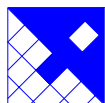




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



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 III – EIXO NORTE
R3 – USINAS HIDRELÉTRICAS**



**TRECHO III – EIXO NORTE
R3 – USINAS HIDRELÉTRICAS**

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

PROJETO BÁSICO

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Ministro de Estado da Integração Nacional: Ciro Ferreira Gomes

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

Secretário de Infra-Estrutura Hídrica: Hypérides Pereira de Macêdo

Coordenador Geral: João Urbano Cagnin

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor: Luiz Carlos Moura Miranda

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

São José dos Campos, setembro de 2003

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE

Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico; Trecho III – Eixo Norte – R3 – Usinas Hidrelétricas. - São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2003.

36 p

1. Transposição de Águas
- I. Trecho III - Eixo Norte – R3 – Usinas Hidrelétricas.

CDU 556.18

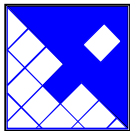
FUNCATE:

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

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 3925 1399 Fax: (0XX 12) 3941 2829



FUNCATE

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

Projeto	RAA, RGV, AAS, GLM, AYE, CRML, JCD, BDL, SC	Data SET/2003
Verificação	RAA	Data SET/2003
Aprovação	ACAV	Data SET/2003
Aprovação	JAVM	Data SET/2003
Código FUNCATE	EN.B/III.RF.GR.0003	



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Verificação		Data
Aprovação		Data

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

PROJETO BÁSICO

**TRECHO III - EIXO NORTE
R3 - USINA HIDRELÉTRICAS**

**Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco
para o Nordeste Setentrional**
Projeto Básico

Equipe

José Armando Varão Monteiro: Gerente

Antônio Carlos de Almeida Vidon: Coordenador Técnico

Ricardo Antônio Abrahão: Coordenador Técnico Adjunto

Geversson Luiz Machado: Chefe da Equipe de Geotecnia
Clóvis Ribeiro de Moraes Leme: Engenheiro

Aloysio Accioly de Senna Filho: Chefe da Equipe de Geologia

Rafael Guedes Valença: Chefe da Equipe de Hidráulica
Anibal Young Eléspuru: Engenheiro

José Carlos Degaspare: Chefe da Equipe de Estrutura

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

Bernd Dieter Lukas: Chefe da Equipe de Engenharia Mecânica

Sidnei Collange: Chefe da Equipe de Engenharia Elétrica

Equipe de Produção

Antonio Carlos Cunha Aguiar – Projetista

Antonio Muniz Neto – Projetista

Leandro Eboli – Projetista

João Luiz Bosso – Projetista

Laryssa Lillian Lopes – Técnica em Geoprocessamento

Mônica de Lourdes Sampaio – Desenhista Projetista

Infra Estrutura e Apoio

Ana Julia Cristofani Belli – Secretária

Célia Regina Pandolphi Pereira – Assistente Adm. Especializada

Andréa Marques Moraes – Aux. Administrativo

Maria Aparecida de Souza – Servente

Consultor

Luiz Antonio Villaça de Garcia



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R3 – USINAS HIDRELÉTRICAS, parte integrante do **Projeto Básico do Trecho III – Eixo Norte**, 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/SEPPE – 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 III – Eixo Norte** compõe-se dos seguintes relatórios:

- R1 Descrição do Projeto
- R2 Critérios de Projeto
- R3 Usinas Hidrelétricas
- R4 Sistema Adutor
- R5 Sistema de Drenagem
- R6 Bases Cartográficas
- R7 Geologia e Geotecnia
- R8 Estudos Hidrológicos
- R9 Sistema de Supervisão
- R10 Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional
- R11 Sistema Elétrico
- R12 Canteiros e Sistema Viário
- R13 Cronograma e Orçamentos
- R14 Dossiê de Licitação
- R15 Memoriais de Cálculo
- R16 Linhas de Transmissão
- R17 Caderno de Desenhos



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

ÍNDICE	PG
1 . OBJETO E OBJETIVO.....	1
2 . INTRODUÇÃO	1
3 . UHE SALGADO I	2
3.1 Aspectos Hidráulicos	2
3.1.1 Níveis Operacionais e Vazão	2
3.1.2 Determinação da potência	2
3.2 Aspectos Geológicos e Geotécnicos.....	3
3.3 Tomada d' Água	3
3.3.1 Características Gerais	3
3.3.2 Equipamentos Mecânicos da Tomada d'Água.....	4
3.4 Túnel de Adução	5
3.5 Conduitos Forçados Metálicos.....	5
3.5.1 Transitórios Hidráulicos.....	6
3.6 Casa de Força	8
3.6.1 Equipamentos Mecânicos.....	10
3.7 Canal de Fuga	18
4 . UHE SALGADO II	18
4.1 Aspectos Hidráulicos	18
4.1.1 Níveis Operacionais e Vazões	18
4.1.2 Determinação da Potência	18
4.2 Aspectos Geológicos e Geotécnicos.....	19
4.3 Câmara de Carga e Tomada d'Água.....	19
4.3.1 Características Gerais	19
4.3.2 Estruturas Civas	19
4.3.3 Estruturas anexas.....	20
4.3.4 Equipamentos Mecânicos da Tomada d'Água.....	20
4.4 Conduto Forçado Metálico.....	21
4.4.1 Transitórios Hidráulicos.....	22
4.5 Casa de Força	24
4.6 Equipamentos Mecânicos.....	25
4.7 Canal de Fuga	28
5 . EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DAS USINAS E SUBESTAÇÕES	28
5.1 Equipamentos de Proteção das Unidades Geradoras e Subestações	33
5.2 Equipamentos de Comando e Controle das Usinas Hidrelétricas e Subestações.....	33
5.3 Equipamentos de Telecomunicação.....	35



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

1 . OBJETO E OBJETIVO

O objeto deste relatório é o Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco Para o Nordeste Setentrional - Trecho III – Eixo Norte; seu objetivo é o Projeto Básico das obras hidráulicas do sistema de geração instaladas entre o reservatório Caiçara e a UHE de Salgado II.

2 . INTRODUÇÃO

As usinas hidrelétricas que compõem o Trecho III foram denominadas Salgado I e Salgado II cuja disposição está esquematicamente mostrada na **Figura 2.1**, que mostra todo o sistema desde a captação no rio São Francisco até os pontos de entrega nos vários trechos.

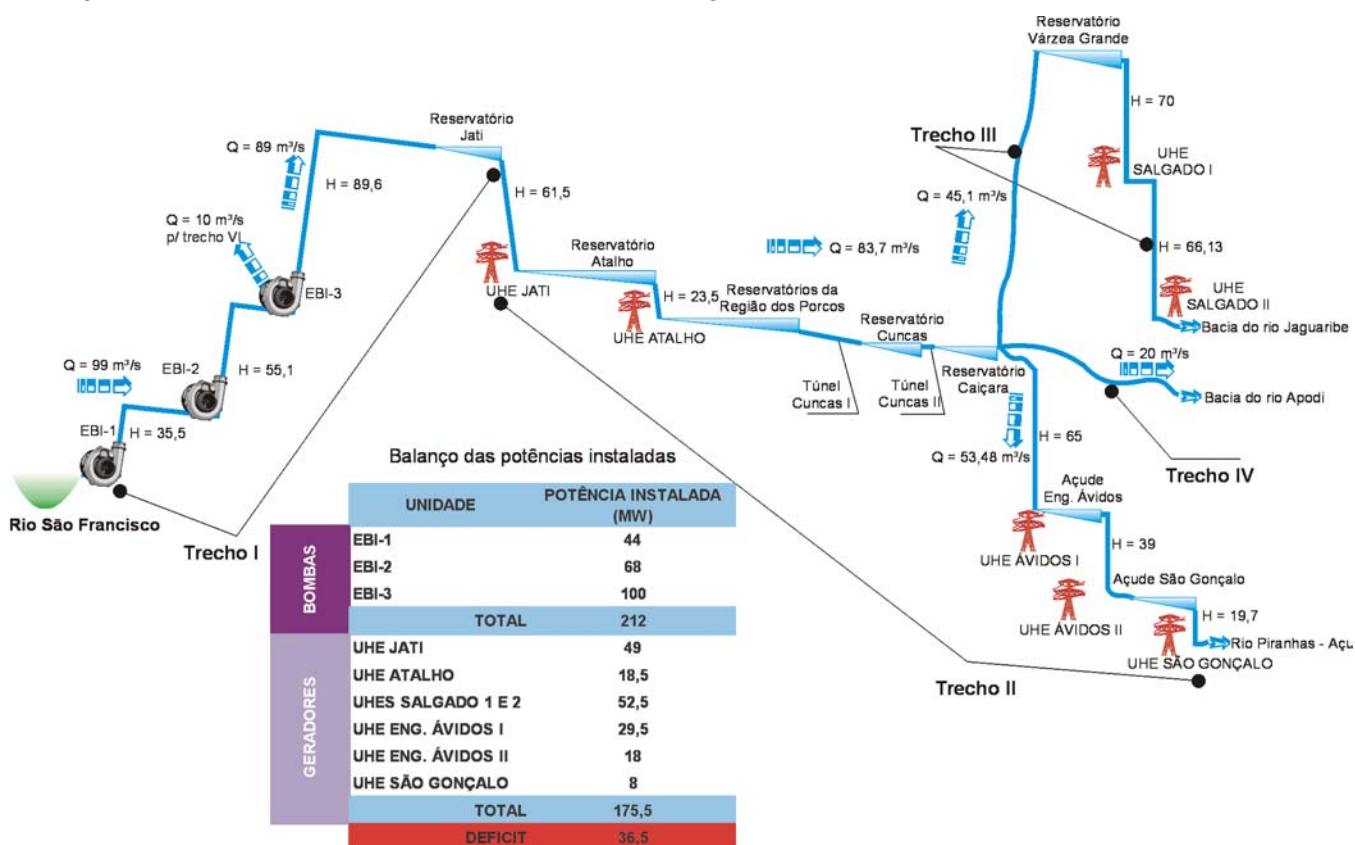


Figura 2.1 Balanco das potências instaladas

O sistema adução dessas usinas corre à meia encosta da Serra do Amaro e foi objeto de estudo de alternativas visando a instalação de uma ou duas casas de força como mostrado no relatório “Otimização Energética dos trechos II e III”, EN.V/G.RF.GR.0001 da FUNCATE. A alternativa com duas usinas otimiza os problemas construtivos do canal que, no outro caso, teria um traçado em cotas superiores na serra, onde a inclinação da encosta é muito íngreme.

As usinas hidrelétricas têm um enfoque diferente das usinas convencionais, pois privilegia a redução do consumo de energia do sistema integrado e operam de acordo com a hidrologia das demandas de suprimento e em paralelo exclusivo com o funcionamento das bombas de recalque do Trecho I. Dessa forma, sua viabilidade foi considerada em conjunto com todo o sistema da Transposição e a energia gerada será contabilizada com custo operacional evitado.

Como conseqüência, a operação hidráulica dos canais e reservatórios no trecho foi modificada para atender simultaneamente a dois critérios relativos ao atendimento das demandas de suprimento



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

hídrico e à maximização de energia gerada. Os estudos hidrológicos mostram que o conceito da sinergia hídrica fica preservado com esta modificação de operação.

Para a garantia dessa operação hidráulica foi necessária a adoção de usinas hidrelétricas com potência instalada por máquina, diferentes em uma mesma usina, de forma a criar condições flexíveis de atendimento das variações de vazão de suprimento. Conseqüentemente, o Trecho III terá capacidade para suprir desde alguns poucos metros cúbicos por segundo até a vazão total prevista da ordem de 45 m³/s.

3 . UHE SALGADO I

O circuito de adução inicia-se junto à futura barragem Várzea Grande. A tomada d'água localiza-se em uma elevação topográfica à direita da barragem e continua por um túnel adutor, e a ramificação de adução à Casa de Força, onde serão instaladas quatro unidades geradoras até uma válvula dispersora.

