de fiação;
- Sistema de aterramento;

6.2.2 Nas Estruturas de Controle

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Sistema de comando, controle e supervisão;
- Sistema de telecomunicação;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente alternada;
- Transformador de distribuição 6900-380/220 V
- Sistema de iluminação;
- Sistema de fiação e vias de cabos;
- Sistema de aterramento;

6.2.3 Nas Tomadas D'água de Uso Difuso

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Sistema de comando, controle e supervisão;
- Sistema de telecomunicação;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente alternada;
- Transformador de distribuição 6900-380/220 V
- Sistema de iluminação;
- Sistema de fiação e vias de cabos;
- Sistema de aterramento;

6.2.4 Nas Estruturas de Derivação

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Sistema de comando, controle e supervisão;
- Sistema de telecomunicação;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente alternada;
- Transformador de distribuição 6900-380/220 V
- Sistema de iluminação;
- Sistema de fiação e vias de cabos;
- Sistema de aterramento;

6.3 Normas Técnicas e Padrões

Os sistemas elétricos, equipamentos e aparelhagens serão projetados de acordo com as normas em vigor de uso consagrado mundialmente, em sua última edição.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

6.3.1 Norma Oficial

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

6.3.2 Normas Opcionais

Serão utilizadas quando a Norma Oficial for omissa ou nos casos específicos. Em caso de divergência sempre prevalecerá a Norma Oficial.

ANSI — American National Standards Institute

AISC — American Institute of Steel Construction

ASME — American Society of Mechanical Engineers

ASTM — American Society of Testing Materials

AWS — American Welding Society

IES — Illuminating Engineering Society

IEEE — Institute of Electrical and Electronic Engineers

IEC — International Electrotechnical Commission

IPCEA — Insulated Power Cable Engineers Society

NBFU — National Board of Fire Underwriters

NEC — National Electric Code

NEMA — National Electric Manufacturers Association

TELEBRAS — Telecomunicações Brasileira S/A

6.3.3 Padrões

Sempre que possível serão utilizados padrões estabelecidos e que serão adotados para todas as Estações de Bombeamento, Subestações, Estruturas de Controle e Tomada D'Água de Uso Difuso.

6.4 Critérios de Projeto para os Equipamentos e Sistemas Elétricos das Estações de Bombeamento, Subestações, Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação

6.4.1 Localização e Número

A localização e o número de estações de bombeamento, subestações, estruturas de controle, tomadas d'água de uso difuso e estruturas de derivação, estão definidas no Relatório 13 – Sistemas Elétricos.

6.4.2 Unidades de Bombeamento

O número de conjuntos moto-bombas será: 4 + 1 reserva para as unidades do trecho V.

Fica mantido o critério da viabilidade que haverá sempre, uma unidade de reserva, independente do número de unidades principais instaladas na Estação de Bombeamento.

Todas as unidades de bombeamento principais e de reserva serão idênticas entre si.

Preferencialmente serão adotadas moto-bombas verticais do tipo poço úmido, em função da simplicidade e das dimensões da obra civil.

A Especificação Técnica a ser elaborada permitirá que o fornecedor/fabricante possa apresentar alternativas de tipo de moto-bombas diferente do tipo indicado no projeto básico, e que



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

eventualmente melhor se enquadram no seu catálogo. Será exigido, porém, a apresentação do projeto completo da estação de bombeamento, no mesmo nível do projeto básico, incluindo as quantidades e os custos de implantação previstos para a proposta alternativa. Todas as alternativas serão analisadas técnica e economicamente e será adotada aquela, que comprovadamente se apresentar melhor.

6.4.3 Subestações

As subestações em níveis de 230 kV e 6,9 kV serão instaladas sempre o mais próximo possível das Estações de Bombeamento e serão constituídas por um esquema de barra simples.

Para Estações de Bombeamento serão instalados os seguintes *bays*:

- 01 *bay* de entrada proveniente da subestação de 230 kV da CHESF ou de outra Estação de Bombeamento;
- 01 *bay* de saída para subestação de 230 kV para a próxima Estação de Bombeamento;
- 02 *bays* 230/6,9 kV para o trecho V, potência a ser definida para a Estação de Bombeamento.

6.4.4 Arranjo Físico

6.4.4.1 Estação de Bombeamento

Os equipamentos elétricos principais terão sua localização intimamente ligada ao desenvolvimento dos projetos de engenharia civil e mecânica, havendo necessariamente um processo de interação entre os diversos setores.

Da implantação dos conjuntos moto-bombas deve-se partir para a localização dos demais equipamentos elétricos principais, visando sempre um projeto econômico e funcional.

- Motores

Os motores serão do tipo síncrono, trifásico, 6,9 kV, de montagem vertical, potência conforme Estação de Bombeamento, que acionam bombas tipo vertical poço úmido.

Os motores serão instalados em estação de bombeamento coberta, sobreposto em piso de concreto, ou diretamente sobre a estrutura da bomba.

Cada motor será conectado a um cubículo com Dispositivo de Partida (*soft-starter*) e este a um cubículo de distribuição de média tensão em 6,9 kV, através de cabos isolados singelos de 6/10 kV.

O neutro dos motores será fechado na própria caixa do motor.

O sistema de extinção de incêndio no piso das moto-bombas, adotado, será por carreta com reservatório a ser dimensionado.

Os transformadores serão instalados ao tempo na subestação abaixadora da Estação de Bombeamento.

A saída da baixa tensão será através de buchas próprias para ligação aérea e irá até a estação de bombeamento por linha de transmissão em 6,9 kV, ou será através de buchas instaladas em caixas para ligação a subterrânea em 6,9 em cabos isolados 6/10 kV.

Os cabos isolados de 6/10 deverão ser instalados em suportes que propiciem a necessária resistência mecânica aos esforços decorrentes de curto circuito e o adequado espaçamento estabelecido pela disposição física adotada para seu caminhamento.

Ligação Cubículos de Distribuição-Cubículos do Dispositivo de Partida (*Soft-Stater*)



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

A saída de cabos dos cubículos de distribuição de média tensão 6,9 kV será feita pela parte inferior dos cubículos através de bandejamento, chegando aos cubículos dos Dispositivos de Partida (*Soft-Starter*) também pela parte inferior.

Os cabos isolados de 6/10 deverão ser instalados em suportes que propiciem a necessária resistência mecânica aos esforços decorrentes de curto circuito e o adequado espaçamento estabelecido pela disposição física adotada para seu caminhamento.

- Ligação Cubículos do Dispositivo de Partida (*Soft Starter*)-Motor

A saída de cabos dos cubículos dos Dispositivos de Partidas (*Soft-Starter*) será feita pela parte inferior dos cubículos através de bandejamento/eletrodutos, chegando aos motores.

Os cabos isolados 6/10 kV deverão ser instalados em suportes que propiciem a necessária resistência mecânica aos esforços decorrentes de curto circuito e o adequado espaçamento estabelecido pela disposição física adotada para seu caminhamento.

6.4.4.2 Subestações

As subestações deverão ser constituídas por barramentos flexíveis sustentados por estruturas de aço para subestações de 230 kV, padronizadas pela CHESF.

Os barramentos principais serão dimensionados para uma corrente nominal de 1000 A e suportabilidade de curto circuito de 40 kA para as subestações de 230 kV.

Os suportes dos equipamentos das subestações de 230 kV serão em aço, seguindo os padrões da CHESF.

Os arranjos físicos deverão ser adequados à instalação de equipamentos padronizados. Os cabos de controle e de baixa tensão dos auxiliares da subestação correrão por canaletas de concreto, apoiados em suportes de aço.

Os pisos das subestações serão recobertos com uma camada de brita de 10 cm de altura.

Os barramentos e estruturas serão protegidos contra a incidência de descargas atmosféricas diretas através de blindagem atmosférica propiciada por rede de cabos de aço, adequadamente estendidos entre as estruturas.

O nível de isolamento a impulso para as subestações de 230 kV será de 850 kV.

Os transformadores instalados nas subestações terão nível de isolamento a impulso de 850 kV no lado de 230 kV.

Serão respeitados os critérios normalizados, distâncias de segurança, espaçamentos de fase-terra, entre fases, etc.

- Transformadores Abaixadores

Os transformadores abaixadores serão instalados ao tempo na área das subestações.

Os transformadores abaixadores das Estações de Bombeamento serão trifásicos, de dois enrolamentos e imersos em óleo isolante. Os terminais do enrolamento de tensão superior, em 230 kV(+/-2x2,5%), e os terminais do enrolamento de tensão inferior, em 6,9 kV, potência de acordo com a necessidade, ONAN/OFAF

6.4.4.3 Equipamentos de Controle e Proteção

Todos os painéis serão orientados de maneira a facilitar a identificação e visualização pelo operador, principalmente dos dispositivos de controle, instrumentos e sinalização.

Dependendo dos dispositivos utilizados nos painéis de comando, controle e proteção, será prevista uma área com ar condicionado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

6.4.4.4 Equipamentos Auxiliares

Em princípio acompanharão a localização dos equipamentos mecânicos, ou estarão localizados de modo mais favorável a sua finalidade.

A localização será tal que permita um fácil acesso dos operadores e que possua espaço suficientemente amplo para os trabalhos de montagem e manutenção.

Os transformadores para os serviços auxiliares serão dois (02) do tipo seco, em resina epóxi, potência de acordo com a necessidade, relação 6900-380 V, com neutro acessível.

6.4.4.5 Equipamentos de Emergência

Para atender a falta de energia nos serviços auxiliares de corrente alternada das Estações de Bombeamento será previsto a instalação de um grupo diesel gerador (GDG) com a finalidade exclusiva de alimentar parte da iluminação, sistema de comando e controle e alguns equipamentos de pequeno porte.

A potência gerada pelo GDG será de aproximadamente 75 kVA na tensão de 380 V FF e 220V FN.

6.4.4.6 Áreas específicas

A sala de controle está locada o mais próximo do centro de cargas das Estações de Bombeamento, devendo ter sistema de ar condicionado.

Nesta sala estarão os equipamentos do sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) das Estações de Bombeamento e Subestações.

- Sala Elétrica

A sala elétrica estará locada o mais próximo do centro de cargas das Estações de Bombeamento.

Nesta sala estarão os painéis de comando, controle e proteção dos conjuntos moto-bombas, os painéis de comando controle e proteção da subestação, os quadros de distribuição de serviços auxiliares de ca e cc e os carregadores de baterias.

- Área de Montagem

Área necessária para armazenamento de pelo menos um motor completo, além da montagem simultânea de componentes da bomba.