3.1 Aspectos Hidráulicos

O sistema Salgado I tem o seu início na margem direita da barragem de Várzea Grande que será de enrocamento com face de concreto. O reservatório correspondente apresenta também um vertedouro livre na margem direita, junto à barragem e dois diques na margem esquerda. O sistema adutor de geração é composto por uma tomada d'água, túnel de adução que se direciona à casa de força e à válvula dispersora.

A vazão afluyente é de 45,1 m³/s que corresponde à parte da vazão direcionada ao Trecho III a partir do reservatório de Caiçara. O desnível entre o nível d'água normal do reservatório e o nível d'água normal a jusante da barragem é de 70 m.

3.1.1 Níveis Operacionais e Vazão

Os níveis operacionais de Salgado I são os seguintes:

– NA máx.máx.....	383,13 m
– NA normal.....	380,25 m
– NA mínimo.....	377,35 m
– NA normal a jusante.....	310,25 m
– Vazão máxima da transposição.....	45,1 m ³ /s

A cota do topo da barragem Várzea Grande é 384 m. O Vertedouro tem um comprimento de 45 m e funcionará com uma altura d'água máxima de 0,25 m, correspondente ao escoamento da vazão de 10,10 m³/s.

3.1.2 Determinação da potência

A potência da futura usina foi determinada para a vazão de 45,1 m³/s e altura geométrica de 70 m, resultando uma potência instalada total de 27 MW, adotando-se quatro unidades turbo-geradoras de eixo horizontal tipo Francis, cada uma com uma válvula borboleta a montante, gerador à direita e câmara de sucção à esquerda, com as seguintes potências instaladas:

UNIDADE	POTÊNCIA(MW)
1	9
2	9
3	6
4	3



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.2 Aspectos Geológicos e Geotécnicos

O túnel de adução e a casa de força deste aproveitamento hidrelétrico serão implantados em um maciço de rocha gnáissica.

Na área de emboque a escavação se iniciará no domínio de rocha pouco alterada e extremamente fraturada, por uma extensão de aproximadamente 25 m seguindo-se rocha sã a partir daí, enquanto que o desemboque situa-se em rocha sã medianamente fraturada.

A área prevista para a implantação da casa de força apresenta uma cobertura de solo com espessura variando de 1 a 3 m sobre um maciço de rocha gnaissica medianamente alterada, muito a extremamente fraturada.

Detalhes das área de implantação da casa de força e do túnel de adução estão descritos no relatório R7-Geologia e Geotecnia, itens 6.5.1 e 6.6.2 respectivamente.

3.3 Tomada d' Água

3.3.1 Características Gerais

A tomada d'água de emboque do túnel adutor estará localizada à direita da barragem, com fundação na cota 367 m.

Será constituída por um bloco de 8,1 m de largura e 16,95 m de altura máxima, tendo a crista na cota 384 m, conforme pode ser observado na **Figura 3.1**.

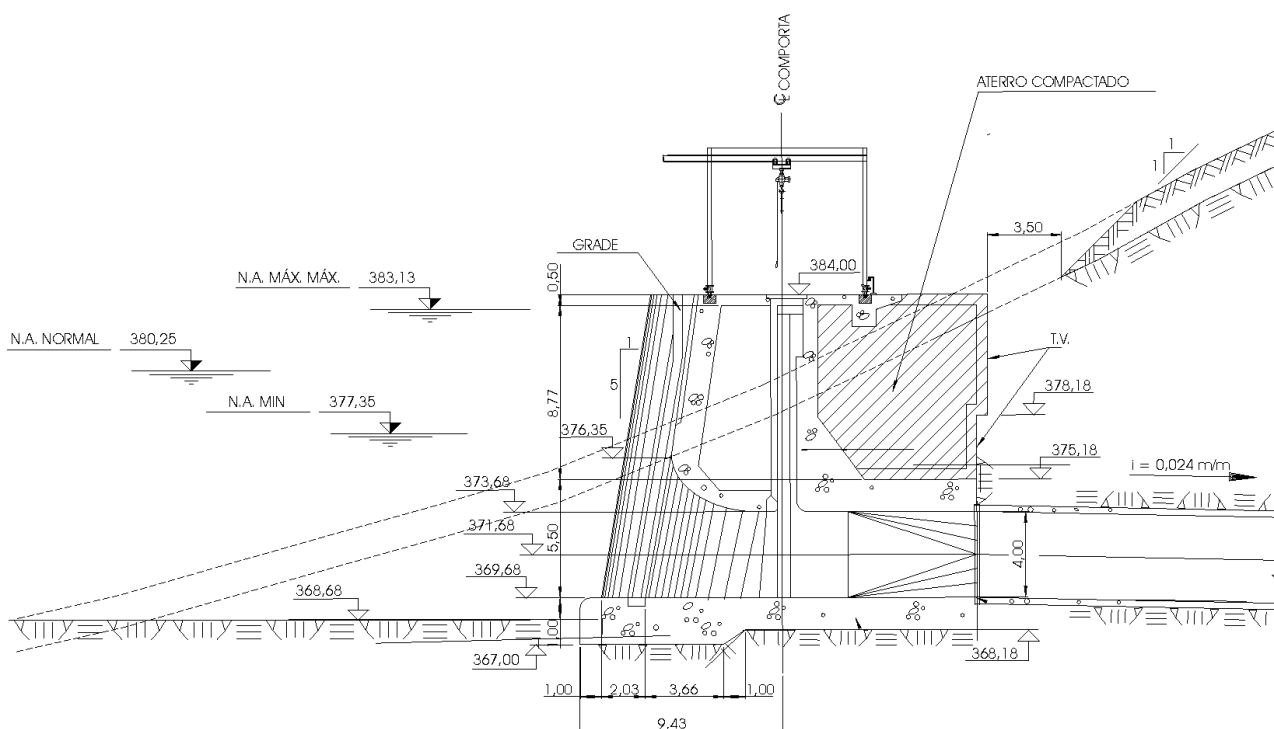


Figura 3.1 – Tomada D'Água Salgado I

A entrada terá 5,5 m de largura e 6,8 m de altura. O paramento de montante terá a inclinação de 5V:1H.

As cotas 369,68 m e 376,35 m, respectivamente da soleira e do topo da boca da entrada da tomada d'água, foram definidas considerando-se as condições hidráulicas, para aduzir uma vazão de 45,1 m³/s para quatro unidades geradoras, ou uma válvula dispersora.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

No interior da tomada d'água estão localizadas as ranhuras da comporta vagão de emergência, bem como a transição em concreto, na qual a seção quadrada de 4 m de lado se transformará em seção circular de 4 m de diâmetro. A partir daí inicia-se um trecho subhorizontal com inclinação de 0,024 m/m escavado em rocha, de aproximadamente 140 m de comprimento e de seção circular que, após o revestimento de concreto armado, ficará com seção de 4 m de diâmetro.

O arranjo geral da tomada d'água está mostrado no desenho EN.B/III.DS.GT.0031 (página 119 do caderno de desenhos), e seu detalhe no desenho EN.B/III.DS.GT.0033 (página 120 do caderno de desenhos).

Para a estrutura da tomada d'água foi adotada a classe de concreto B, que terá resistência característica $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias.

3.3.2 Equipamentos Mecânicos da Tomada d'Água

A tomada d'água terá painéis de grades e comporta ensecadeira com rodas, instaladas em ranhuras de operação a montante.

Cada painel de grade terá uma altura de 2,31 m e uma largura de 6,5 m, sendo instalados três painéis em uma única ranhura.

Os painéis serão de construção metálica do tipo removíveis, sendo a movimentação efetuada através de uma viga pescadora, provida de mecanismo de engate e desengate automático acionada por meio do gancho de uma talha, instalada sob uma monovia montada no pórtico da tomada d'água, cujas características são:

Número de vãos da tomada	1
Número de painéis por vão	3
Largura livre	5,5 m
Altura livre	6,8 m
Elevação da soleira	369,68 m
Elevação da borda superior das grades	376,35 m
Elevação do topo das peças fixas	384 m
Inclinação das grades	11,31° com a vertical
Espaçamento entre barras	80 mm

A comporta ensecadeira da tomada d'água terá por função principal possibilitar a inspeção ou manutenção do túnel de adução e conduto forçado. Haverá um único tabuleiro de comporta ensecadeira, formado por um painel. A movimentação da comporta ensecadeira será efetuada através de uma viga pescadora, provida de mecanismo de engate e desengate automático acionada por meio do gancho da mesma talha utilizada para a movimentação dos painéis das grades, instalada sob uma monovia montada no pórtico da tomada d'água.

A movimentação poderá ser feita em desequilíbrio de pressões, e o painel da comporta ensecadeira será dotado de rodas para permitir o corte do fluxo da água, para fechamento da adução em uma emergência. A vedação e encosto da comporta será a jusante da ranhura de operação.

São as seguintes as suas características principais:

Vão livre	4 m
Altura livre	4 m
Elevação da soleira	369,68 m
Elevação da borda superior da abertura	373,68 m
Elevação do topo das peças fixas	383,95 m



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A talha para a manobra dos painéis da grade e da comporta ensecadeira será do tipo com acionamento elétrico através de botoeira, sendo a capacidade prevista de 75 kN, a ser confirmado pelo fornecedor da comporta.

A grade e a comporta ensecadeira e a viga pescadora serão guiadas por peças fixas embutidas nas paredes laterais da tomada d'água, as quais servirão também para transmitir as reações ao concreto.

A estrutura da tomada d'água do sistema de adução será instalada conforme apresentado no desenho EN.B/III.DS.GT.0033, página 120 do caderno de desenhos.

3.4 Túnel de Adução

Um túnel adutor escavado em rocha e revestido de concreto com 4 m de diâmetro livre, com 140 m de comprimento, foi projetado para aduzir a vazão de 45,1 m³/s da tomada d'água ao conjunto formado por quatro unidades geradoras e uma válvula dispersora

O diâmetro interno livre de 4 m foi definido considerando a velocidade da água, no túnel, inferior a 4 m/s. O dimensionamento estrutural efetuado indicou que a espessura do concreto de revestimento não poderá ser inferior a 0,3 m, considerando-se concreto com resistência característica à compressão $f_{ck} = 25$ MPa.

O eixo do túnel inicia na cota 371,68 m, junto à tomada d'água e termina na cota 368,32 m, no desemboque do túnel.

Nos últimos 10 m de túnel, o revestimento de concreto foi blindado tendo em conta a necessidade de se engastar o conduto forçado ao túnel. Esta blindagem está ligada a jusante com o conduto forçado que se dirige à Casa de Força, onde quatro ramais centrais alimentam as unidades geradoras e um ramal posicionado na lateral direita alimenta a válvula dispersora.

Para o revestimento do túnel foi adotada a classe de concreto B, que deverá ter resistência característica $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias.

3.5 Conduitos Forçados Metálicos

A tubulação será constituída por uma linha de 4 m de diâmetro, com eixo a montante na cota 368,55 m, e eixo a jusante na cota 305,16 m, na entrada da Casa de Força. O comprimento do conduto metálico, em planta, é de 306,5 m, e sua inclinação será de aproximadamente 25% com a horizontal, conforme apresentado no desenho EN.B/III.DS.GT.0031, página 119 do caderno de desenhos.

O conduto será assentado em blocos de ancoragem localizados no topo, nas curvas e na base da encosta e em blocos de apoio distribuídos no trecho central da encosta. Ao longo do trajeto o conduto terá 3 curvas protegidas por blocos de ancoragem, em cada trecho entre blocos, haverá uma junta de expansão.

Na sua porção de jusante, imediatamente antes da casa de força a tubulação será dividida em 5 ramais, alimentando 4 unidades geradoras e uma válvula dispersora. O ramal terá diâmetro de 3,85 m, e a jusante de cada ramal de conduto adutor será flangeada uma válvula borboleta. Estas válvulas permitirão efetuar os trabalhos de manutenção das turbinas sem a necessidade de esvaziar o conduto forçado. As válvulas serão equipadas com contrapeso para proteção das turbinas na parada das unidades.