- Sala do Grupo Diesel

Para Estações de Bombeamento por ser um equipamento de pequeno porte não será necessário uma sala exclusiva para o GDG, porém o local deverá ser arejado com uma boa circulação de ar.

- Sala de Baterias

Será prevista área para sala de baterias, fechada, ventilada e drenada adequadamente, contendo baterias de acumuladores e servidas por aparelhagens a prova de gases e vapores (luminárias, interruptores, etc.)

- Sala dos Cubículos de Média Tensão

Os cubículos de média tensão 6,9 estarão instalados em sala fechada e ventilada onde se instalará: os Cubículos de Distribuição de 6,9, os Cubículos de Excitação e os Cubículos de Dispositivos de Partida das Moto-bombas *Soft-Starter*.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

6.4.5 Sistema de Aterramento

6.4.5.1 Geral

O sistema de aterramento deverá ser dimensionado conforme norma IEEE 80/1 976.

Para cálculo da resistência de aterramento da instalação, bem como de potenciais perigosos, nas próprias Estações de Bombeamento, Subestações, Estruturas de Controle e Tomadas D'água de Uso Difuso serão realizadas medições para obtenção da resistividade do solo na região das instalações.

6.4.5.2 Estações de Bombeamento

O sistema de aterramento será constituído por uma malha de cabos de cobre nu, junto a rocha, embutidos, de capacidade adequada para suportar as correntes de curto-circuito para terra durante um (01) segundo, com elevação máxima de temperatura de 450 graus Celsius.

A malha deverá ter características suficientes para garantir que as diferenças de potencial locais se situem dentro dos limites aceitáveis por norma inclusive no tocante à resistência de aterramento.

- Aterramento de Equipamentos e Estruturas

As ligações a equipamentos e estruturas serão feitas por cabos de cobre nu com terminais e conectores aparafusados.

A seção mínima do condutor para conexão com os equipamentos deverá ser 70 mm²

A seção mínima para condutores embutidos em concreto será por motivos de resistência mecânica, 95 mm².

Esta ligação assegurará um caminho de baixa impedância de retorno das correntes de fuga de cada equipamento, condutos ou quaisquer estruturas metálicas para o terminal do neutro das fontes de alimentação do defeito à terra.

Todas as estruturas e partes metálicas não energizáveis serão conectadas ao sistema de aterramento constituído por cabos de cobre nu embutidos no concreto.

Toda parte metálica não energizável dos equipamentos elétricos, tanto de média tensão, 6,9 kV, como de baixa tensão, 380/220 Vca ou 125 Vcc, terão suas partes acessíveis conectadas ao sistema de aterramento.

6.4.5.3 Subestações

As subestações deverão ser providas de um sistema de aterramento constituído por cabos de cobre nu enterrados a uma profundidade mínima de 60 cm, interconectados por soldagem decorrente de processo exotérmico.

Os condutores principais da malha de aterramento serão lançados longitudinalmente aos vãos para receber os cabos de aterramento dos equipamentos e estruturas.

Junto aos equipamentos que operam aterrados, como pára-raios, e nos locais de aterramento de neutros de transformadores, o sistema deverá ser complementado com a instalação de hastes de aterramento.

No dimensionamento do cabo da malha deverá ser adotado um tempo de eliminação da falta de um (01) segundo, para cálculo dos potenciais deverá ser adotado um tempo de falta de 0,5 segundos.

O espaçamento entre condutores da malha será estabelecido em função do controle das tensões de toque, passo e corrente de malha. A bitola dos cabos da malha será definida em



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

função das correntes de curto circuito previstas para o local, adotando-se como bitola mínima por 70 mm² razão dos esforços mecânicos do lançamento e instalação.

O alambrado das subestações deverá ser incluído no sistema de aterramento, seccionando-se o mesmo sob as saídas ou entradas de linhas.

Os alambrados deverão ser aterrados à malha de aterramento e deverá ser estendido externamente à área por eles delimitada para controle da tensão de toque nos mesmos, um cabo à distância de 1,0 metro.

As estruturas e partes metálicas não energizadas dos equipamentos deverão ser conectadas à malha de aterramento por meio de cabos de cobre nu de bitola mínima 70 mm².

6.4.5.4 Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação

As Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação deverão ser provida de um sistema de aterramento constituído por um triangulo de aterramento, formado por 03 (três) hastes de terra de 3 m de comprimento e bitola ¾", interligados por cabos de cobre nu bitola 70 mm², enterrados.

As estruturas e partes metálicas não energizadas dos equipamentos deverão ser conectadas ao triangulo de terra por meio de cabos de cobre nu de bitola mínima 70 mm².

6.4.6 Equipamentos Principais

As características básicas dos equipamentos principais serão definidas na fase de projeto básico considerando as características específicas da instalação, a coordenação dos aspectos técnicos dos diversos equipamentos, as normas técnicas adotadas, os padrões estabelecidos e as práticas industriais, visando um conjunto de equipamentos integrado e funcional.

6.4.7 Comando, Controle, Proteção e Supervisão

6.4.7.1 Generalidades Operativas - Comando, Controle e Supervisão

O comando, o controle e a supervisão das Estações de Bombeamento, Subestações, Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação serão executados normalmente, a partir do Centro de Controle e Operação (CCO) através de comunicação em protocolo aberto com o Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) da Estação de Bombeamento que poderá executar as mesmas funções quando não estiver interligada ao Centro de Controle e Operação (CCO) ou ainda automaticamente sem supervisão pelas UAC's ou manualmente atuando diretamente nos equipamentos.

- Nível 1 unidades de aquisição de dados e controle (UACs) que deverão ser constituídas por módulos funcionais, tais como processadores, interfaces com o processo e comunicação;
- Nível 2 corresponde às funções centralizadas na estação de bombeamento de comando, supervisão e controle. O conjunto de equipamentos do nível 2 deverá estar totalmente interconectado através de rede digital de comunicação redundante de alta velocidade;
- Nível 3 corresponde as funções centralizadas no Centro de Controle e Operação OCO de comando, supervisão e controle. O conjunto de equipamentos do nível 3 deverá estar totalmente interconectado através de rede digital de comunicação redundante de alta velocidade.

6.4.7.2 Estrutura Hierárquica do Sistema de Comando Controle e Supervisão

A estrutura hierárquica do sistema digital de supervisão e controle das Estações de Bombeamento e Subestações é concebida em três níveis funcionais.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

O nível inferior do SDSC, identificado como nível 1, corresponde aos subsistemas locais de aquisição de dados e controle associados aos elementos das Estações de Bombeamento, Subestações, Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação.

Os equipamentos do nível 1 do SDSC, quais sejam, as unidades de aquisição de dados e controle (UACs) formam subsistemas funcionalmente autônomos e independentes entre si e dos níveis superiores, no que se refere à execução das funções básicas de controle e automatismo necessárias à operação correta e segura dos equipamentos associados.

O Fornecimento inclui as interfaces convencionais que farão a interligação da UAC da unidade com o processo e possibilitarão a parada automática das unidades em caso de falhas das UACs. Estas interfaces convencionais podem ser incluídas nos painéis do SDSC ou nos painéis de proteção das unidades, conforme o melhor arranjo e serão definidas em Especificações Técnicas.

Os seguintes equipamentos serão fornecidos por terceiros:

Reguladores de tensão (para estações de bombeamento);

Os equipamentos acima citados, fornecidos por terceiros, se comunicarão com o SDSC através de canais de comunicação com as UACs das unidades de bombeamento ou geradoras. Os protocolos deverão ser implementados em processadores inteligentes, com mecanismos de desenvolvimento que suportem edições e modificações futuras dos programas. Neste caso, os reguladores de tensão e de velocidade serão também interligados as UACs das respectivas unidades de bombeamento através de sinais individualizados, analógicos e binários (contatos secos).

Para os equipamentos de nível 1 do próprio Fornecimento admite-se a composição de sub-redes ou canais de comunicação no próprio nível 1.

O nível 2 do SDSC, corresponde às funções centralizadas de supervisão e controle. O conjunto de equipamentos computacionais do nível 2 deverá estar totalmente interconectado através de uma rede digital de comunicação redundante de alta velocidade, de no mínimo 500 kbits/s.

Os equipamentos computacionais do nível 2 do SDSC serão instalados na sala de controle das estações de bombeamento e realizarão:

- suporte às funções centralizadas de operação do complexo;
- a sincronização horária do SDSC.

A partir do console de operação de nível 2 será possível controlar e supervisionar as estações de bombeamento e a subestação.

No nível 2 do SDSC existirão recursos de comunicação para o acesso aos subsistemas de nível 1, do Fornecimento e de terceiros (caso já não estejam considerados no nível 1), através de canais de comunicação ou redes, em conformidade com os respectivos meios e protocolos disponíveis. Os suportes físicos de comunicação com as UACs (nível 1) serão redundantes.

Existirá ainda no nível 2 do SDSC, dois equipamentos gerenciadores de base de dados GBD-01 e GBD-02, para o gerenciamento da base de dados de tempo real do *software* SCADA, com capacidade de integração à base de dados relacional, em configuração dual, responsáveis por todos os armazenamentos e processamentos centralizados.

O SDSC deverá ser sincronizado ao horário local a partir do sistema de satélites GPS, utilizando-se de uma central horária integrante e funcionalmente localizada no nível 2.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Todos os equipamentos computacionais de nível 2 compartilharão de uma mesma rede digital dual de comunicação.

6.4.7.3 Comunicações entre o Nível 2 do SDSC e Sistemas Computacionais Externos

No nível 2 os processadores de comunicação com sistemas computacionais externos serão implementados através dos GBD's.

Os dois processadores de comunicação externa deverão poder operar em configuração dual, para suporte às funções de comunicação com o Centro de Controle e Operação.

Estes processadores deverão absorver todas as especificidades dos protocolos de comunicação, em todos os seus níveis, de forma transparente para os demais sistemas computacionais.

Todos os canais redundantes de comunicação com sistemas externos deverão corresponder a interfaces no SDSC.

A comunicação entre o SDSC e o CCO, será dual e terá por meio físico dois canais de comunicação digital de 64 kbps operando de forma redundante e simultânea.

O protocolo a ser implementado para a comunicação com o CCO é baseado na recomendação IEC 870-5-101.

Toda a comunicação entre o CCO, as Estações de Bombeamento, as Estruturas de Controle e as Tomadas D'água de Uso Difuso, terão como meio físico um cabo de fibras ópticas que será instalado no cabo pára-raios das Linhas de Transmissão de 230 kV e 6,9 kV(cabo OPGW).