As espessuras das chapas dos conduitos forçados são as seguintes:



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Descrição	Diâmetros (m)	Espessura (mm)
Conduto	4	12,5
Conduto	4	25,4
Ramificação	3,85 / 3, 1 / 2,5	19
Ramificação	1,95	12,5
Ramificação	1,6	10
Ramificação	1,5	10
Ramificação	1	6,5

A ramificação situada a montante da casa de força será envelopada com uma camada de 0,5 m de concreto armado de modo a neutralizar esforços devidos a mudança de direção do fluxo. Para esta ancoragem foi adotada a classe de concreto A, que apresenta resistência característica $f_{ck} = 15$ MPa aos 28 dias.

Os diâmetros dos ramais das unidades geradoras serão respectivamente 2 x 1,95 m, 1 x 1,6 m e 1 x 1 m. O diâmetro do ramal de alimentação da válvula dispersora será de 1,5 m.

3.5.1 Transitórios Hidráulicos

O circuito de adução foi analisado quanto aos transientes hidráulicos de forma a verificar a adequação do arranjo em relação as linhas piezométricas máxima e mínima.

Um programa computacional foi elaborado especificamente para cálculo do golpe de ariete nesta tubulação, quando do fechamento do distribuidor das turbinas supondo as mesmas operando com vazão máxima.

Os dados básicos de entrada do programa são:

$Q = 45,1 \text{ m}^3/\text{s}$ = vazão total turbinada;

$D_1 = 4 \text{ m}$ = diâmetro do túnel revestido em concreto;

$D_2 = 4 \text{ m}$ = diâmetro da tubulação forçada em aço;

$V = 3,6 \text{ m/s}$ = velocidade média do fluxo nas tubulações forçadas;

$NAR = 380,25 \text{ m}$ = cota do nível d'água normal no reservatório de montante;

$NA \text{ sucção} = 310,25 \text{ m}$ = cota do nível d'água normal no canal de fuga a jusante;

$HB = 70 \text{ m}$ = queda bruta;

$HN = 68,6 \text{ m}$ = queda líquida para a vazão total turbinada;

$F_1 = 0,01345$ = coeficiente de rugosidade da equação universal da perda de carga, para o túnel revestido;

$F_2 = 0,01020$ = coeficiente de rugosidade da equação universal da perda de carga para a tubulação forçada em aço;

F médio ponderado para os 2 trechos = 0,01143;

$K = 0,1 \text{ mm} \times 1,4 = 0,14 \text{ mm}$ = coeficiente de rugosidade absoluta (ABNT) para tubulação em aço;

$L_1 = 140 \text{ m}$ comprimento total desenvolvido do túnel revestido em concreto;

$L_2 = 306,5 \text{ m}$ comprimento total desenvolvido para a tubulação em aço;



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

$A = 1.000$ m/s celeridade da onda de golpe na tubulação de adução;

$ke1 = 0,5$ = coeficiente de perda de carga localizada na entrada da tomada d'água a montante;

$Dh = ke1 \times (V^2/2g)$ = perda de carga localizada;

$Ks = 1$ = coeficiente de perda de carga localizada nas saídas dos tubos de sucção;

$Td = 10$ segundos = tempo de fechamento do distribuidor das 4 turbinas, adotado para turbinas Francis de eixo horizontal com queda média abaixo de 70 m.

Os resultados das análises mostraram as seguintes condições:

No **Gráfico 3.1** está traçado o perfil longitudinal do teto da tubulação forçada com o traçado de 3 linhas piezométricas:

- 1) Linha piezométrica envoltória das cotas de pressões máximas obtidas durante o desenrolar do fenômeno do golpe de aríete, para todas as seções transversais de cálculo da tubulação;
- 2) Linha piezométrica envoltória das cotas de pressões mínimas nas mesmas seções da tubulação;
- 3) Linha piezométrica inicial em regime permanente.

Para o tempo de fechamento do distribuidor das turbinas de $Td = 7,5$ segundos, a linha envoltória mínima corta o teto do túnel revestido em concreto, na região de inflexão da tubulação. Efetuada outra simulação com $Td = 10$ segundos, a envoltória mínima ainda permanece colada ao teto do túnel, com possibilidades de provocar pressões relativas negativas.

Foi efetuada uma terceira simulação adotando-se uma chaminé de equilíbrio de 6 m de diâmetro, com orifício de 3 m de diâmetro e altura de 15 m. A linha envoltória mínima desta vez situa-se aproximadamente a 2 m acima do teto do túnel, o que estaria dentro das normas da ABNT.

Finalmente, para não adotar-se um projeto oneroso de uma chaminé de equilíbrio, modificou-se a inclinação do túnel revestido, sem alteração da posição da tomada d'água, o que acarretou um rebaixamento na região de inflexão para a tubulação, obtendo-se a linha envoltória mínima acima do teto do túnel. O tempo de fechamento do distribuidor adotado neste caso foi 10 segundos.

Para a seção do extremo de jusante, tem-se as seguintes sobrepressões e subpressões:

- Carga estática = $380,25 \text{ m} - 310,25 \text{ m} = 70 \text{ m}$
- Sobrepressão máxima = $399,51 - 380,25 = 19,2 \text{ m}$
- Percentagem desta em relação à pressão estática = $19,2 / 70 = 27,4 \%$
- Subpressão máxima = $19,2 \text{ m}$ (27,4 % em relação à pressão estática)
- Pressão máxima em relação à seção extrema de jusante: $399,51 \text{ m} - 307,16 \text{ m} = 92,3 \text{ mca.}$



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

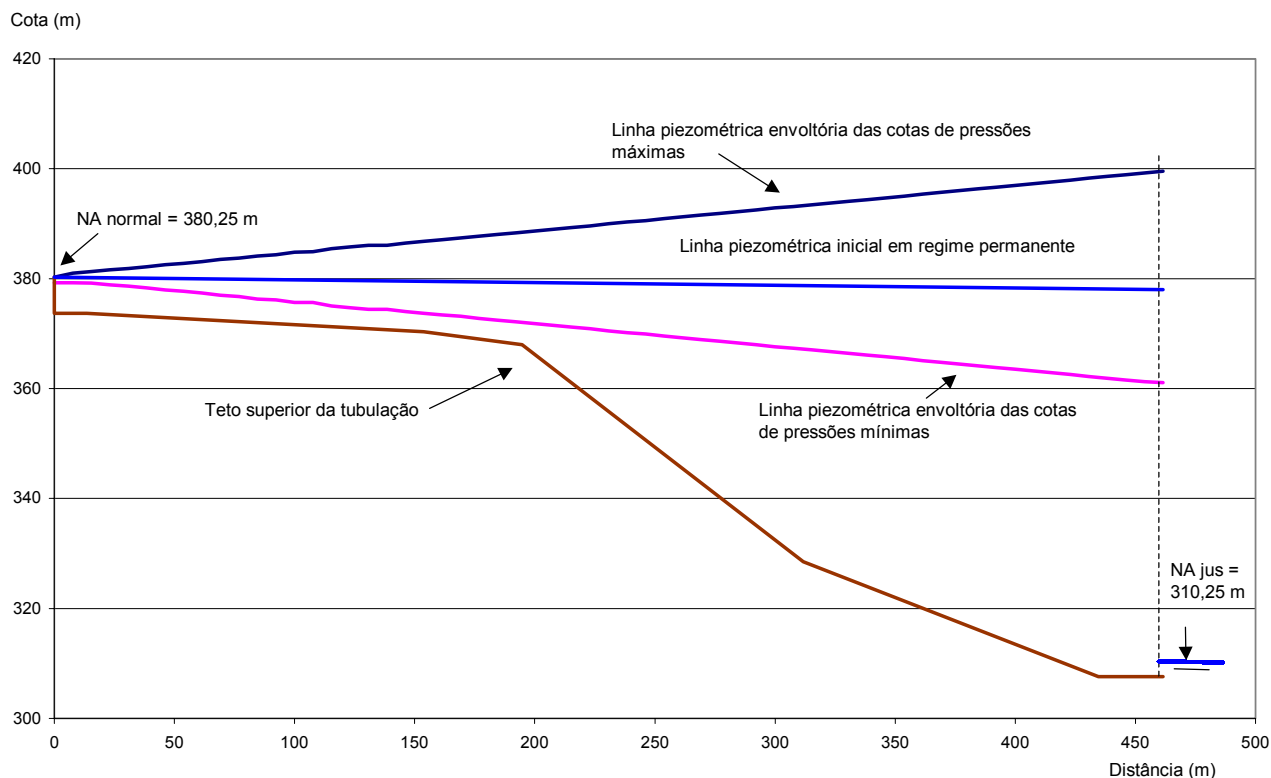


Gráfico 3.1 : UHE Salgado I – Transitórios Hidráulicos no Conduto Forçado

3.6 Casa de Força

A Casa de Força de Salgado I será do tipo semi-abrigada constituída por uma estrutura de concreto armado fundada em rocha sã, abrigando em seu interior quatro unidades turbo-geradoras tipo Francis de eixo horizontal, uma válvula dispersora situada na margem direita com seus equipamentos periféricos, apresentando 1,5 m de diâmetro e capacidade para escoar 45,1 m³/s, além de uma área de montagem situada na margem esquerda.

A largura dos blocos, bem como as dimensões do tubo de sucção, foram estabelecidas através de arranjos semelhantes de outras usinas do mesmo porte, bem como informações obtidas dos principais fabricantes de turbinas tipo Francis de eixo horizontal, de modo a garantir escoamento uniforme e velocidades compatíveis, minimizando as perdas hidráulicas. Tais dimensões serão definitivamente estabelecidas por ocasião do projeto executivo, quando os projetos de fabricação das turbinas e grupos geradores estiverem concluídos.

O acesso à Casa de Força será realizado pela margem esquerda do empreendimento. A área de montagem ficará situada nesta margem na cota 311,6 m, junto à estrutura da unidade geradora nº 4.

No piso da cota 311,6 m, a montante da estrutura da unidade geradora nº 1, estará o poço de drenagem que terá, em planta, uma seção quadrada livre 2,5 m de lado, com paredes de 0,3 m de espessura.

No piso da cota 311,6 m, a montante da casa de força, ficará estacionado um transformador em baia separado por paredes tipo corta-fogo. O trilhamento longitudinal do transformador ficará a montante desta baia sobre uma estrutura que se apoia lateralmente na face de montante da casa de força e sobre pilares fundados na fundação rochosa da cota 303,21 m (**Figura 3.2**).



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

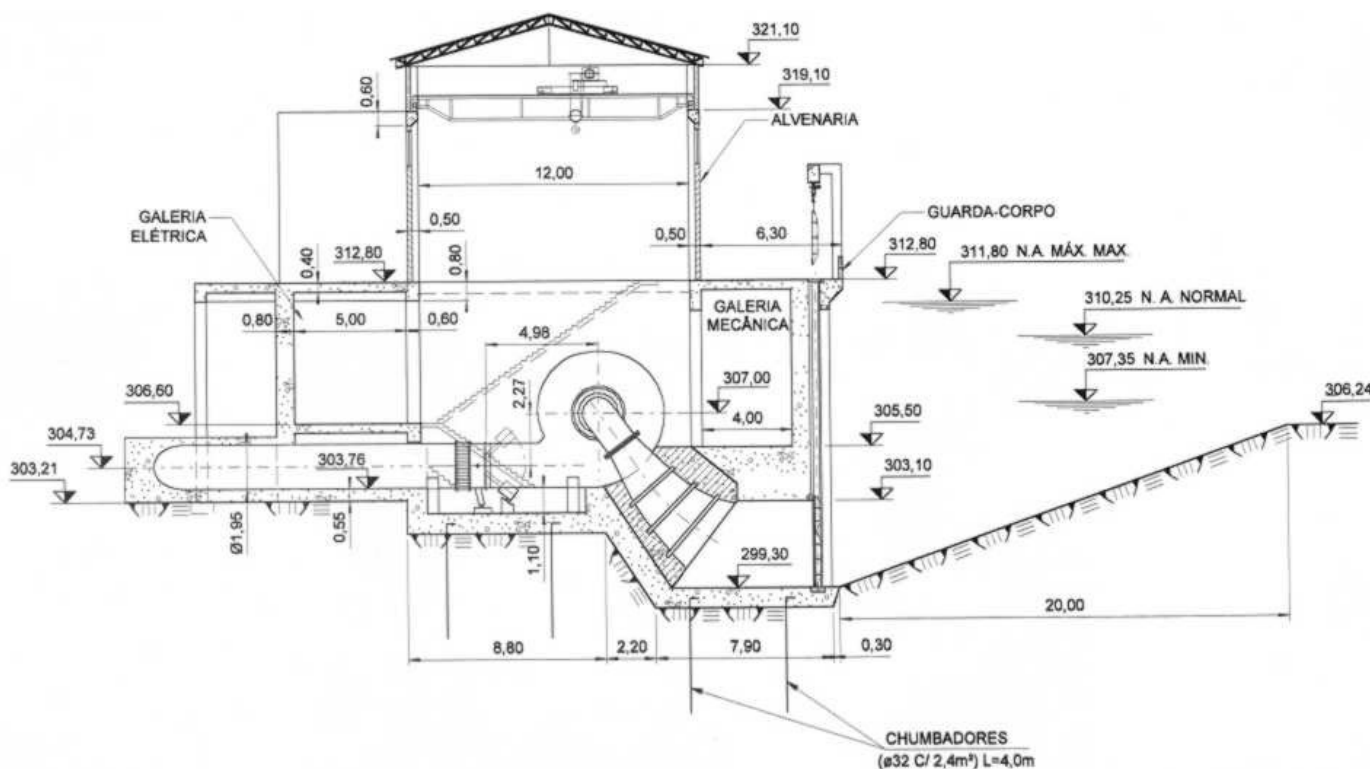


Figura 3.2 – Casa de Força de Salgado I

A jusante da casa de força, eleva-se um pórtico de concreto armado a partir da cota 311,6 m, onde estará implantada uma monovia com uma talha elétrica de 150 kN de capacidade, para os serviços de manuseio da comporta ensecadeira de jusante e da válvula dispersora.

A laje de fundo e as paredes situadas abaixo da cota 311,6 m serão moldadas em concreto armado classe B, que terá resistência característica $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias. Acima da cota 311,6 m, o fechamento da casa de força será feito através de paredes de alvenaria estruturadas no conjunto de pilares que sustentarão as vigas de apoio da ponte rolante.

No interior da casa de força, a montante na cota 306,6 m ficará a galeria elétrica, num piso onde ficarão instalados os equipamentos elétricos, dos sistemas de serviços dos auxiliares. O acesso a este piso será realizado através de escadas de concreto armado a partir do piso dos geradores, conforme pode ser observado no desenho EN.B/III.DS.ME.0003 (página 124 do caderno de desenhos). Por sua vez, o acesso ao piso dos geradores da casa de força será feito por escadas a partir do piso da área de montagem.

A casa de força será equipada com uma ponte rolante de 350 kN de capacidade estimada, que será utilizada na fase de construção e montagem para o içamento e transporte dos conjuntos montados mais pesados das turbinas e geradores, bem como auxiliará nas montagens parciais desses equipamentos. Posteriormente, durante a fase de operação da usina, será utilizada na manutenção geral dos equipamentos da casa de força.

A estrutura da válvula dispersora situa-se na margem direita da casa de força. É formada basicamente de uma estrutura composta por dois pisos, um deles formado por uma laje de fundo de 0,5 m de espessura, onde se apoia a válvula dispersora e equipamentos periféricos auxiliares, e outro de fechamento situado na cota 315,88 m. Esta estrutura terá 17,75 m de comprimento e 14,5 m de largura.

O piso inferior situado na cota 310,5 m de 0,5 m de espessura estará fundado sobre rocha sã. Nesta laje nascerão paredes verticais que comporão a estrutura de saída da válvula dispersora e darão apoio à laje do piso superior situado na cota 315,88 m, conforme pode ser observado na



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

seção B do desenho EN.B/III.DS.ME.0002 (página 123 do caderno de desenhos). O acesso de pessoas ao piso inferior desta estrutura será feito através de escadas de concreto armado a partir do piso de jusante da casa de força. O acesso ao piso superior será feito através de uma escada marinho.

O piso superior situado na cota 315,88 m é formado por uma laje retangular apresentando as mesmas dimensões em planta da laje de fundo. Sob esta laje foi lançado um conjunto de vigas ortogonais de 0,5 m de largura e 0,7 m de altura. Esta laje terá um conjunto de aberturas com tampas metálicas para a passagem de equipamentos mecânicos.

A estrutura situada no desemboque da válvula dispersora é formada por uma câmara blindada de formato interno cilíndrico, de 3 m de comprimento, com centro na cota 313,0 m. A extremidade de jusante da estrutura da válvula dispersora é formada por um muro vertical de 0,5 m de espessura que liga a laje de fundo ao canal de fuga situado na cota 306 m.

Para a estrutura da válvula dispersora foi adotada a classe de concreto B, que terá resistência característica $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias.

3.6.1 Equipamentos Mecânicos

A casa de força é do tipo abrigada, com aproximadamente 1.700 m², incluindo a área de montagem, e de descarga, onde serão instaladas quatro unidades geradoras e uma válvula dispersora. As máquinas serão duas de 9.278 kW, uma de 6.185 kW, e uma de 3.093 kW de potência, nos eixos das turbinas. A válvula dispersora terá de diâmetro 1,5 m e capacidade de 45,1 m³/s. Está prevista a construção da estrutura abrigando uma ponte rolante. Os cortes e as plantas da Casa de Força, assim como a localização dos equipamentos, estão indicados nos desenhos EN.B/III.DS.ME.0002 a 0004 - páginas 123, 124 e 122 do caderno de desenhos.

Na parte considerada como sendo a superestrutura, encontram-se os pilares e as vigas para a instalação da ponte rolante, que terá um vão de 12 m. A ponte servirá para a movimentação dos equipamentos, tanto na fase de sua instalação, como na fase de operação e manutenção

A jusante das unidades, mais especificamente das turbinas, saem os tubos de sucção dotados de comportas ensecadeiras.

A casa de força será equipada com os seguintes equipamentos e sistemas mecânicos:

Turbinas Hidráulicas e Acessórios

As características principais das turbinas são:

Quantidade / Tipo	4 Francis Eixo Horizontal Simples Sucção
Potência unitária nominal no eixo	2 x 9.278 kW 1 x 6.185 kW 1 x 3.093 kW
Queda bruta nominal	70 m
Queda bruta mínima operacional	70 m
Queda bruta máxima	72,89 m
Rotação nominal	400 rpm para a turbina de 9.278 kW 514,29 rpm para a turbina de 6.185 kW 720 rpm para a turbina de 3.093 kW
Sentido de rotação	Anti Horário visto do gerador



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Faixa operacional mais freqüente	50% a 100% da potência máxima (na queda considerada)
Tipo do regulador	ação PID digital
Tipo de comando da usina	Previsão para telecomando futuro
Sobrepessão máxima admissível no conduto forçado quando da rejeição da plena carga da turbina	35 % da queda nominal
Sobrevelocidade máxima admissível nas mesmas condições acima	50% da rotação nominal

Válvula Borboleta de Proteção da Turbina

As válvulas borboletas serão do tipo acionado por servomotor e contrapeso, munidas de tubulação de *by-pass* e respiro.

Serão instaladas a montante das respectivas turbinas e terão por função a proteção das mesmas quando de uma falha no fechamento do distribuidor. Terão, também a função de permitir a manutenção das turbinas sem a necessidade de esvaziar os condutos adutores.

São as seguintes suas características principais:

Diâmetro aproximado	1,95 m para a turbina de 9.278 kW 1,6 m para a turbina de 6.185 kW 1 m para a turbina de 3.093 kW
Acionamento	Servomotor e contrapeso

Válvula Dispensora

A válvula dispensora, entrará em operação por ocasião da parada das unidades geradoras, e operará, sob quaisquer níveis d'água de montante e jusante como um órgão regulador de vazão que atingirá o máximo de 45,1 m³/s.

A válvula dispensora será basicamente constituída de um corpo cilíndrico fixo, de um obturador cilíndrico móvel e de conjuntos de vedação a montante e a jusante.

O acionamento da válvula será feito através de servomotores de dupla ação.

A montante da válvula dispensora será instalada uma válvula esférica para permitir os trabalhos de manutenção da mesma.

O diâmetro previsto para a válvula dispensora será de 1,5 m.

Ponte Rolante da Casa de Força

A ponte rolante da casa de máquinas será utilizada para a montagem e a manutenção das turbinas, geradores, válvulas borboleta e todos os outros equipamentos mecânicos e elétricos a serem instalados no interior da casa de máquinas.

A ponte rolante deverá ser do tipo monoviga, com translação motorizada equipada com carro guincho e uma talha elétrica comandados por botoeira suspensa.

O gancho principal da ponte deverá ter alcance para montagem e manutenção das válvulas borboleta.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

São as seguintes suas características principais:

Capacidade estimada	45 ton
Vão entre linhas de centro dos trilhos	12 m
Cursos de elevação	20 m
Velocidade de elevação	2 m/min
Velocidade de translação do carro	10 m/min
Velocidade de translação da ponte	5 m/min
Extensão do caminho de rolamento	85 m

Comporta Ensecadeira e Talha / Monovia de Jusante

A comporta ensecadeira do tubo de sucção terá por função possibilitar a manutenção das turbinas hidráulicas. Haverá dois jogos de painéis, um jogo permitirá o fechamento da unidade geradora de 3.000 kW, e o outro jogo atenderá as outras três unidades geradoras, de potência instalada 9.000 e 6.000 kW, possibilitando o fechamento de um vão de grupo gerador de cada vez. Cada jogo de comportas ensecadeiras de jusante é constituído de três painéis iguais e intercambiáveis.

A movimentação da comporta ensecadeira será efetuada através de uma viga pescadora, provida de mecanismo de engate e desengate automáticos acionada por meio da talha da monovia do tubo de sucção.

A movimentação será sempre feita em equilíbrio de pressões. A comporta ensecadeira será dotada de válvulas de enchimento, acionadas pelo peso próprio da viga pescadora. A comporta ensecadeira e a viga pescadora serão guiadas por peças fixas embutidas nos pilares de concreto, as quais servirão também para transmitir as reações ao concreto.

Quando fora de operação, a comporta ensecadeira e a viga pescadora serão estocadas nos topos das ranhuras através de dispositivos de calagem apropriados.

A talha para a manobra dos painéis da comporta ensecadeira de jusante será do tipo elétrica com acionamento através de botoeira pendente, sendo a capacidade prevista de 75 kN, a ser confirmado pelo fornecedor da comporta.

São as seguintes as suas características principais:

Comporta Ensecadeira	Tipo 1 (1 jogo)	Tipo 2 (1 jogo)
Vão livre	5,1 m	3,3 m
Altura livre	5,2 m	5,2 m
Quantidade de Comportas	1	1
Quantidade de painéis por Comporta	3	3
Altura de um painel	1,73 m	1,73 m
Largura de um painel	5,4 m	3,6 m
Elevação da soleira	299,3 m	299,3 m
Elevação da borda superior da abertura	304,5 m	304,5 m
Elevação do topo das peças fixas	311,6 m	311,6 m



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Sistemas Auxiliares Mecânicos

Os sistemas auxiliares para Salgado I e II têm as mesmas características e, por isso, a descrição seguinte aplica-se a ambas.