6.4.7.4 Proteção

O sistema de proteção será formado por:

- Sistema de Proteção da Subestação 230-6,9 kV (no caso de Estação de Bombeamento);
- Sistema de Proteção das Unidades Moto-bombas (para Estação de Bombeamento);
- Sistema de Proteção das Linhas de 230 kV.

As proteções de cada sistema serão definidas durante a execução do projeto básico em especificação técnica própria.

Todo o sistema de proteção será definido atendendo ao princípio de proteção principal e retaguarda.

Toda a comunicação entre as Subestações, terão como meio físico um cabo de fibras ópticas que será instalado no cabo pára-raios das Linhas de Transmissão (cabo OPGW) que será o mesmo compartilhado com o Sistema de Supervisão e Controle.

Os sistemas de proteção numéricos possuirão recursos de autodiagnóstico incorporados, possuirão informações importantes referentes à história das ultimas faltas (partida, disparo, etc.).

Os sistemas de proteção possuirão interfaces de comunicação com o sistema supervisivo SDSC para transmitir informações sincronizadas sobre os principais eventos referentes as proteções (função atuada, partida, disparo, falta de tensão auxiliar, defeito do relé, etc.).

Os relés serão fornecidos com contatos individualizados, livres de potencial, para atuação das principais funções de proteção.

Os relés possuirão isolamento galvânica em todas as entradas e saídas, de forma que nenhum circuito interno de relé possua conexão física com circuitos externos.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

6.4.7.5 Controle Hidráulico

Todos os sistemas de controle hidráulico das Estações de Bombeamento, das Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e das Estruturas de Derivação será feito por UAC's e interligadas ao Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) através de um cabo de fibras ópticas que será instalado no cabo pára-raios das Linhas de Transmissão 230 kV(cabo OPGW) ou de um cabo de fibra óptica instalado junto com a linha de 6,9 kV (cabo óptico espinado).

Todos os sistemas de controle hidrológicos de Estações distantes onde os cabos OPGW não atendem serão feitos com aquisições de dados através de UAC's e transmitido ao CCO através de satélite.

6.4.8 Serviços Auxiliares em Corrente Alternada

Os Serviços Auxiliares em corrente alternada serão projetados de forma a garantir a segurança de pessoal e de equipamentos, bem como a integridade estrutural das Estações de Bombeamento, Subestações, Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação considerando uma operação automática e não atendida da instalação.

6.4.8.1 Tensões Nominais

Estarão disponíveis as tensões de:

6,9 kV (+1- 5%), 60 Hz, trifásico, neutro aterrado, derivado do Quadro de Distribuição de 6,9 kV, para alimentação dos Transformadores de Serviços Auxiliares;

380/220 V (+1- 10%), trifásico mais neutro, obtida dos Transformadores de Serviços Auxiliares e do Grupo Diesel Gerador de Emergência, para alimentação dos sistemas auxiliares das moto-bombas ou unidades geradoras, dos equipamentos de manobras da subestação, dos transformadores abaixadores ou elevadores, dos carregadores de baterias, dos órgãos de controle hidráulicos, e para alimentação primária do sistema de iluminação normal, tomadas de força e outras cargas maiores que 1 kW.

6.4.8.2 Requisitos Gerais Operativos

Os requisitos operativos são:

- Comando, será normalmente automático, programado para garantir o mínimo de interrupções na alimentação das cargas e com opção para operação manual para testes e condições especiais;
- Supervisão, compreenderá a sinalização de estados, medição e anunciação de defeitos de circuitos de alimentação principal, de emergência, demarradores de auxiliares mecânicos, etc.;
- Proteção, seletiva, através de disjuntores com dispositivos contra sobrecargas e curto-circuito.

6.4.9 Serviços Auxiliares em Corrente Contínua

Os Serviços Auxiliares em Corrente Contínua serão projetados de forma a alimentar com alta segurança os dispositivos de comando, controle e proteção das instalações, considerando-se uma operação automática e não atendida da instalação.

6.4.9.1 Tensões Nominais

Estarão disponíveis as tensões de:

125 V (+10 — 20%), 2 fios, sistema isolado, obtida das baterias de acumuladores e carregadores, para alimentação dos sistemas de comando, controle e supervisão digital, proteção, inversores, alarmes, iluminação de emergência, telecomando, telesupervisão e se



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

necessário tensão de 48 Vcc deverá ser conseguida através de conversores partindo do 125 Vcc.

6.4.9.2 Configuração do Sistema Auxiliar em Corrente Contínua

O Sistema de Serviços Auxiliares em 125 Vcc da Estação de Bombeamento será constituído por dois (02) conjuntos carregador-bateria, operando em regime de flutuação, cada um com capacidade de alimentar toda a carga da Estação de Bombeamento e Subestação, e respectivo quadro de distribuição que alimentará as cargas.

As baterias de acumuladores, do tipo chumbo-ácido, serão dimensionadas para atender, em caso de emergência, a um ciclo de descarga de 4 (quatro) horas com tensão final de 105 V. O Ciclo de descarga considerado prevê no início o desligamento total das quatro moto-bombas e de todos os disjuntores, entrada em operação da iluminação de emergência e ao fim do ciclo de quatro horas partida do grupo diesel gerador de emergência.

Os carregadores, serão do tipo estático, providos de regulação automática de tensão de saída, instalados em quadros juntamente com dispositivos de proteção, comando e supervisão, e com alimentação em 380 Vca, trifásico, 60 Hz. O seu dimensionamento assegurará a alimentação simultânea das cargas e da bateria em flutuação, ou em cargas de equalização. Deverá ser prevista operação em carga profunda através dos diodos de queda.

Os requisitos operativos são:

- Comando será normalmente automático, programado para garantir a alimentação segura dos dispositivos de proteção e com opção para operação manual para testes e condições especiais;
- Supervisão compreenderá a sinalização de estados, medição e anunciação de defeitos de circuito de alimentação principal e carregadores;
- Proteção seletiva, através de fusíveis e disjuntores com dispositivos contra sobrecargas e curto-circuito.

6.4.10 Sistema de Telecomunicações

6.4.10.1 Introdução

O sistema de telecomunicações para as Estações de Bombeamento, Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso, Estruturas de Derivação e CCO será constituído pelas seguintes partes:

- Cabos e materiais ópticos
- Elos ópticos
- Multiplexers (MUX)
- Teleproteção
- Centrais telefônicas
- Distribuidores ópticos (DO)
- Distribuidor Geral (DG)
- Rede telefônica para voz e dados
- Quadro de Distribuição de CC e CA
- Transceptores Rádio Digital.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

6.4.10.2 Critérios de Projeto

Foram adotados os seguintes critérios:

- Cabos ópticos OPGW para interligação entre as SEs e Estações de Bombeamento;
- Cabos ópticos espinados para interligação entre SE, Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação;
- Materiais ópticos incluindo distribuidores ópticos, caixas de emendas, cabos dielétricos, cordões ópticos e gabinetes dentro do fornecimento das linhas de transmissão;
- Elo óptico, multiplexer, teleproteção e controle com sistema para cada local: SE's/Estação de Bombeamento, Estruturas de Controle e Tomadas D'água de Uso Difuso, CCO;
- Central telefônica PABX-CPA digital;
- Distribuidor geral nas Estações de Bombeamento dentro do escopo das centrais telefônicas;
- Rede para comunicação de voz e dados mista, com um patch panel na sala de telecomunicações;
- Sistema de alimentação de -48 Vcc, obtida do 125 Vcc através de conversores;
- Quadro de distribuição CC e CA nas salas de controle;
- Enlace via rádio digital com a concessionária de comunicação mais próxima.

O Sistema de Telecomunicações das Estações de Bombeamento, Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso, Estruturas de Derivação e OCO deverá atender as necessidades de comunicação de voz, dados, controle e teleproteção. Adicionalmente deverá ser atendida a interligação com a telefonia pública.

O principal meio de comunicação será através de cabos ópticos OPGW, interligando as Subestações, entre Subestação EI e COO, cabo óptico espinado entre as Estações de Bombeamento, as Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação.

Cada linha terá um cabo pára-raios composto com fibras ópticas (OPGW) de 24 fibras, terminação em caixas de emendas para transição de cabo OPGW para cabo óptico dielétrico. A terminação dos cabos ópticos ocorrerão em Distribuidores Ópticos instalados nas salas de telecomunicações nas Estações de Bombeamento, nas Estruturas de Controle, nas Tomadas D'água de Uso Difuso, Estruturas de Derivação ou no OCO.

O equipamento para comunicação de voz, dados, controle e teleproteção será um multiplexer digital, com elo óptico agregado ou não ao equipamento.

A teleproteção será atendida com interfaces a serem definidas pelo projeto de proteção. O equipamento de teleproteção poderá ser do tipo instalada no multiplexer ou equipamento com conexão em canal 64 kbps.

A central telefônica PABX-CPA atenderá as necessidades internas e externas das Estações de Bombeamento.

A rede de telefonia será do tipo convencional. A esta rede será adicionado alguns cabos tipo STP categoria 5, com a função de disponibilizar a comunicação de dados a partir de microcomputadores em pontos previamente definidos em caso de comissionamento e manutenção interligando com locais remotos. Um *patch panel* na sala de telecomunicações permitirá direcionar a comunicação de dados para os destinos desejados.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Na sala de painéis serão instalados todos os equipamentos de telecomunicações, bem como o Distribuidor Geral, Distribuidores Ópticos e Quadros de Alimentação CC e CA.

6.4.11 Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação proporcionará o iluminamento adequado às diversas áreas das Estações de Bombeamento, Subestações, Estruturas de Controle e Tomadas D'água de Uso Difuso dimensionado de acordo com a importância do ambiente atendido ou do tipo de serviço que determinado equipamento realiza, levando-se em conta que, em certos ambientes, um nível mínimo de iluminamento deverá ser mantido sob quaisquer condições de operação, bem como o regime de operação não assistida.

Nas áreas internas haverá dois níveis de iluminamento com valores definidos de acordo com a NBR-5413, um para operação normal e outro para serviços de manutenção, além de iluminação suplementar localizada, quando necessário. A iluminação de emergência, nas áreas onde podem ser realizados serviços, será dimensionada para níveis de 40 a 50 lux e para corredores níveis de 30 lux.

Além do previsto acima haverá iluminação de balizamento nas áreas externas e onde possa ocorrer circulação de pessoal, a iluminação será projetada para garantir um iluminamento mínimo de 5 lux. Nas áreas com equipamentos manobráveis, será previsto um iluminamento mínimo de 30 lux além de iluminamento localizado de 150 lux para a sala de painéis elétricos e de 300 lux para a sala de controle, bem como a possibilidade de instalação de projetores portáteis.