Na casa de força serão ainda instalados os serviços auxiliares indispensáveis ao bom funcionamento e à segurança dos equipamentos, bem como ao conforto e segurança das pessoas levando-se em conta, entretanto, tratar-se de uma pequena central hidrelétrica.

São os seguintes os serviços auxiliares a serem ali instalados:

a) Sistema de Drenagem, Esvaziamento e Enchimento

O sistema de drenagem e esgotamento tem a finalidade de coletar e conduzir para o poço de drenagem e esvaziamento, e daí, por bombeamento, para o canal de fuga, todas as águas despejadas no interior da usina, provenientes de percolação, descarga de equipamentos, vazamentos de tubulações e limpezas de pisos.

O sistema terá também a função de esgotar e manter as turbinas a seco, permitindo os trabalhos de manutenção nas referidas turbinas hidráulicas.

O esgotamento somente poderá ser realizado em uma turbina de cada vez, pois está previsto o fornecimento de duas bombas do tipo submersível, para atender todas as unidades de geração instaladas na Usina, sendo uma bomba de reserva.

As águas pluviais, de rega de jardins e de lavagem de pisos externos à casa de força não serão conduzidas ao poço de drenagem, possuindo sistema de drenagem próprio que as encaminhará ao canal de fuga.

Moto Bombas

Tipo	Submersível
Quantidade	2
Vazão nominal unitária	15 m ³ /h
Altura manométrica	17 mca

Controladores de nível

Tipo	Deslocador de topo, com flanges
------	---------------------------------

b) Sistema de Água de Resfriamento

Este sistema abastecerá com água filtrada os seguintes componentes das unidades geradoras:

- Radiadores (ar/água) dos geradores.
- Trocadores de calor (óleo/água) dos mancais guia dos grupos geradores.
- Trocadores de calor (óleo/água) dos mancais de guia/escora combinado.
- Trocadores de calor (óleo/água) dos reservatórios de óleo do sistema de regulação de velocidade.
- Vedações dos eixos.

Adicionalmente, este sistema abastecerá com água filtrada outros pontos de consumo previstos na casa de força. A operação do sistema será feita por gravidade e em circuito aberto.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As tomadas d'água bruta para cada filtro localizar-se-ão nos condutos forçados, em um ponto a montante da válvula de proteção da turbina.

Serão instalados quatro filtros tipo autolimpante com capacidade tal que, com um filtro fora de operação, o outro atenda a demanda total do sistema.

São as seguintes as características principais dos filtros:

Tipo	Autolimpante
Quantidade	4
Vazão nominal	Fornecedor
Pressão máxima de operação	100 m H ₂ O
Acionamento	automático por motor elétrico ou ar comprimido

c) Sistema de Água Potável e de Serviço

O sistema fornece água de serviço para o atendimento dos sanitários, pia da sala de baterias, limpeza de pisos e outros locais de consumo e o seu abastecimento será feito através da captação de água bruta, diretamente do conduto de adução da turbina, filtros de água, tubulações de distribuição e reservatório.

Serão feitas captações dos condutos forçados, em número e quantidade a ser definida no decorrer do projeto executivo, em função da concepção do sistema e de acordo com as necessidades.

O sistema é composto basicamente de uma rede de distribuição de água para cada unidade, interligada por uma tubulação principal e de uma rede de coleta e de distribuição para cada unidade de geração.

Em princípio o sistema utilizará a pressão disponível no conduto forçado para distribuir a água a todos os pontos. Caso necessário, será fornecida a instalação de bombas, para aumentar e garantir a pressão do sistema.

Para o consumo humano, deverá ser incluída no fornecimento uma estação compacta de tratamento de água, com capacidade de 3 m³/dia, e com reservatório próprio.

O sistema de água potável terá por finalidade captar, armazenar e distribuir água potável à sala de baterias, copa, sanitários e bebedouros localizados no interior da casa de força.

d) Sistema de Esgoto Sanitário

O esgoto sanitário será coletado pelos ramais de descarga e conduzido por gravidade para uma estação de tratamento, onde passa pelo processo de digestão na fossa séptica e o rejeito líquido transferido para o sumidouro. Os rejeitos sólidos retidos na fossa são removidos na limpeza através das tampas de acesso.

O esgoto da sala de baterias será despejado no poço de drenagem, passando antes por uma caixa com substância neutralizadora localizada sob a pia.

São as seguintes as características principais dos componentes:

Fossa Decanto Digestora

Quantidade	1
Capacidade útil	2 m ³
Material	Concreto



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Filtro Anaeróbico

Quantidade	1
Capacidade útil	2 m ³
Material	Concreto

e) Sistema de Proteção Contra Incêndio

O fornecimento deverá incluir um conjunto de extintores portáteis, de acionamento manual e instalação sobre paredes para o combate a incêndios nas diversas áreas internas da Usina Hidrelétrica: no piso dos geradores, nas galerias elétricas e mecânicas, na sala de comando, e na sala do gerador diesel. Adicionalmente, deverá ser incluído um conjunto de extintores portáteis instalados sobre carretas para o combate a incêndio na subestação e ao lado dos transformadores elevadores.

O número, massa unitária e tipo dos extintores foi estabelecido, de acordo com o risco e o tipo de ocupação, dos diversos locais a serem protegidos contra o incêndio.

O projeto dos extintores portáteis atende aos requisitos da norma NFPA 10 – “Portable Fire Extinguishers”, publicada pela “National Fire Protection Association”, em sua última revisão, bem como as recomendações das normas ABNT e das Portarias da SUSEP aplicáveis.

O sistema será constituído basicamente de extintores portáteis do tipo CO₂, pó químico seco e água pressurizada.

São as seguintes as características principais dos componentes:

Extintor de água pressurizada (capacidade 10 litros)	10 unidades
Extintor de bióxido de carbono (capacidade 6 kg)	8 unidades
Extintor de pó químico seco (capacidade 4 kg)	6 unidades
Extintor de bióxido de carbono (capacidade 50 kg)	4 unidades

f) Ventilação

O sistema de ventilação da usina hidrelétrica tem por finalidade específica de promover a remoção e a renovação do ar das galerias de serviço da Usina, sala de baterias, sala do gerador diesel, e demais ambientes, possibilitando, desta forma, condições de trabalho adequadas ao pessoal de operação e manutenção, assim como aos equipamentos.

O sistema basicamente será composto de ventiladores de insuflamento de ar, localizados em uma sala apropriada na galeria de serviço superior, e de uma rede de dutos de distribuição instalados rente às paredes das galerias distribuindo o ar de forma apropriada. A sala de baterias será equipada com exaustor próprio.

O comando dos ventiladores e do exaustor será manual, local, através de botoeira liga/desliga instalada nas vizinhanças dos equipamentos.

As taxas de renovação de ar para cada ambiente serão as seguintes:

- Galeria Mecânica: 10 ren./hora
- Galeria Elétrica: 15 ren./hora
- Sala de Baterias: 15 ren./hora
- Sala do Gerador Diesel: 100 ren./hora



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

g) Sistema de Ar Condicionado

O sistema de ar condicionado terá por finalidade manter condições de temperatura e umidade relativa do ar adequadas aos equipamentos instalados no interior da sala de comando da usina hidrelétrica, bem como ao pessoal de operação que permanecerá nesta sala. Proporcionará, adicionalmente, condições de conforto adequadas ao pessoal de administração que permanecerá nas outras salas técnicas.

O sistema deverá manter a temperatura do ar no interior dos ambientes tratados na faixa de 23 a 25° C, e a umidade relativa ao redor de 44 %, considerando-se as condições climáticas na região.

O condicionamento de ar nestes ambientes será feito por condicionadores autônomos tipo “mini split”, com condensação a ar.

Os condicionadores de ar possuirão as seguintes características principais:

Tipo :	“Mini Split”
Quantidade :	A ser definido pelo fornecedor, de acordo com o arranjo da respectiva usina hidrelétrica;
Local de Instalação:	Interno, ventilado

h) Sistema de Ar Comprimido

O sistema de ar comprimido de serviço será responsável pela atuação de válvulas pneumáticas, sistemas de frenagem, limpeza de equipamentos e alimentação de ferramentas durante os trabalhos de manutenção.

O sistema será composto basicamente de dois conjuntos compressor / quadro de comando / reservatório de ar, tubulações, válvulas e acessórios.

O compressor deverá ser do tipo alternativo de pistão, com resfriamento a ar e projetado para operar à temperatura ambiente de até 40 ° C. O compressor deverá ser equipado com resfriador posterior, resfriado a ar e dotado de separador de umidade com purgador automático de condensado, indicador de nível de condensado e termostato de segurança. Deverá possuir filtro de admissão de ar, quadro de comando completo com dispositivos e instrumentos de proteção e controle. O compressor deverá possuir um reservatório incorporado com válvula de bloqueio e retenção na saída.

A distribuição de ar comprimido será através de uma linha em circuito fechado que alimenta todos os pontos de consumo.

Deverão ser fornecidas diversas mangueiras para ar comprimido, com comprimento de aproximadamente 40 m, para atendimento de todos os pontos da usina hidrelétrica.

São as seguintes as características principais dos componentes:

Moto Compressores

Tipo	de pistão, resfriado a ar
Quantidade	2
Descarga livre efetiva	1 m ³ /min
Pressão de descarga	0,7 MPa

Reservatório de Ar Comprimido

Tipo	Cilíndrico horizontal ou vertical de
------	--------------------------------------



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

	construção soldada
Quantidade	2
Pressão de trabalho	0,7 MPa
Volume	0,5 m ³

i) Sistema de Medições Hidráulicas

O sistema de medições hidráulicas será constituído por transdutores de pressão tipo sonda piezométrica, sensível à variação dos níveis de água.

Na tomada d'água, uma sonda será instalada a montante das grades e outra a jusante da comporta. A primeira sonda transmitirá até um painel localizado na sala de comando, e fornecido por terceiros, o nível de água no reservatório e, conjuntamente com a segunda, detectará o equilíbrio de pressões na comporta produzindo uma sinalização visual no quadro de comando desta última, fornecido por terceiros, que habilitará o comando para sua abertura. As duas sondas detectarão adicionalmente a perda de carga nas grades, enviando para o mesmo painel da sala de comando um sinal visual e sonoro, indicando que o grau de entupimento máximo das grades foi atingido, o que determinará a limpeza imediata das grades.

No canal de fuga, uma sonda será instalada a jusante das comportas ensecadeiras dos tubos de sucção.

j) Sistema de Drenagem e Separação de Óleo dos Transformadores

Este sistema terá a função de coletar o óleo descarregado pelos transformadores em caso de incêndio e encaminhá-lo a um tanque separador onde será feita a separação do óleo da água de chuva e sua coleta para tratamento lançando-se a água restante no canal de fuga após a operação.

Embaixo de cada transformador será prevista uma bacia de contenção construída em concreto e com uma grade metálica sobre ela. Sobre esta grade metálica haverá uma camada de brita para isolamento. O óleo descarregado nesta bacia será encaminhado por gravidade para o tanque separador construído em concreto.

Após a separação o óleo será bombeado por meio de uma bomba portátil com motor a prova de explosão, para os tambores adequados.

São as seguintes as características principais da motobomba:

Tipo	portátil, submersível
Quantidade	1
Capacidade	2,5 m ³ /h
Altura manométrica	6 m H ₂ O

k) Sistema de Tratamento de Óleo

O sistema de Tratamento de óleo lubrificante compõe-se de um equipamento móvel para transferência e purificação do óleo lubrificante necessário aos mancais das unidades de geração e reguladores de velocidade.