A iluminação de emergência das áreas externas deverá proporcionar níveis de iluminamento de 5 lux nas vias de circulação, e será derivada da fonte de emergência.

6.4.12 Sistema de Fiação

O sistema de fiação compreenderá o conjunto de cabos e fios isolados existentes nas Estações de Bombeamento, Subestações, Estruturas de Controle e Tomadas D'água de Uso Difuso utilizados na distribuição de energia, comando, controle, proteção, telefonia e iluminação.

Serão considerados na definição dos cabos os seguintes requisitos gerais:

- a vida útil será pelo menos a projetada para a Estação de Bombeamento;
- resistência térmica;
- resistência mecânica;
- resistência à umidade e aos agentes externos;
- resistência ao fogo e características de não propagação de chama;
- características de dobramento e flexibilidade.

6.4.12.1 Tipos de Cabos

As categorias de cabos são as seguintes:

- Cabos de Controle serão cabos com isolamento termoplástico ou termoestável, classe 600 V multipolares, blindados ou não, com condutores de cobre;
- Cabos de iluminação, serão cabos com isolamento termoplástico de PVC, classe 600 V, podendo ser unipolares ou multipolares, com condutores de cobre têmpera mole, e bitola mínima de 2,5 mm²;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Cabos de energia, em baixa tensão (0,6 a 1 kV) serão cabos de três (03) condutores com seção mínima de 4 mm² e máxima de 50 mm² e, cabos de 1 condutor para seções superiores a 50 mm²;
- Cabos de energia, em média tensão (maior que 1 kV) serão cabos de um (01) condutor com seção mínima de 25 mm²;
- Cabos tipo telefônico, multipares, blindados para Sistema de Controle Digital.

Serão utilizados cabos de quatro (04) condutores para ligação de transformadores de instrumentos, cabos de até doze (12) condutores para os sistemas de controle de 125 Vcc e cabos de até 50 pares no Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC).

Os cabos serão dimensionados de acordo com suas aplicações, respeitando-se as quedas máximas de tensões ditadas por normas ou suportadas pelas cargas, e pelas elevações máximas de temperatura em regime e em condições de curto-circuito. Porém, em qualquer condição, as quedas de tensão entre os terminais de saída dos transformadores de serviços auxiliares e as cargas serão no máximo de 6% sobre o valor nominal, para circuitos de iluminação 8%, para outras utilizações, respeitando-se uma queda parcial de 2% nos circuitos terminais de iluminação. Os circuitos terminais para motores serão dimensionados para no mínimo 125% do valor nominal da corrente de carga.

6.4.13 Sistema de Vias de Cabos

O sistema de vias de cabos dependendo do tipo de instalação poderá ser em: suportes instalados em canaletas (para subestação), bandejas (para estações de bombeamento), eletrodutos (para subestações, estruturas de controle e uso difuso).

O sistema de vias de cabos para as Estações de Bombeamento e será feito através de bandejamento, com bitola de 500 mm, aba de 100 mm.

Onde necessário embutir será através de eletrodutos de aço galvanizado a fogo e bitolas conforme a necessidade.

Para saída das bandejas e acoplamentos aos equipamentos (motores, bombas, sensores, etc...) serão utilizados eletrodutos flexíveis.

7 . CRITÉRIOS DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

7.1 Introdução

O objetivo é apresentar os critérios que serão adotados para a elaboração do projeto básico de definição dos equipamentos e sistemas mecânicos do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco.

7.2 Traçado Consolidado e Estruturas Hidráulicas Previstas

O traçado hidráulico consolidado, a ser utilizado no Projeto Básico da Transposição do Rio São Francisco, é a revisão do traçado estabelecido na segunda fase dos estudos de viabilidade, elaborada no início dos trabalhos do Projeto Básico. Nesse traçado, estão previstas estruturas hidráulicas equipadas com os seguintes equipamentos e sistemas mecânicos:

- Estações de Bombeamento EBV-1, EBV-2, EBV-3, EBV-4, EBV-5 e EBV-6;
- Estruturas de Controle;
- Tomadas d'Água de Uso Difuso.



7.3 Equipamentos e Sistemas Mecânicos Previstos

7.3.1 Estações de Bombeamento

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Unidades de bombeamento;
- Válvulas e dispositivos anti-golpe de ariete no recalque;
- Ponte rolante para manobra dos equipamentos no interior da estação de bombeamento;
- Grades e comporta ensecadeira na adução da Estação de Bombeamento;
- Pórtico rolante na adução para manobra dos painéis da grade e da comporta ensecadeira;
- Adutoras de recalque;
- Comporta ensecadeira na estrutura de jusante da adutora;
- Equipamento de levantamento e manobra dos painéis da comporta ensecadeira na estrutura de jusante da adutora;
- Sistemas Auxiliares Mecânicos;
- Sistema de Drenagem da Estação;
- Sistema de Esvaziamento das Unidades;
- Sistema de Água de Serviço;
- Sistema de Proteção contra Incêndios;
- Sistema de Ventilação;
- Sistema de Ar Condicionado;
- Sistema de Ar Comprimido de Serviço;
- Sistema Separador Água/Óleo dos Transformadores;
- Sistema de Medições Hidráulicas;
- Sistema de Água Potável;
- Sistema de Esgoto Sanitário;
- Sistema de Tratamento de Óleo;
- Acabamentos Metálicos.

7.3.2 Estruturas de Controle

Serão instalados os seguintes equipamentos:

- comportas para controle da vazão e nível a montante ou a jusante, do tipo segmento ou vagão;
- comportas do tipo ensecadeira deslizante, para isolamento das comportas de controle, para inspeção e manutenção;
- equipamentos de levantamento e transporte, para manobra dos painéis das comportas ensecadeiras.

7.3.3 Tomadas d'Água de Uso Difuso

Serão instalados os seguintes equipamentos:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- grade e comporta ensecadeira na Tomada d'água;
- conduto adutor embutido de diâmetro 800 mm;
- válvula de isolamento, tipo borboleta;
- válvula de controle, em princípio, do tipo dispersora.

7.4 Unidades, Normas e Padrões

Os equipamentos e sistemas mecânicos serão projetados de acordo com as normas em vigor, em sua última edição.

Normas Oficiais

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Normas Opcionais

- ISO - International Organization for Standardization
- HI - Hydraulics Institute
- AWWA - American Water Works Association
- ANSI - American National Standards Institute
- DIN - Deutsches Institut für Normung
- ASTM - American Society for Testing and Materials
- ASME - American Society for Mechanical Engineers
- AISC - American Institute of Steel Construction
- NEMA - National Electrical Manufacturers Association
- AWS - American Welding Society
- FEM - Federation Européenne de la Manutention
- SSPC - Steel Structure Painting Council
- IEO - International Electrotechnical Commission
- AISI - American Iron and Steel Institute
- ASRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
- NFPA - National Fire Protection Association

7.5 Critérios de Projeto para os Equipamentos e Sistemas Mecânicos das Estações de Bombeamento

7.5.1 Captação

A captação será efetuada diretamente do canal, que terá largura suficiente de forma a garantir uma velocidade de aproximação não superior a 0,6 m/s, na entrada das grades, sob condição de fluxo máximo.

A profundidade do canal nas proximidades da estação será tal que garanta a submersão correta das bombas, impedindo a formação de vórtices.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

7.5.2 Localização e número de Estações

A localização e o número de estações serão as definidas na revisão do traçado hidráulico consolidado no início da fase de execução do projeto básico, ou seja, seis estações de bombeamento.

7.5.3 Unidades de Bombeamento

O número de unidades de bombeamento será, em princípio, igual ao número de unidades definidas na segunda fase dos estudos de viabilidade, ou seja, 4 + 1 R para as unidades do trecho V.

Haverá sempre, pelo menos, uma unidade de reserva, independente do número de unidades principais instaladas na Estação.

Todas as unidades de bombeamento, principais e de reserva, serão idênticas entre si.

Preferencialmente serão adotadas bombas verticais do tipo poço úmido, em função da simplicidade e das dimensões da obra civil.

A Especificação Técnica permitirá que o fornecedor/fabricante possa apresentar alternativas de tipo de bombas diferentes do tipo indicado no projeto básico, e que eventualmente melhor se enquadram no seu catálogo. Será exigido, porém, a apresentação do projeto completo da Estação de Bombeamento, no mesmo nível de execução do Projeto Básico elaborado pela FUNCATE, incluindo as quantidades e os custos de implantação previstos para a alternativa proposta. Todas as alternativas serão analisadas técnica e economicamente e será adotada aquela que comprovadamente se apresentar melhor.

Cada unidade de bombeamento será provida de uma válvula de retenção de fechamento rápido (Clasar ou similar), uma válvula borboleta e um acoplamento rígido, instalados na linha de descarga, imediatamente a jusante da bomba.

Excepcionalmente, em Estações de Bombeamento com até 30 m de altura manométrica, onde a alternativa de uma adutora por bomba for economicamente justificada, poder-se-á estudar a possibilidade de se prescindir da utilização da válvula de retenção. É importante notar, entretanto, que o critério da eliminação da válvula de retenção de uma instalação de recalque deverá ser ainda devidamente justificado pelos fabricantes das bombas.

7.5.4 Poços de Instalação das Unidades de Bombeamento

Os poços de instalação das unidades de bombeamento terão o objetivo de permitir a captação d'água nas melhores condições hidráulicas, não sendo permitida a formação de vórtices e/ou ondas e, em princípio, serão adotados os critérios estabelecidos no HI – "Hydraulics Institute".

7.5.5 NPSH Disponível

Deverá haver uma margem de segurança entre os valores do NPSH disponível e do NPSH requerido. Normalmente o NPSH requerido apresentado nas curvas características é o NPSH_{3%} (cavitação com garantia de altura total). O valor mínimo do coeficiente de segurança definido pela relação entre o NPSH disponível e o NPSH_{3%} será adotado igual a 1,3.

7.5.6 Equipamentos Hidromecânicos da Tomada D'Água

Na Tomada d'Água da Estação de Bombeamento serão previstas grades, do tipo painéis removíveis, e comportas ensecadeiras localizadas a jusante das grades para permitir o isolamento dos poços e o acesso aos componentes da unidade de bombeamento.

Grades



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Os detritos junto às grades deverão evitar a entrada de objetos submersos, de dimensões maiores que 100 mm.

Os detritos junto às grades deverão ser removidos por processo manual.

A grade será projetada de acordo com os critérios da norma NBR 11213, da ABNT.

A carga a ser considerada no dimensionamento da grade será uma carga hidráulica uniforme de 30 kPa, correspondente a uma obstrução parcial da grade.

A relação entre frequências natural da barra e a de turbilhonamento deverá ser superior a 1,5.

Será considerada uma velocidade máxima de 0,6 m/s, conforme sugerido no Manual de Projeto Mecânico do Bureau of Reclamation.

Comportas Ensecadeira

As comportas ensecadeira serão do tipo com painéis deslizantes, de construção metálica, equipadas com vedação e apoio a jusante.

A comporta ensecadeira será projetada para operar somente em águas equilibradas, de acordo com as recomendações da norma NBR 8883, da ABNT.

A carga a ser considerada no projeto das comportas ensecadeira é o carregamento hidrostático atuante sobre o painel da comporta.

7.6 Equipamentos de Levantamento e Transporte

Deverão ser instalados os seguintes equipamentos de levantamento e transporte:

Na Tomada d'Água, está prevista a instalação de um pórtico rolante com talha elétrica para manobrar os painéis das grades e comportas ensecadeiras e as bombas de drenagem dos poços de instalação das unidades de bombeamento.

No interior da Casa de Bombas está prevista a instalação de uma ponte rolante com carro para auxiliar nos trabalhos de montagem, desmontagem e manutenção das unidades de bombeamento e nos trabalhos de montagem e manutenção dos demais equipamentos auxiliares e quadros elétricos.

O pórtico e a ponte rolantes terão os movimentos de elevação, direção e translação.

O projeto estrutural do pórtico rolante e da ponte rolante será elaborado de acordo com os critérios da norma ABNT, NBR—8400 — ‘Cálculo de Equipamentos para Levantamento e Movimentação de Cargas’, classe de utilização B, estado de carga 1 e grupo 3. O projeto dos mecanismos de translação, direção e elevação deverão estar de acordo com a norma NBR—8400, estado de solicitação 2 e grupo 3.

As operações de comando para ambos os equipamentos serão realizadas através de botoeiras independentes.

Os caminhos de rolamento serão projetados de acordo com a norma NBR-8475, da ABNT.

As capacidades dos equipamentos serão determinadas em função das cargas a serem transportadas, acrescidas de 25 %.

A flecha máxima das vigas horizontais dos equipamentos de levantamento será inferior a milésima parte do vão livre considerado, para o caso de carregamento normal.

7.6.1 Adutoras

O diâmetro de cada adutora será calculado considerando-se o seu diâmetro econômico.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

O número de adutoras será definido a partir de um estudo econômico das possíveis alternativas de arranjo. Serão comparados os custos das alternativas, considerando-se desde um mínimo de duas adutoras por estação até um máximo de uma adutora para cada conjunto de bombeamento. No custo comparativo serão somados todos os custos envolvidos em cada uma das alternativas.

A adutora poderá ser enterrada ou aparente em função do tipo do terreno no qual a mesma será instalada.

As tubulações terão proteção anti-corrosiva adequada, de acordo com a solução a ser adotada, enterrada ou aparente.

Nos pontos altos do trajeto de adutora serão instaladas ventosas.

Os dispositivos de proteção da adutora e da bomba contra os efeitos do golpe de ariete serão definidos em função dos estudos dos transitórios hidráulicos para cada caso. Poderão ser instalados reservatórios hidropneumáticos nas extremidades das adutoras, volantes de inércia nas unidades de bombeamento e chaminés de equilíbrio ou tanques unidirecionais em locais apropriados.

Na extremidade de jusante de cada adutora, o seu perfil geométrico terá a forma de um sifão, de modo a impedir o retorno da água do canal de jusante, na eventualidade de um colapso da adutora. O nível da geratriz inferior da tubulação no ponto de inflexão do sifão deverá ser superior ao nível máximo do canal de jusante. A diferença entre o nível da geratriz superior da tubulação no ponto de inflexão do sifão e o valor da pressão piezométrica mínima nessa seção, durante a ocorrência de um transitório, não deverá ser maior que 4 m.

7.6.2 Sistemas Auxiliares Mecânicos

Em princípio, os sistemas auxiliares mecânicos serão definidos a nível de projeto básico. Serão elaboradas folhas de características e de quantidades, suficientes para permitir ao proponente interessado quantificar o fornecimento.

O arranjo eletromecânico da Estação de Bombeamento a ser elaborado nesta etapa indicará o local de instalação destes sistemas.

7.7 Critérios de Projeto para os Equipamentos Mecânicos das Estruturas de Controle

As comportas de controle serão em princípio do tipo segmento, com acionamento óleo-hidráulico. No caso de ausência de qualquer tipo de controle, com as comportas tendo a função de apenas interromper o fluxo pelo canal, operando completamente abertas ou completamente fechadas, será analisada também a alternativa de comporta vagão, que têm a característica de apresentar um menor custo de obra civil.

Para manutenção das comportas acima estão previstas as instalações de comportas ensecadeiras deslizantes, a montante e a jusante das mesmas.

Haverá somente dois conjuntos de elementos de comportas ensecadeiras para o ensecamento de um vão de um dado tipo (dimensional) de Estrutura de Controle. Cada conjunto consistirá de 3 elementos. Esses elementos de comportas ensecadeiras serão em princípio estocados na Casa de Bombas mais próxima do grupo de Estruturas de Controle em questão. Esses elementos serão manobrados por guindastes do tipo *Munck*, instalados em caminhões, que terão também a finalidade de transportar os elementos até a Estrutura de Controle.

7.8 Critérios de Projeto para os Equipamentos Mecânicos das Tomadas D'Água de Uso Difuso

Cada estrutura de Tomada d'Água de uso difuso será equipada com os seguintes equipamentos mecânicos:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Grade e comporta ensecadeira na adução da Tomada d'Água;
- Conduto adutor enterrado, construído de aço carbono ou ferro fundido, de diâmetro nominal 500 mm;
- Válvula de controle de vazão, do tipo dispersora cônica ou similar, e válvula de isolamento do tipo borboleta, instaladas a jusante, na descarga da estrutura da Tomada d'Água.

8 . ESTRUTURAS CIVIS

8.1 Objetivo

Os critérios aqui apresentados têm por objetivo fixar as diretrizes gerais para a elaboração do Projeto Básico estrutural de transposição de águas do rio São Francisco para o nordeste setentrional, e procuram, de modo geral, satisfazer aos padrões internacionais de segurança e aproveitar a experiência acumulada em obras similares.

Este documento pretende normalizar, em linhas gerais, os seguintes cálculos pertinentes ao projeto estrutural:

- Análises de estabilidade;
- Análises de tensões;
- Dimensionamento dos elementos estruturais.

Verificações especiais, particularmente as relativas aos estados limites de utilização.

Em função dos resultados dos estudos geotécnicos, das condições *in situ* observadas e das análises em laboratório, estes critérios poderão ser parcialmente modificados ou atualizados, sempre de comum acordo com a FUNCATE.

8.1.1 Estruturas a Analisar

Os critérios abrangem as seguintes principais estruturas:

- Barragens
- Vertedouros
- Tomadas d'águas
- Estações de bombeamento
- Estruturas de controle
- Canais
- Túnel
- Subestações
- Aquedutos
- Adutoras
- Bueiros
- Overchutes
- Passagens



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.1.2 Critérios Básicos

Os critérios de projeto aqui apresentados visarão sempre, através das diretrizes e dos valores estabelecidos, a garantia da segurança da obra, durante as fases de construção e de operação das estruturas, a eficiência e confiabilidade operacional.

As verificações de estabilidade quanto ao deslizamento, tombamento e flutuação das estruturas serão feitas nos planos da fundação, nos de eventuais descontinuidades geológicas e em outras superfícies potencialmente instáveis, a fim de comprovar a estabilidade das estruturas dentro dos critérios de segurança adotados.

As análises de tensões serão feitas nos planos de fundação e em alguns planos intermediários dos maciços, pelo método clássico de cálculo. Os resultados serão, sempre que necessário, suplementados por estudos efetuados em modelos matemáticos estruturais, o que vale também para as análises de estabilidade.

O dimensionamento de peças de concreto estrutural será sempre feito pelo método dos estados limites últimos, seguido de verificações dos estados limites de utilização, onde as tensões de serviço serão determinadas com as hipóteses do estágio II.

8.1.3 Normas e Entidades Normalizadoras

O Projeto Básico será norteado pelas normas e especificações da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, particularmente pela NBR 6118 em relação aos elementos de concreto armado.

Estes critérios visam apenas complementar as normas brasileiras quando elas forem insuficientes para a resolução de problemas específicos, valendo-se para isto de parâmetros e hipóteses de cálculo universalmente aceitos, que se encontram em normas e publicações editadas por entidades de renome internacional.

8.2 Características dos Materiais

8.2.1 Concreto

O concreto a ser utilizado nas diversas estruturas da transposição será dividido em classes, de acordo com o diâmetro máximo do agregado e a resistência a ser atingida na idade especificada. A tabela 2.1 classifica os concretos previstos.

Tabela 8.2.1-Classes de Concreto

CLASSE DO CONCRETO	TIPO	fck(MPa)
A	Concreto Estrutural	15
B	Concreto Estrutural	25
C	CCR	7
M	Concreto Massa	10
P	Concreto Protendido	30
D	Concreto Projetado	20

Nota: A escolha do tamanho máximo do agregado será feita com base na dimensão da peça, espaçamento das barras da armadura e na dificuldade do lançamento.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.2.2 Aço para concreto armado

As barras de aço para concreto armado obedecerão à especificação brasileira (NBR-7480). Recomenda-se a uso exclusivo de barras nervuradas, com coeficiente de conformação superficial $\eta_b > 1,5$, de aço da categoria CA-50, de preferência de classe A.

8.2.3 Aço para concreto protendido

Barras e cabos de aço para concreto protendido obedecerão à especificação brasileira NBR-7482 e NBR-7483.

8.2.4 Aço Estrutural

O projeto das estruturas de aço e peças metálicas obedecerão às especificações aplicáveis da ABNT e da DIN ou AISC.

8.3 Cargas de Projeto

8.3.1 Cargas Permanentes

As cargas permanentes, devidas ao peso próprio, serão calculadas com base nos pesos específicos indicados na Tabela 3.1, a seguir.

Tabela - Pêso Específicos dos materiais

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO (kN/m ³)
Concreto sem armadura	23-25
Concreto armado	24-25
Aço	78,5

8.3.2 Cargas Hidrostáticas Externas

As cargas hidrostáticas externas serão aplicadas de acordo com os níveis d'água indicados em documentos específicos, segundo um diagrama triangular.