As principais características do purificador são as seguintes:

- Tipo: centrífugo, com ejeção de sólidos e separação de água



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Acessórios: bomba de engrenagem, aquecedor, recipiente para coleta de água e impurezas, termômetro, indicadores de vazão, mangueiras flexíveis, válvulas, dispositivos de controle e proteção.
- Quantidade: um purificador

3.7 Canal de Fuga

O canal de fuga da válvula dispersora de Salgado I terá um trecho reto de 5,4 m na cota 306 m e em seguida uma bacia dissipadora de 14,6 m de comprimento com seção transversal trapezoidal com fundo de 5 m na cota 302 m.

O canal de fuga das unidades geradoras é inclinado, começando na cota 299,3 m e terminando na cota 306,24 m, após percorrer um trecho horizontal de 20 m; a partir daí, juntamente com o trecho relativo à válvula dispersora segue uma transição de 116 m até concordar com a continuação do canal em direção a UHE de Salgado II.

4. UHE SALGADO II

4.1 Aspectos Hidráulicos

O sistema adutor de Salgado II está caracterizado por uma câmara de carga onde se alojará uma tomada d'água, de onde irá um conduto forçado que se direciona à casa de força que terá quatro unidades geradoras e uma válvula dispersora.

A vazão afluyente será de 45,1 m³/s que corresponde à parte da vazão direcionada ao Trecho III a partir do reservatório de Caiçara. O desnível entre o NA normal em Salgado II e o NA normal de jusante será de 66,13 m.

4.1.1 Níveis Operacionais e Vazões

Os níveis operacionais de Salgado II são os seguintes:

- NA máx. máx..... 311,44 m
- NA normal 309,23 m
- NA mínimo 306,31 m
- NA normal a jusante..... 243,1 m
- Vazão máxima da transposição..... 45,1 m³/s
- Cota da crista da tomada 312,3 m

4.1.2 Determinação da Potência

A potência da usina foi determinada para a vazão de 45,1 m³/s e a altura geométrica de 66,13 m resultando uma potência total de 25,50 MW, adotando-se quatro unidades turbo geradoras de eixo horizontal, tipo Francis, cada uma com uma válvula borboleta a montante, gerador a direita e câmara de sucção à esquerda, com as seguintes potências ajustadas:

UNIDADE	POTÊNCIA(MW)
1	8,5
2	8,5
3	5,5
4	3



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

4.2 Aspectos Geológicos e Geotécnicos

Este aproveitamento hidrelétrico, localizado no extremo oeste da Serra da Várzea Grande, será implantado em um maciço de rochas gnáissicas.

Na área da câmara de carga existe uma cobertura de solo que varia de 1,24 a 4,5 m de espessura, seguindo-se biotita gnaisse medianamente alterado e medianamente a muito fraturado.

Na área prevista para a escavação da casa de força a espessura de solo varia de 2 a 3 m, seguindo-se rocha gnáissica medianamente alterado a sã.

Detalhes da área de implantação estão descritos no relatório R7-Geologia e Geotecnia, item 6.5.2.

4.3 Câmara de Carga e Tomada d'Água

4.3.1 Características Gerais

O sistema de transposição por Salgado II, com vazão de 45,1 m³/s, será composto por uma câmara de carga ao final de um trecho em canal, uma tomada d'água embutida, um conduto forçado que terá a jusante uma ramificação para a esquerda que deriva as águas para quatro unidades geradoras e uma válvula dispersora. O canal de fuga da UHE Salgado II segue num trecho curto até desembocar no rio Salgado.

4.3.2 Estruturas Civas

Ao final do canal que vem do canal de fuga da UHE Salgado I, existirá uma câmara de carga, com dimensões básicas de 1,2 m de comprimento e 50 de largura, e a devida transição a partir do canal. Do lado direito existirá um vertedor de segurança que restituirá a água vertida, em casos excepcionais, à bacia do rio Salgado. O arranjo da câmara está mostrado no desenho EN.B/III.DS.GT.0036, página 135 do caderno de desenhos.

O fechamento das três laterais da câmara será feito por muros de concreto massa tipo gravidade com paramento de montante vertical e paramento de jusante com inclinação 0,6 H :1,0 V. As cristas desta câmara e da tomada d'água nela embutida estão situadas na cota 312,3 m.

Após a construção destes muros laterais, será executado um complemento em enrocamento, de modo a formar uma pista de 3,5 m de largura para acesso à crista da tomada d'água.

A tomada d'água foi implantada na extremidade de jusante desta câmara de carga, na parte central. Será constituída por um bloco de 7,1 m de largura, 18,4 m de comprimento máximo e 16,16 m de altura máxima, tendo a crista na cota 312,3 m, conforme pode ser observado na **Figura 4.1**.

O bocal de entrada apresenta 5,5 m de largura máxima e 6,8 m de altura. O paramento de montante terá a inclinação de 5V:1H.

As cotas 298,64 m e 305,31 m, respectivamente da soleira e do topo da boca da entrada da tomada d'água, foram definidas considerando-se as condições hidráulicas, para aduzir uma vazão de 45,1 m³/s através das quatro unidades geradoras, ou de válvula dispersora

No interior da tomada d'água estão localizadas as ranhuras da comporta vagão de emergência, bem como a transição em concreto, na qual a seção quadrada de 4 m de lado se transformará em seção circular de 4 m de diâmetro. A partir daí inicia-se um trecho curvo de aproximadamente 35° revestido de concreto de 30 m de raio médio, perfazendo o comprimento médio de 18,4 m.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

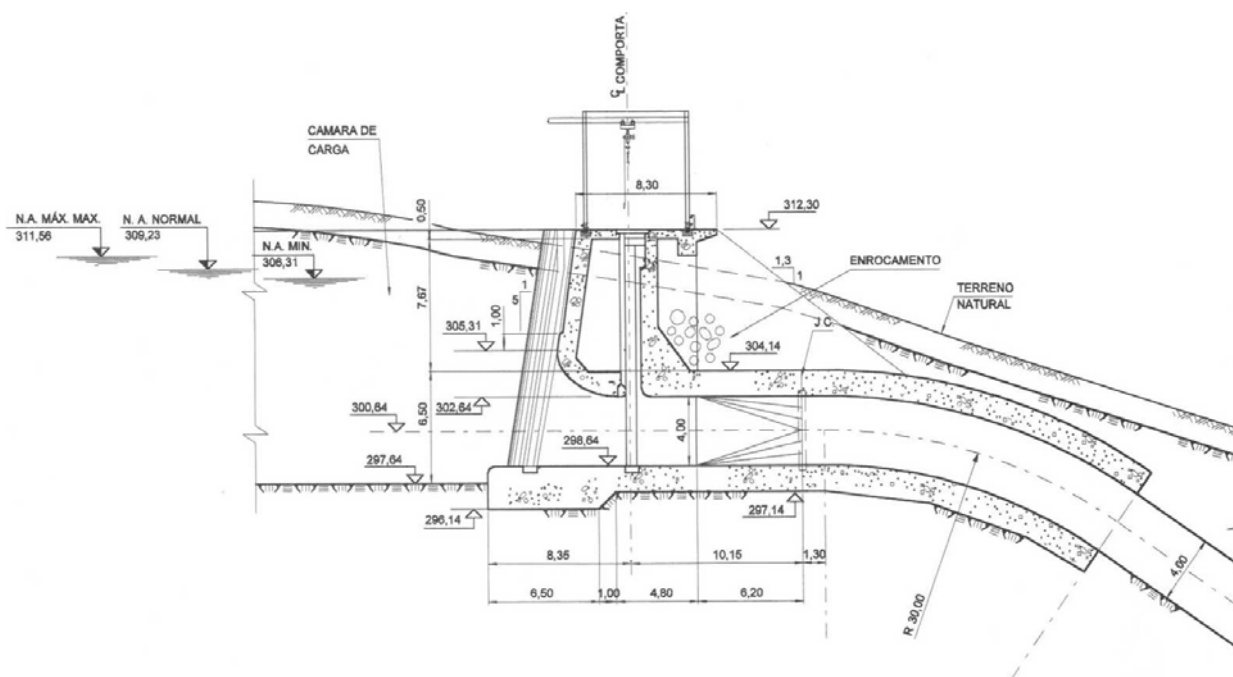


Figura 4.1 – Tomada D'Água de Salgado II

O arranjo geral da Tomada d'água está mostrado no desenho EN.B/III.DS.GT.0036 e sua forma no desenho EN.B/III.DS.ME.0038, páginas 135 e 137 do caderno de desenhos).

Para esta estrutura foi adotada a classe de concreto B, que terá resistência característica $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias.

4.3.3 Estruturas anexas

A câmara de carga será fechada através de muros tipo gravidade posicionados nos duas laterais e na lateral de jusante, ladeando a tomada d'água. São muros de 16,16 m de altura máxima, apresentando paramento de montante vertical e de jusante com inclinação 0,6H:1,0V, onde se apoiam enrocamento, conforme pode ser observado no desenho EN.B/III.DS.GT.0030, página 136 do caderno de desenhos. Para a estrutura destes muros foi adotada a classe de concreto massa, que apresenta resistência característica $f_{ck} = 10$ MPa aos 90 dias.

4.3.4 Equipamentos Mecânicos da Tomada d'Água

A tomada d'água terá painéis de grades e comporta ensecadeira com rodas, instaladas em ranhuras de operação a montante.

Cada painel de grade terá uma altura de 2,56 m e uma largura de 7,68 m, serão instalados três painéis em uma única ranhura.

Os painéis serão de construção metálica, do tipo removíveis, sendo a movimentação efetuada através de uma viga pescadora, provida de mecanismo de engate e desengate automático acionada por meio do gancho de uma talha, instalada sob uma monovia montada no pórtico da tomada d'água, cujas características são:

Número de vãos da tomada	1
Número de painéis por vão	3
Largura livre de cada vão	4,4 m
Altura livre aproximada do vão	6,8 m



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Elevação aproximada da soleira	298,64 m
Elevação aproximada da borda superior das grades	305,31 m
Elevação do topo das peças fixas	312,3 m
Inclinação das grades	11,31° com a vertical
Espaçamento entre barras	80 mm

A comporta ensecadeira da tomada d'água terá por função principal possibilitar a inspeção ou manutenção do túnel de adução. Haverá um único tabuleiro de comporta ensecadeira, formado por um painel. A movimentação da comporta ensecadeira será efetuada através de uma viga pescadora, provida de mecanismo de engate e desengate automático acionada por meio do gancho da mesma talha utilizada para a movimentação dos painéis das grades, instalada sob uma monovia montada no pórtico da tomada d'água.

A movimentação poderá ser feita em desequilíbrio de pressões, e o painel da comporta ensecadeira será dotado de rodas para permitir o corte do fluxo da água, para fechamento da adução em uma emergência. A vedação e o encosto da comporta será a jusante da ranhura de operação.

São as seguintes as suas características principais:

Vão livre	4 m
Altura livre	4 m
Elevação da soleira	298,64 m
Elevação da borda superior da abertura	302,64 m
Elevação do topo das peças fixas	312,3 m

A talha para a manobra dos painéis da grade e da comporta ensecadeira será do tipo com acionamento elétrico através de botoeira, sendo a capacidade prevista de 75 kN, a ser confirmado pelo fornecedor da comporta.

A grade e a comporta ensecadeira e a viga pescadora serão guiadas por peças fixas embutidas nas paredes laterais da tomada d'água, as quais servirão também para transmitir as reações ao concreto.

A estrutura da tomada d'água do sistema de adução será instalada conforme apresentado no desenho EN.B/III.DS.GT.0038, página 137 do caderno de desenhos.

4.4 Conduto Forçado Metálico

O conduto forçado será constituído por uma linha de 4 m de diâmetro, com eixo a montante na cota 300,64 m, e eixo a jusante na cota 238,7 m, na entrada da casa de força. O comprimento do conduto, em planta, é de cerca de 125 m, e sua inclinação será de aproximadamente 40% com a horizontal, conforme apresentado no desenho EN.B/III.DS.GT.0036, página 135 do caderno de desenhos.