8.3.3 Subpressões e Pressões Neutras

8.3.3.1 Geral

Os efeitos da água de percolação nas estruturas de concreto, em sua fundação e no contato concreto-rocha, serão levados em conta nas análises de estabilidade de tensões, com base nos diagramas de subpressão empregados na prática corrente.

8.3.3.2 Diagrama de Subpressão no Interior das Estruturas de Concreto

Será considerado atuando em toda a espessura da estrutura. A linha piezométrica, variará linearmente entre os valores das extremidades, iguais aos níveis d'água de montante e jusante.

8.3.3.3 Diagrama de Subpressão no Contato Concreto-Rocha e na Fundação (Caso sem Drenos ou Drenos Inoperantes)

Será considerado igual ao mencionado no item 8.3.2.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.3.3.4 Diagrama de Subpressão no Contato Concreto-Rocha e na Fundação (Caso com Drenos operantes)

O diagrama de subpressão apresentará, em geral, variação linear da linha piezométrica, desde um valor correspondente ao nível d'água de montante, na extremidade montante, até a linha de drenos, onde o valor será igual ao nível d'água de jusante acrescido de um terço da diferença entre os níveis d'água de montante e jusante. Daí, varia linearmente até a extremidade de jusante, onde o valor será correspondente ao nível d'água de jusante.

8.3.4 Sobrecargas

8.3.4.1 Sobrecargas Uniformemente Distribuídas

Será considerada uma sobrecarga uniformemente distribuída, não inferior a 5 kN/m² (500 kgf/m²) para pisos, e 2,5 kN/m² (250 kgf/m²) para coberturas que estejam sujeitas a inspeção e cargas de equipamentos leves.

Serão também adotados os valores da NBR-6120 nos casos aplicáveis.

As sobrecargas uniformemente distribuídas, apresentadas a seguir, constituem diretrizes básicas para o projeto, representando valores mínimos a serem considerados.

Geral

Galerias de cabos	10 kN/m ²
Sala dos Painéis	15 kN/m ²
Sala de Controle	10 kN/m ²
Galerias de acesso	10 kN/m ²
Galerias de equipamentos elétricos e mecânicos	15 kN/m ²
Escritórios	5 kN/m ²
Escadas não especiais	5 kN/m ²

Tampas e escotilhas sem carregamento especificado:

No interior: 2,5 kN/m²

No exterior: 2,5 kN/m² (sem tráfego de veículos e trem tipo 45 com tráfego de veículos)

Guarda-corpos e balaústres aplicados no topo 0,8 kN/m (hor.)

Estação de Bombeamento

Piso das Bombas	15 kN/m ²
Área de Montagem	30 kN/m ²
Piso das Bombas	15 kN/m ²
Casa de Força	
Piso dos Geradores	25 kN/m ²
Piso das turbinas	15 kN/m ²
Áreas de montagem	40 kN/m ²

Nota: Para dimensionamento de vigas e pilares, as sobrecargas serão diminuídas em 20% para pisos com área superior a 30m².



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.3.4.2 Sobrecargas Concentradas Devidas a Equipamentos

Será verificada a necessidade de acrescentar cargas adicionais concentradas, provenientes de equipamentos mais pesados não cobertos pela sobrecarga distribuída do item anterior. Na estimativa dessas cargas, serão consideradas as condições de instalação, montagem e manutenção, bem como os eventuais efeitos de vibração e impacto.

Na área ocupada por equipamento pesado, não haverá superposição com a carga distribuída do item anterior, devendo-se estudar qual o caso mais desfavorável.

8.3.4.3 Pórticos e Pontes Rolantes

Carga Estática Máxima

Na determinação da condição mais desfavorável de carregamento, será feita a combinação do peso próprio com a capacidade nominal de levantamento de carga, devendo esta última ser considerada como aplicada na posição lateral mais extrema possível, a fim de maximizar a reação nas rodas. A posição do pórtico rolante sobre a estrutura será estudada de modo a produzir as solicitações mais desfavoráveis possíveis.

Cargas Dinâmicas

Serão consideradas as seguintes cargas dinâmicas:

Carga de impacto vertical, calculada como sendo 25% da carga máxima nas rodas.

Força transversal horizontal (oscilação), calculada como 20% da resultante da combinação do peso próprio do carrinho com a capacidade nominal de levantamento aplicada e distribuída no topo dos trilhos, em ambas as direções.

Força longitudinal horizontal (frenagem), calculada como 10% da estática máxima nas rodas, aplicadas no topo dos trilhos. As forças longitudinal e transversal não serão combinadas simultaneamente.

8.3.4.4 Cargas Móveis

Para todas as estruturas sujeitas ao tráfego de veículos, serão consideradas as combinações mais desfavoráveis de cargas prescritas nas normas brasileiras NBR-7187 e NBR-7188 para rodovias de classe I e, também, os carregamentos mais desfavoráveis de construção e montagem.

8.3.4.5 Outras Cargas

Serão consideradas, para cada fase de construção, cargas temporárias atuando sobre as estruturas.

Serão previstos guindastes móveis sobre esteiras para auxiliar nas operações de montagem, durante a construção. Serão também previstas cargas resultantes do peso próprio e da operação e manutenção de equipamentos permanentes.

As cargas dos caminhões e dos guindastes móveis serão aumentadas de 20%, no mínimo, para consideração do impacto.

As cargas de equipamentos de construção não serão aplicadas simultaneamente com as do pórtico rolante (superposição na mesma área).

8.3.5 Cargas de Assoreamento

Caso os dados de sedimentometria mostrarem a probabilidade de deposição de sedimentos no fundo do reservatório, junto ao pé de montante do barramento, adotar-se-á o critério a seguir para determinação do empuxo resultante.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

A pressão horizontal de assoreamento será considerada atuando sobre 10% da altura da seção estrutural analisada. O cálculo, para determinar a componente horizontal da carga de assoreamento, será feito através da fórmula de Rankine, desprezando-se a coesão:

$$P_s = \frac{1}{2} \gamma \cdot (h_s)^2 \frac{1 - \text{sen} \phi}{1 + \text{sen} \phi}$$

onde:

P_s = força horizontal de assoreamento kN/m (tf/m)

γ = peso específico do sedimento 9,5 kN/m³ ou
(0,95 tf/m³, submerso)

h_s = altura de cálculo, igual a 0,1 H

ϕ = ângulo de atrito interno, admitindo igual a 23°

H = altura de água

8.3.6 Empuxos Estáticos de Terra e de Enrocamento

Empuxos estáticos ativos de terra e enrocamento serão calculados utilizando-se a teoria de Coulomb para terraplenos homogêneos com talude uniforme, e o método gráfico de Cullman para taludes irregulares ou com sobrecargas não uniformes.

Não será considerada a coesão no cálculo do empuxo.

O valor do empuxo estático é dado por:

$$E_t = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B h^2 K$$

sendo:

γ = peso específico do material

B = largura

h = altura do terrapleno

K = coeficiente de empuxo

Em geral serão utilizados, nos cálculos, empuxo em repouso para muros rígidos tipo gravidade, com fundação em rocha, e empuxo ativo para muros rígidos com fundação em solo ou muros esbeltos com fundação em rocha.

Para o cálculo do Coeficiente de Empuxo em Repouso será empregada a fórmula:

$$K = 1 - \text{sen} \phi$$

8.3.7 Cargas de Vento

Para as cargas de vento, aplicar-se-á o disposto na NBR-6123 suplementada, sempre que necessário, por outras normas autorizadas. Em qualquer caso, porém, estas cargas não deverão ser inferiores a 1,25 kN/m².



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.3.8 Cargas Sísmicas

Nas análises de estabilidade e de tensões das estruturas de concreto massa ou CCR, será prevista a ocorrência momentânea de abalos sísmicos, provocando esforços adicionais nessas estruturas, adotando-se para sua aceleração o valor 0,05 g (g = aceleração da gravidade), para as Condições de Carregamento Limites (vide item 4).

Pelo fato de a área de projeto situar-se em zona de baixa sismicidade, a consideração da carga sísmica será feita de maneira simplificada. Não serão considerados efeitos sísmicos no dimensionamento das estruturas de concreto armado.

8.3.8.1 Efeito do Sismo na Massa de Concreto da Estrutura

a) esforço horizontal $F_{hs} = 0,05 P_c$

b) esforço vertical $F_{vs} = \pm 0,05 P_c$

ambos os esforços atuando simultaneamente.

8.3.8.2 Efeito do Sismo na Massa de Rocha Subjacente

a) esforço horizontal $F_{hs} = 0,05 P_r$

b) esforço vertical $F_{vs} = - 0,05 P_r$

8.3.8.3 Esforços Hidrodinâmicos

Será considerada apenas a componente horizontal do esforço hidrodinâmico da massa d'água de montante, provocado pela aceleração horizontal. Esse esforço poderá ser calculado pela fórmula de Zanger e ábacos correspondentes.

As subpressões atuantes na estrutura e fundação não serão majoradas pelos sismos.

8.3.9 Cargas Hidrodinâmicas

8.3.9.1 Transientes Hidráulicos

Cargas devidas ao fechamento ou abertura de comportas ou válvulas e à partida ou parada de turbinas e bombas devem ser obtidas pela análise de transientes hidráulicos.

A sobrelevação de pressão hidrostática nos condutos forçados será admitida com 30% da altura hidrostática máxima na entrada da caixa espiral, decrescendo linearmente ao longo da projeção horizontal do eixo do conduto forçado até zero, a comporta da tomada d'água.

8.3.9.2 Outras Cargas

Também devem ser considerados os efeitos de cargas hidrodinâmicas em curvas, transições convergentes ou divergentes e em outros casos que ocasionem uma mudança na velocidade ou na direção do escoamento.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.3.9.3 Ação da Temperatura e Retração

Deverão ser adotadas as seguintes variações de temperatura no projeto das estruturas de concreto armado:

- + 10°C em torno da média para elementos estruturais leves expostos;
- + 5°C em torno da média para elementos estruturais pesados ou para elementos estruturais protegidos;
- + 2,5°C em torno da média para peças de grandes dimensões, não expostas ao ar livre.

Os efeitos da retração para estruturas leves de concreto armado devem ser admitidos como equivalentes a uma queda de 15°C na temperatura.

A determinação da armadura será feita, em cada caso, através de análises que considerem as características térmicas e de fluência do concreto.

8.3.10 Ação do Calor de Hidratação

Os valores das tensões de tração provocadas pelo resfriamento após a geração do calor de hidratação, serão definidos com base na altura das camadas de concretagem, no intervalo de tempo de lançamento e na temperatura do concreto no instante da concretagem.