O conduto será assentado em blocos de ancoragem localizados no topo, nas curvas e na base da encosta e em blocos de apoio distribuídos no trecho central da encosta. Ao longo do trajeto o conduto terá 2 curvas protegidas por blocos de ancoragem, em cada trecho entre blocos, haverá uma junta de expansão.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Está prevista a instalação de 5 ramais, cada um alimentando uma das 4 unidades geradoras e uma válvula dispersora. O ramal terá diâmetro de 4 m, e a jusante de cada ramal de conduto adutor será flangeada uma válvula borboleta. Estas válvulas permitirão efetuar os trabalhos de manutenção das turbinas sem a necessidade de esvaziar o conduto forçado. As válvulas serão equipadas com contrapeso para proteção das turbinas na parada das unidades.

As espessuras das chapas dos condutos forçados são as seguintes:

Descrição	Diâmetros (m)	Espessura (mm)
Conduto	4	8
Conduto	4	25,4
Ramificação	1,95	11,5
Ramificação	1,6	10
Ramificação	1,5	10
Ramificação	1	6,5

Deverão ser realizadas escavações para a implantação e montagem destes condutos forçados, devendo estes condutos ficarem apoiados sobre um berço de concreto armado. Na parte inferior do conduto, antes da ramificação, o conduto será devidamente ancorado à rocha de fundação através de um bloco de ancoragem para absorver os esforços decorrentes da mudança de direção do fluxo d'água. Prevê-se a instalação de uma junta de dilatação na parte superior do conduto, após o bloco de ancoragem superior, para absorver os deslocamentos decorrentes das variações térmicas sazonais.

A derivação que ocorre na extremidade de jusante do conduto forçado deverá receber um revestimento de concreto armado, de modo a solidarizar o conduto na rocha de fundação, neutralizando os esforços decorrentes da mudança de direção do fluxo d'água na entrada da casa de força.

4.4.1 Transitórios Hidráulicos

O circuito de adução foi analisado quanto aos transientes hidráulicos de forma a verificar a adequação do arranjo em relação as linhas piezométricas máxima e mínima.

Um programa computacional foi elaborado especificamente para cálculo do golpe de aríete nesta tubulação, quando do fechamento do distribuidor das turbinas supondo as mesmas operando com vazão máxima.

Os dados básicos de entrada do programa são:

$Q = 45,1 \text{ m}^3/\text{s}$ = vazão total turbinada;

$D = 4, \text{ m}$ = diâmetro da tubulação forçada em aço;

$V = 3,6 \text{ m/s}$ = velocidade média do fluxo na tubulação forçada;

$NAR = 309,23 \text{ m}$ = cota do nível d'água normal no reservatório de montante;

$NA \text{ sucção} = 243,1 \text{ m}$ = cota do nível d'água normal no canal de fuga a jusante;

$HB = 66,13 \text{ m}$ = queda bruta;

$HN = 65,32 \text{ m}$ = queda líquida para a vazão total turbinada;

$F1 = 0,01020$ = coeficiente de rugosidade da equação universal da perda de carga;

$K = 0,1 \text{ mm} \times 1,4 = 0,14 \text{ mm}$ = coeficiente de rugosidade absoluta (ABNT) para tubulação em aço;



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

$L = 163$ m comprimento total desenvolvido da tubulação forçada;

$A = 1000$ m/s celeridade da onda de golpe na tubulação de adução;

$Ke1 = 0,5$ = coeficiente de perda de carga localizada na entrada da tomada d'água a montante;

$Dh = ke1 \times (V^2/2g)$ = perda de carga localizada;

$Ks = 1$ = coeficiente de perda de carga localizada nas saídas dos tubos de sucção;

$Td = 7,5$ segundos = tempo de fechamento do distribuidor das 4 turbinas, adotado para turbinas Francis horizontal com queda média abaixo de 70 m.

Os resultados das análises mostraram as seguintes condições:

No **Gráfico 4.1** está traçado o perfil longitudinal do teto da tubulação forçada com o traçado de 3 linhas piezométricas:

- 1) Linha piezométrica envoltória das cotas de pressões máximas obtidas durante o desenrolar do fenômeno do golpe de ariete, para todas as seções transversais de cálculo da tubulação.
- 2) Linha piezométrica envoltória das cotas de pressões mínimas nas mesmas seções da tubulação.
- 3) Linha piezométrica inicial em regime permanente.

Devido ao pequeno comprimento da tubulação as linhas piezométricas envoltórias máximas e mínimas, oscilaram pouco em torno da linha em regime permanente.

As pressões mínimas estão bastante acima da linha de teto da tubulação e as pressões máximas acarretaram espessuras pequenas da chapa da tubulação em aço dimensionada para combate do golpe de ariete calculado.

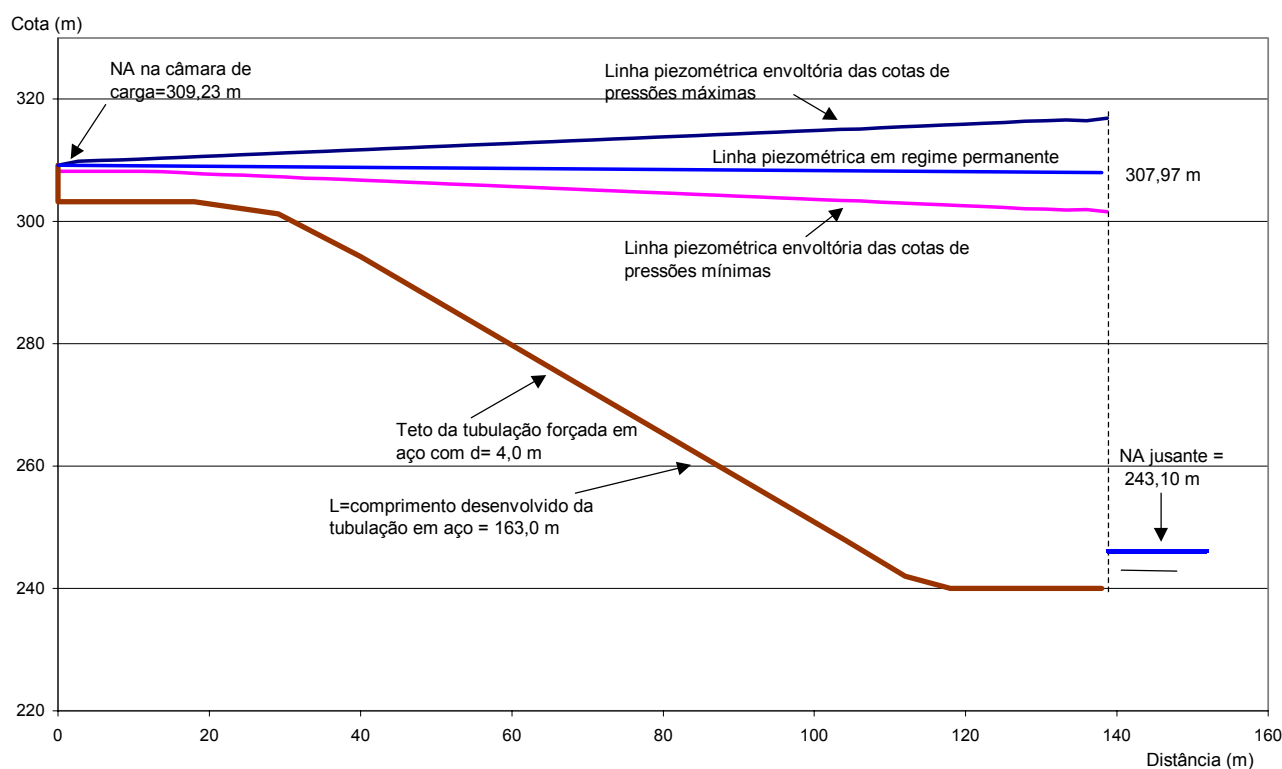


Gráfico 4.1: UHE Salgado II – Transitórios Hidráulicos no Conduto Forçado



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

4.5 Casa de Força

A Casa de Força de Salgado II será do tipo semi-abrigada constituída por uma estrutura de concreto armado fundada em rocha sã, abrigando em seu interior quatro unidades turbo-geradoras tipo Francis de eixo horizontal. À esquerda das máquinas, estará posicionada uma válvula dispersora de 1,5 m de diâmetro e capacidade de vazão de 45,1 m³/s. À direita das unidades geradoras estará localizada a área de montagem.

A largura dos blocos, bem como as dimensões do tubo de sucção foram estabelecidas através de arranjos semelhantes de outras usinas do mesmo porte, e com informações obtidas dos principais fabricantes de turbinas tipo Francis de eixo horizontal, de modo a garantir escoamento uniforme e velocidades compatíveis, minimizando as perdas hidráulicas. Tais dimensões serão definitivamente estabelecidas por ocasião do projeto executivo, quando os projetos de fabricação das turbinas e grupos geradores estiverem concluídos. As dimensões das peças estruturais foram definidas com base na experiência de obras semelhantes.

O acesso à casa de força será realizado pelo lado direito do empreendimento. A área de montagem ficará situada neste lado, na cota 251,9 m, e junto à estrutura da unidade 04. A montante desta unidade, localiza-se o poço de drenagem e esvaziamento que apresenta em planta uma seção quadrada de 2,5 m, com paredes internas de 0,3 m de espessura.

No piso da cota 251,9 m, a montante da Casa de Força, ficará estacionado um transformador em baía separada por paredes tipo corta-fogo, sobre uma estrutura que se apoia lateralmente na face de montante da Casa de Força e sobre pilares fundados na fundação rochosa da cota 236,47 m.

A jusante da casa de força, existirá um pórtico de concreto armado a partir da cota 251,9 m, onde estará implantada uma monovia com uma talha elétrica de 150 kN de capacidade, para os serviços de manuseio da comporta ensecadeira de jusante e válvulas dispersoras (**Figura 4.2**).

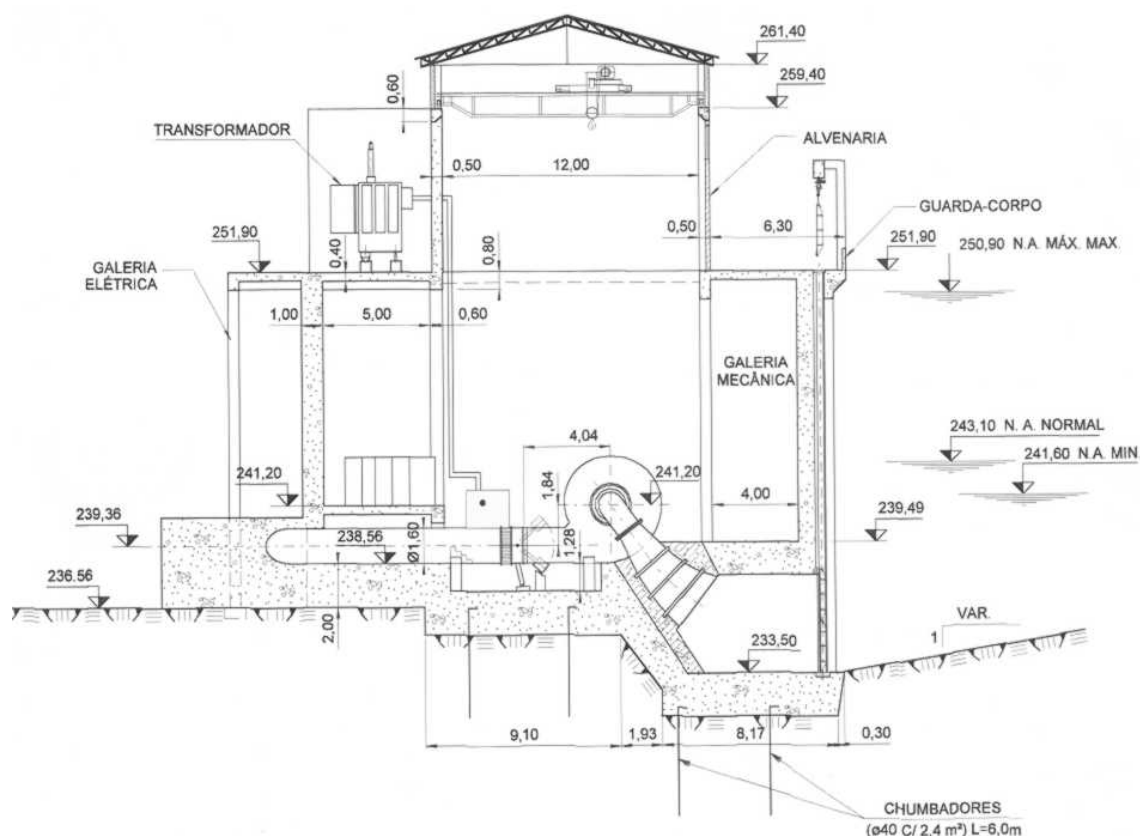


Figura 4.2 - Casa de Força de Salgado II



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A laje de fundo e as paredes situadas abaixo da cota 251,9 m serão moldadas em concreto armado classe B, que apresenta resistência característica $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias. Acima da cota 251,9 m, o fechamento da casa de força será feito através de paredes de alvenaria estruturadas no conjunto de pilares que sustentarão as vigas de apoio da ponte rolante.