8.4 Condições de Carregamento

8.4.1 Geral

A estabilidade das estruturas será analisada para as seguintes classes de carregamento:

Condições de Carregamento Normais (CCN) - Abrangendo todas as combinações de carga possíveis durante a operação normal e manutenção de rotina, sob condições hidrológicas médias;

Condições de Carregamento Excepcionais (CCE) - Abrangendo as combinações de carga possíveis, entretanto estatisticamente infrequentes, durante a operação e durante os trabalhos principais de manutenção;

Condições de Carregamento Limites (CCL) - Abrangendo as combinações altamente improváveis de eventos excepcionais durante os períodos de construção e de operação, devido a sobrecarregamentos, enchentes catastróficas, mau funcionamento de equipamentos e erros humanos.

Condições de Carregamento de Construção (CCC) - Abrangendo as combinações possíveis de carregamento dos equipamentos de construção, cargas temporárias para a instalação e montagem de equipamentos e operação de estruturas incompletas.

8.4.2 Condições de Carregamento Normais (CCN)

Incluirão as cargas indicadas no item 3, particularmente nas seguintes condições:

- Subpressões, considerando-se o sistema de drenagem sempre operante;
- Efeito sísmico desprezado;
- Condições médias de temperatura, quando considerada.

8.4.3 Condições de Carregamento Excepcionais (CCE)

Incluirão as cargas de projeto indicadas no item 3, particularmente nas seguintes condições:

- Subpressões, considerando-se o sistema de drenagem operante;
- Efeito sísmico desprezado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.4.4 Condições de Carregamento Limites (CCL)

Incluirão as cargas de projeto indicadas no item 3, particularmente nas seguintes condições:

- Subpressões, considerando-se o sistema de drenagem operante;
Carga sísmica correspondente a 0,05g.
- Subpressões, considerando-se o sistema de drenagem inoperante;
Efeito sísmico desprezado.

8.4.5 Condições de Carregamento de Construção (CCC)

Incluirão, entre outros, os seguintes casos:

- Condições normais de carregamento em estruturas incompletas, conforme for apropriado a cada caso em particular;
- Cargas de equipamentos de construção e de montagem;
- Cargas devidas a ancoragens provisórias para guinchos, guindastes ou dispositivos de levantamentos de carga ou similares;
- Pressões de injeção em juntas e revestimento;
- Pressões de concretagens contra estruturas;
- Cargas móveis excepcionais, devidas à movimentação e montagem de equipamentos;
- Cargas devidas a testes de equipamentos permanentes;
- Cargas hidrostáticas e subpressões anormais, devidas a esvaziamentos temporários.

8.4.6 Condições Adicionais

No dimensionamento das estruturas poderão ser adotadas condições de carregamento adicionais, para levar em conta situações acidentais e específicas.

8.5 Estruturas de Concreto

8.5.1 Análises de Estabilidade

8.5.2 Geral

As análises de estabilidade deverão abranger todos os elementos estruturais, sob todas as condições de carregamento, de modo a garantir:

- A segurança ao deslizamento, em qualquer plano da fundação e do contato estrutura-fundação;
- A segurança à flutuação;
- A segurança ao tombamento ou a verificação de que as tensões de tração e de compressão não ultrapassem os valores admissíveis especificados.

8.5.2.1 Verificação da Segurança ao Deslizamento

A segurança ao deslizamento das estruturas será verificada através do cálculo do Fator de Segurança ao Deslizamento (FSD), de acordo com a seguinte fórmula:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

$$FSD = \frac{(\sum F_v - U) \left(\frac{tg\phi}{\gamma\phi} \right) + \left(\frac{c}{\gamma c} \right) \cdot A}{\sum F_h}$$

onde:

ΣF_v = somatória de todas as forças ativas (não incluindo-se a subpressão), normais à superfície de deslizamento;

U = força resultante das subpressões;

tg ϕ = coeficiente de atrito ao longo da superfície de deslizamento;

$\gamma\phi$ = $\chi\omega\epsilon\phi\chi\iota\epsilon\nu\tau\epsilon$ δε μινορα| ©ο δα ρεσιστ| νχια ρελατιπο αο ατριτο;

c = coesão média efetiva ao longo da superfície de deslizamento;

γc = coeficiente de minoração de resistência relativo à coesão;

A = área efetiva comprimida no contato de deslizamento.

Serão adotados os seguintes valores de $\gamma\phi$ e γc para as condições de carregamento já definidas, aplicados a valores conservativos das resistências (correspondendo ao quantil de 5%, no caso de número grande de dados):

	CCN	CCE	CCL	CCC
$\gamma\phi$	1,5 (1,4)	1,3	1,1	1,3
γc	4,0 (3,0)	3,0	2,0	3,0

Os valores entre parênteses indicados na tabela acima referem-se à condição de bom conhecimento dos parâmetros de resistência.

Em princípio, a colaboração da rocha a jusante não será levada em conta, sendo considerada como margem de segurança. Em casos específicos, essa colaboração poderá ser considerada na forma de um empuxo passivo mobilizado, minorado pelos coeficientes $\gamma\phi$ e γc , desde que seja analisado o comportamento global do conjunto estrutura - fundação e sejam obedecidas as deformações admissíveis desse conjunto.

Nos casos de análises de estabilidade ao longo da descontinuidade da fundação, será admitida a existência de fissura vertical, junto ao pé de montante da estrutura, aprofundando-se até o nível da descontinuidade, ao longo da qual atua a pressão hidrostática total. Casos particulares, em que a descontinuidade localizar-se muito abaixo do nível de escavação, serão definidos através de estudos específicos.

8.5.2.2 Verificação da Segurança à Flutuação

A segurança à flutuação é definida pela relação entre a somatória das forças gravitacionais e a força de subpressão, através do coeficiente de segurança seguinte:

$$\gamma f = \Sigma F_v / U$$



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Nas análises, as forças gravitacionais deverão incluir as cargas permanentes mínimas das estruturas, o peso próprio do equipamento permanente, se instalado, e de lastros (água ou aterro), se utilizados durante determinados estágios de construção, desprezando-se qualquer contribuição devida à coesão e ao atrito lateral entre paredes adjacentes. Todas as cargas acidentais não permanentes deverão ser desconsideradas. Serão adotados os seguintes valores mínimos de γ_f para as condições de carregamento já definidas:

	CCN	CCE	CCL	CCC
γ_f	1,2	1,1	1,1	1,1

8.5.2.3 Verificação da Segurança ao Tombamento

A segurança ao tombamento é definida pela relação entre o momento estabilizador e o momento de tombamento, referido a uma linha de rotação estabelecida:

$$\gamma_t = M_{estab}/M_{tomb}$$

A verificação ao tombamento não será aplicada para as estruturas maciças principais; será aplicada só para as estruturas secundárias ou esbeltas.

Serão adotados os seguintes valores de γ_t para as condições de carregamento definidas:

	CCN	CCE	CCL	CCC
γ_t	1,5	1,4	1,2	1,3

8.5.3 Análise de Tensões

8.5.3.1 Geral

As análises de tensões serão executadas para todas as estruturas de concreto massa, fundações e elementos de concreto armado, atendendo às condições de carregamento específicas, com o objetivo de verificar, onde for aplicável:

segurança contra ruptura estrutural ou deformação excessiva;

níveis médios de tensões, distribuição de tensões e tensões máximas localizadas;

atendimento quanto aos níveis de tensões admissíveis.

8.5.3.2 Tensões Admissíveis no Terreno de Fundação

A tensão admissível no terreno será obtida a partir da seguinte relação:

$$\sigma_{adm} = \frac{\text{resistência à compressão}}{\text{coeficiente de segurança}}$$

A resistência à compressão da fundação será determinada a partir dos resultados dos ensaios *in situ* e de laboratório realizados.

Os coeficientes de segurança a serem adotados serão os seguintes:

Condição de Carregamento	Coefficiente de Segurança
Normal	4,0
Excepcional	2,7



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Limite

1,3

Em casos particulares poderá ser adotada a verificação através do círculo de Mohr, como mencionado no item 5.2.4.3.

8.5.3.3 Análise de Tensões para Concreto Estrutural

As análises de tensões para o concreto estrutural (armado) seguirão os métodos prescritos nas Normas, os quais serão suplementados por novas diretrizes e/ou critérios específicos, utilizados pela Projetista no decorrer do desenvolvimento do projeto. Os resultados dos ensaios em modelos estruturais, físicos ou matemáticos, sempre que forem aplicáveis, serão levados em consideração.

8.5.3.4 Análise de Tensões em Estruturas de Concreto Massa ou CCR

Geral

As análises de tensões para as estruturas de concreto massa seguirão o método clássico baseado na conservação das seções planas e no equilíbrio geral entre as forças solicitantes e as resultantes das tensões (distribuídas linearmente). Entretanto, o método clássico deverá, sempre que for necessário, ser suplementado através de estudos especiais efetuados em modelos matemáticos.

As análises de tensões em corpos maciços deverão incluir, onde forem aplicáveis, os efeitos de retração e temperatura, o peso das massas superpostas e os efeitos dos diagramas de subpressão especificados.

Verificação pelo Método das Tensões Admissíveis

Em geral, as tensões principais I e II atuantes nas estruturas de concreto massa deverão obedecer aos seguintes limites:

Para compressão: f_{ck}/γ

Para tração: f_{tk}/γ

com: $\gamma = 3,0$ (CCN), $2,0$ (CCE) e $1,0$ (CCL).

- Verificação pelo Círculo de Mohr

Em casos particulares poderá ser adotada a verificação através do círculo de Mohr, analisando-se o estado duplo de tensões em relação à envoltória dos círculos resistentes para o material em questão. Para esta envoltória, pode ser adotada a reta de Coulomb.

- Verificação das Tensões na Face de Montante das Estruturas

Para a verificação das tensões na face de montante das estruturas aplicar-se-á o seguinte critério:

A tensão na face de montante da barragem, para a seção considerada, calculada sem levar em conta a supressão interna, deverá ser igual ou superior à tensão normal vertical mínima determinada através da expressão abaixo, a qual considera a tensão admissível à tração do concreto na junta entre as camadas de concretagem:

$$\sigma_{v,\min} = \eta \cdot \gamma_a \cdot \sigma_{t,\text{adm}}$$

onde,

$\sigma_{v,\min}$ = tensão normal vertical mínima na face de montante



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

η = fator de redução que leva em conta a existência de drenos

γ_a = peso específico da água

h = profundidade da seção considerada, em relação ao nível d'água do reservatório

σ_t, adm = tensão admissível à tração do concreto, nas juntas

Será adotado $\eta = 1,0$ quando não existirem drenos (ou estes forem considerados inoperantes); quando existirem drenos será adotado $\eta = 0,4$.

A tensão admissível à tração do concreto, σ_t, adm , será obtida através da resistência característica do concreto à tração f_{tk} , afetada do coeficientes de minoração γ abaixo indicados:

$\gamma = 3,0$ para a condição de carregamento normal

$\gamma = 2,0$ para a condição de carregamento excepcional

$\gamma = 1,0$ para a condição de carregamento limite

Como critério geral adotar-se-á para a resistência característica f_{tk} , nas juntas de concretagem, 50% do valor correspondente à resistência característica do concreto fora da junta (U.S Army Engineer Waterways Experiment Station, Technical Report nº 6-8518, July 1959).

Para a resistência à tração na junta entre a estrutura e a fundação será admitido o mesmo valor adotado para as juntas entre as camadas de concretagem.

Para as condições de carregamento normais $\sigma_{v, min}$ não deverá ser inferior a zero. Deve-se admitir a ocorrência de trinca na face da montante da seção considerada, quando a tensão calculada nesta face for menor que $\sigma_{v, min}$, obtida da expressão do item 5.2.3.4 com coeficiente de minoração $\gamma = 1,0$, para as condições de carregamento limites.

A estrutura será considerada segura, para estas condições de carregamento, se após a trinca ter sido incluída, as tensões na estrutura não ultrapassarem os valores especificados e for mantida a estabilidade ao deslizamento, considerando-se apenas a região não trincada.

Os valores de subpressões na fissura deverão ser admitidos nulos quando a abertura desta for provocada por sismo.

8.5.4 Dimensionamento Estrutural

Em todas as peças esbeltas de concreto estrutural o dimensionamento será feito pelo método dos estados limites últimos, de acordo com a NBR- 6118, capítulo 4. Entretanto, para estruturas de grandes dimensões, que são geralmente fracamente armadas, a armadura mínima será determinada em função das tensões em serviço do aço.

8.5.5 Disposições Construtivas

8.5.5.1 Armadura Contra Retração

A armadura mínima dos elementos de concreto será determinada para resistir a eventuais tensões devidas à retração ou para diminuir a abertura de fissuras por ela provocadas.

Nos casos especiais, não previstos nas normas brasileiras, deverão ser utilizadas as armaduras mínimas especificadas a seguir:

- Lajes Expostas Concretadas Contra a Rocha

As lajes devem ser consideradas inteiramente fixas na rocha, requerendo armação somente na face superior. A armadura mínima na face exposta deverá ser adotada igual a 0,2 % da área de concreto nas duas direções, mas não mais que os seguintes valores:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Ø 25 mm cada 30 cm (16,6 cm²/m) para lajes expostas a fluxo d'água;
- Ø 20 mm cada 30 cm (10,5 cm²/m) para lajes expostas a pressões de percolação;
- Paredes Executadas Contra a Rocha

As superfícies expostas deverão ser armadas contra as tensões de retração decorrentes da fixação produzida pela superfície da rocha. Na face exposta deverá ser adotada uma taxa de 0,25%, não maior que uma barra de Ø20 mm cada 30 cm, em cada direção.

Para a armação da face em contato com a rocha, será adotada uma taxa mínima de 0,15%, não maior que uma barra de □20 mm cada 30 cm em cada direção, exceto nos casos especiais onde se tenha ancoragem na rocha.

- Paredes do Primeiro Estágio de Construção

As paredes do primeiro estágio de construção, as quais receberão o concreto de segundo estágio, a ser colocado posteriormente, serão armadas com um mínimo de uma barra de Ø20 mm cada 30 cm, em cada direção e em ambas as faces.

- Paredes Expostas à Água

Onde a impermeabilidade se fizer necessária, será adotada uma taxa mínima de 0,25% da seção de concreto, em cada direção e em cada face, com um máximo de uma barra de Ø32 mm cada 30 cm.

8.5.5.2 Juntas de Contração e de Construção

- Juntas de Contração

Serão especificadas em todos os casos onde for desejável assegurar a ação independente de estruturas adjacentes ou de partes das estruturas, a fim de limitar as tensões de retração e o aparecimento de fissuras.

- Juntas de Construção

Serão especificadas nos desenhos de formas e de armação. O posicionamento das juntas de construção será governado pela conveniência construtiva, redução da retração e alturas nominais das camadas.

8.5.5.3 Vedajuntas

Serão do tipo *fugenband* e especificados em todos os desenhos onde a estanqueidade das juntas for necessária.

Cobrimento da Armadura

Serão adotados os seguintes cobrimentos mínimos para as barras da armadura:

vigas e lajes internas: 2 cm;

elementos secundários em contato com água, rocha ou terra: 3 cm;

lajes e paredes em contato com água em alta velocidade: 10 cm.

Em qualquer caso, o cobrimento será no mínimo igual ao diâmetro da barra.

8.6 Barragem, Diques e Ensecadeiras

8.6.1 Análises de Estabilidade

As análises de estabilidade dos maciços da barragem, diques e ensecadeiras serão processadas pelo método do equilíbrio limite, considerando-se superfície de escorregamento



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

cilíndrica ou plana, dependendo das condições geométricas e geotécnicas da estrutura e da fundação.

As análises serão processadas para as condições de final de construção e de funcionamento, com o reservatório em seu nível máximo maximorum, exceção feita aos maciços das ensecadeiras que serão analisadas para as condições de final de construção, de funcionamento com o nível d' água máximo de desvio e de rebaixamento instantâneo. Somente serão realizadas análises estáticas.

Os coeficientes de segurança (cs), requeridos para o solo, quando a superfície de escorregamento ficar totalmente contida em solo, serão em ordem de grandeza, os indicados abaixo, para as envoltórias de resistência, em cada caso, obtidas através dos ensaios correspondentes ao valor médio:

Condição	cs
Final de construção	1,4
Rebaixamento rápido	1,3
Funcionamento	1,2

Dessa forma, como os coeficientes de segurança exigidos são diferentes para solo e enrocamento, as análises de estabilidade serão realizadas da seguinte forma:

- Solo

Envoltória de resistência a adotar : $s = c/Fs1 + \sigma (tg \phi)/Fs1$, onde

Fs1= coeficiente de segurança de solo

- b) Enrocamento

Envoltória de resistência a adotar : $s = \sigma (tg \phi)/Fs2$, onde

Fs2 = coeficiente de segurança do enrocamento

Dessa forma, na análise de estabilidade, será requerido o coeficiente de segurança global $fs > 1,0$.

8.6.2 Análises de Percolação

As análises de percolação serão realizadas através do traçado manual de redes de fluxo ou eventualmente utilizado o método dos elementos finitos. Os resultados dessas análises serão utilizadas para o dimensionamento do sistema de drenagem interna da barragem, diques e ensecadeiras. Os coeficientes de segurança serão aplicados diretamente em cada coeficiente de permeabilidade, sendo adotados valores de acordo com a variabilidade de cada parâmetro envolvido e estudado caso a caso.

8.6.3 Análises de Recalques

As análises de recalques serão efetuadas com o uso da Teoria de Terzaghi, a partir de resultados de ensaios e de dados de instrumentação obtidos de obras similares.



9 . REFERÊNCIAS

Bishop, A.W. (1955). "The use of slip circle in the stability analysis of slopes", *Geotechnique* 5, pp 7-17.

Brooker, E.W., Ireland, N.O. (1965) "Earth pressures at rest related to stress history". *Canadian, Geotechnique J.Z.*, 1-15.

Cedergren, H.R. - "Seepage, Drainage and Flow Nets".

CHOW, Ven Te - "Open Channel Hydraulics"

Coulomb, C.A. (1776) "Essai sur une Application des Règles des maximis et minimis à quelques Problèmes de Statique Relatifs à l'Architecture". *Mém. Acad. Roy des Sciences*, Paris, 3.

CREAGER & JUSTIN - *Hydroelectric Handbook*

Culmann, C. (1875). "Die graphische Statik". Zurich, Meyr and Zeller

DAVIS & SORENSEN - "Handbook of Applied Hydraulics" - McGraw-Hill Book Company - Third Edition.

GORDON J.L. - "Vortices at Intakes", *Water Power*, April, 1970.

Head Quarters, Department of Army - Office of the Chief of Engineers - "Hydraulic Design of Reservoir Outlet Structures"

Ingold, T.S. (1979), "The effects of compaction on retaining walls". *Geotechnique*, vol.29, n°. 3

IZBASHI, S.V., KHALDARE, Kh, Yu - "Hydraulics of River Channel Closure".

Jáky, J. (1936) "Stability of earth slopes" *Proc. Ist Int. Conf. Soil Mech. Found Eng.* Cambridge, Mass.

Krey, H. and Ehrenberg (1936), "Erddruck Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes", Berlin, W. Ernst, 5, Aufl.

LENCASTRE, A - "Manual de Hidráulica Geral"

LEVIN, L. - "Formulaire des Conduites Forcées, Oléoducs et Conduits d'Aération"

Manual de Irrigação - Ministério da Integração Regional - Secretaria de Irrigação, 1993.

PETERKA, A.J. - U.S. Bureau of Reclamation - Eng. Mon. N. "Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators"

Rankine, W.J.M. (1857). "On the Stability of Loose Earth", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, vol. 147

SAVILLE, T. Jr., McCendon, EW. & Cochran, A.L. - "Freeboard Allowances for Waves in Inland Reservoir" - Paper 3138 - *Journal of the Waterways and Harbors Division - Proceedings ASCE* Vol. 88 - N.WW2 - May 1962.

SOP - Sistema de Orçamentos para Projeto e Obras da CODEVASF - março 1997.

Spangler, M.G. e Handry, R.L. (1973) - "Soil Engineering".

Spencer, E (1967) "A Method of Analysis of Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces", *Geotechnique*, vol. 17, n°. 1.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Taylor, Karl (1973) "Slope Protection on Earth and Rockfill Dams" - ICOLD, Madrid, 1973.

U.S. Army Corps of Engineers - "Wave in Inland Reservoirs" (Summary Report on Civil Works Investigation Project CW-164 and CV-165). Beach Erosion Board - Technical Memorandum N. 132 - November, 1962B.

U.S. Bureau of Reclamation - Design of Small Dams

U.S. Bureau of Reclamation - Design Standard n. 6

U.S. CORPS OF ENGINEERS - "Hydraulic Design Criteria" ZANGAR, C.N. - U.S. Bureau of Reclamation - Eng. Mon. N. 11 - "Hydrodynamic Pressures on Dams due to Horizontal Earth-Quake Effects" - May 1952.