No interior da casa de força, a montante na cota 241,2 m ficará um piso onde estarão instalados os equipamentos elétricos, dos sistemas de serviços auxiliares. O acesso a este piso será realizado através de escadas de concreto armado a partir do piso dos geradores, conforme pode ser observado no desenho EN.B/III.DS.ME.0008, página 139 do caderno de desenhos. O acesso ao piso dos geradores será feito por escada a partir do piso 251,9 entre a unidade 01 e a válvula dispersora. A jusante, na cota 239,49 m, sobre a estrutura de sucção, situar-se-á o piso da galeria dos equipamentos mecânicos,

A casa de força será equipada com uma ponte rolante de 450 kN de capacidade estimada, que será utilizada na fase de construção e montagem, para o içamento e transporte dos conjuntos montados mais pesados das turbinas e geradores, bem como auxiliará nas montagens parciais desses equipamentos. Posteriormente, durante a fase de operação da usina, será utilizada na manutenção geral dos equipamentos da casa de força.

A estrutura da válvula dispersora ficará posicionada no lado esquerdo da casa de força. É formada basicamente de uma estrutura composta por dois pisos. O inferior situado na cota 243,6 m formado pela laje de fundo, onde se apoiam a válvula dispersora e equipamentos periféricos auxiliares, e o superior de fechamento situado na cota 251,9 m. Esta estrutura terá 17,5 m de comprimento e 14 m de largura.

O piso inferior situado na cota 243,6 m é formado por uma laje de fundo de 1 m de espessura, apoiada sobre rocha sã. Desta laje sairão paredes verticais, que, juntamente com a estrutura de saída da válvula dispersora, darão apoio ao piso superior situado na cota 251,90 m, conforme pode ser observado no desenho EN.B/III.DS.ME.0008, página 139 do caderno de desenhos. O acesso de pessoas ao piso inferior será feito através de escada tipo marinheiro, a partir do piso superior.

O piso superior situado na cota 251,9 m será formado por uma laje retangular apresentando as mesmas dimensões em planta da laje de fundo. Esta laje apresentará um conjunto de aberturas com tampas metálicas para a passagem de equipamentos mecânicos.

A estrutura situada no desemboque da válvula dispersora será formada por uma câmara blindada de formato interno retangular, de 3 m de comprimento, com centro na cota 246,1 m, e formato externo retangular. A extremidade de jusante da estrutura das válvulas dispersoras será formada por um muro vertical de 0,5 m de espessura que liga a laje de fundo ao canal de fuga na cota 239,10 m.

Para a estrutura das válvulas dispersoras foi adotada a classe de concreto B, que terá resistência característica $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias.

4.6 Equipamentos Mecânicos

A casa de força ser do tipo abrigada, com aproximadamente 1.700 m², incluindo a área de montagem, e de descarga, onde serão instaladas quatro unidades geradoras e uma válvula dispersora. As máquinas serão duas de 8.763 kW, uma 5.670 kW, e uma 3.093 kW de potência, no eixo da turbina. A válvula dispersora será de diâmetro 1,5 m e capacidade de 45,1 m³/seg. Está prevista a construção da estrutura abrigando uma ponte rolante. Os cortes e as plantas da Casa de Força, assim como a localização dos equipamentos, estão indicados nos desenhos EN.B/III.DS.ME.0006 a 0008, páginas 138 a 140 do caderno de desenhos.

Na parte considerada como sendo a superestrutura, encontram-se os pilares e as vigas para a instalação da ponte rolante, que terá um vão de 12 m. A ponte servirá para a movimentação dos equipamentos, tanto na fase de sua instalação, como na fase de operação e manutenção



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A jusante das unidades, mais especificamente das turbinas, saem os tubos de sucção dotadas de comportas ensecadeiras.

Na Casa de Força será instalado os seguintes equipamentos e sistemas mecânicos:

Turbinas Hidráulicas e Acessórios

As características principais das turbinas são:

Quantidade / Tipo	4 Francis Eixo Horizontal Simples Sucção
Potência unitária nominal no eixo	2 x 8.763 kW 1 x 5.670 kW 1 x 3.093 kW
Queda bruta nominal	66,13 m
Queda bruta mínima operacional	59,39 m
Queda bruta máxima	67,63 m
Rotação nominal	400 rpm para a turbina de 8.763 kW 514,29 rpm para a turbina de 5.670 kW 720 rpm para a turbina de 3.093 kW
Sentido de rotação	Anti Horário visto do gerador
Faixa operacional mais freqüente	50% a 100% da potência máxima (na queda considerada)
Tipo do regulador	Ação PID digital
Tipo de comando da usina	Previsão para telecomando futuro
Sobrepresão máxima admissível noconduto forçado quando da rejeição da plena carga da turbina	35 % da queda nominal
Sobrevelocidade máxima admissívelnas mesmas condições acima	50% da rotação nominal

Válvula Borboleta de Proteção da Turbina

As válvulas borboletas serão do tipo acionado por servomotor e contrapeso, munidas de tubulação de *by-pass* e respiro.

Serão instaladas a montante das respectivas turbinas e terão por função a proteção das mesmas quando de uma falha no fechamento do distribuidor. Terão também a função de permitir a manutenção das turbinas sem a necessidade de esvaziar os condutos adutores.

São as seguintes suas características principais:

Diâmetro aproximado	1,95 m para a turbina de 8.763 kW 1,6 m para a turbina de 5.670 kW 1,0 m para a turbina de 3.093 kW
Acionamento	Servomotor e contrapeso



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Válvula Dispersora

A válvula dispersora entrará em operação por ocasião da parada das unidades geradoras e operará sob quaisquer níveis d'água de montante e jusante como um órgão regulador de vazão.

No controle da vazão, a válvula deverá fornecer a vazão controlada até o valor máximo de 45,1 m³/s.

A válvula dispersora será basicamente constituída de um corpo cilíndrico fixo, de um obturador cilíndrico móvel e de conjuntos de vedação a montante e a jusante.

O acionamento da válvula será feito através de servomotores de dupla ação.

A montante da válvula dispersora será instalada uma válvula esférica para permitir os trabalhos de manutenção na válvula dispersora.

O diâmetro previsto para a válvula dispersora será de 1,5 m.

Ponte Rolante da Casa de Força

A ponte rolante da casa de força será utilizada para a montagem e a manutenção das turbinas, geradores, válvulas borboleta e todos os outros equipamentos mecânicos e elétricos a serem instalados no interior da casa de máquinas.

A ponte rolante deverá ser do tipo monoviga, com translação motorizada equipada com carro guincho e uma talha elétrica comandados por botoeira suspensa.

O gancho principal da ponte deverá ter alcance para montagem e manutenção das válvulas borboleta.

São as seguintes suas características principais:

Capacidade estimada, a ser confirmada pelo fornecedor do grupo gerador	45 ton
Vão entre linhas de centro dos trilhos	15 m
Cursos de elevação	20 m
Velocidade de elevação	2 m/min
Velocidade de translação do carro	10 m/min
Velocidade de translação da ponte	5 m/min
Extensão do caminho de rolamento	85 m

Comporta Ensecadeira e Talha / Monovia de Jusante

A comporta ensecadeira do tubo de sucção terá por função possibilitar a manutenção das turbinas hidráulicas. Haverá dois jogos de painéis, um jogo permitirá o fechamento da unidade geradora de 3.000 kW, e o outro jogo atenderá as outras três unidades geradoras, de potência instalada 8.500 e 5.500 kW, possibilitando o fechamento de um vão de grupo gerador de cada vez. Cada jogo de comportas ensecadeiras de jusante é constituído de três painéis iguais e intercambiáveis.

A movimentação da comporta ensecadeira será efetuada através de uma viga pescadora, provida de mecanismo de engate e desengate automáticos acionada por meio da talha da monovia do tubo de sucção.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A movimentação será sempre feita em equilíbrio de pressões. A comporta ensecadeira será dotada de válvulas de enchimento, acionadas pelo peso próprio da viga pescadora. A comporta ensecadeira e a viga pescadora serão guiadas por peças fixas embutidas nos pilares de concreto, as quais servirão também para transmitir as reações ao concreto.

Quando fora de operação, a comporta ensecadeira e a viga pescadora serão estocadas nos topos das ranhuras através de dispositivos de calagem apropriados.

A talha para a manobra dos painéis da comporta ensecadeira de jusante será do tipo elétrica com acionamento através de botoeira pendente, sendo a capacidade prevista de 75 kN, a ser confirmado pelo fornecedor da comporta.

São as seguintes as suas características principais:

Comporta Ensecadeira	Tipo 1 (1 jogo)	Tipo 2 (1 jogo)
Vão livre	5,1 m	3,3 m
Altura livre	5 m	5 m
Quantidade de Comportas	1	1
Quantidade de painéis por Comporta	3	3
Altura de um painel	1,67 m	1,67 m
Largura de um painel	5,4 m	3,6 m
Elevação da soleira	233,5 m	233,5 m
Elevação da borda superior da abertura	238,5 m	238,5 m
Elevação do topo das peças fixas	251,9 m	251,9 m

Sistemas Auxiliares Mecânicos

Ver descrição no item 3.6.1

4.7 Canal de Fuga

O canal de fuga da válvulas dispersora de Salgado II parte em rampa desde a cota 239,1 m até a cota 241 m. O canal de fuga das unidades geradoras parte também em rampa desde a cota 233,5 m até a cota 241 m, a partir daí, juntamente com o trecho relativo à válvula dispersora segue até concordar com o rio Salgado.

5 . EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DAS USINAS E SUBESTAÇÕES

As descrições aplicam-se indistintamente às usinas Salgado I e Salgado II devido a sua similaridade.

a) Subestações Elevadoras 6,9 - 69 kV

As subestações serão do tipo convencional, barra simples, 69 kV. Será a partir das subestações elevadoras das usinas hidrelétricas que a energia gerada será transmitida através de linhas de transmissão em 69 kV até subestação elevadora de Caiçara de 69 – 230 kV (definida no Trecho II) e a partir daí poderá alimentar as Estações de Bombeamento instaladas no Trecho I, que por sua vez alimentarão as Estruturas de Controle, Tomadas de Uso Difuso e Estruturas de Derivação.

A tensão de geração será em 6,9 kV e, através de um transformador elevador passará esta tensão para 69 kV. As usinas hidrelétricas Salgado I e Salgado II serão interligadas por uma linha de transmissão em 69 kV até a subestação elevadora de Caiçara.

b) Transformadores Elevadores



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Usina Hidrelétrica de Salgado I

Um transformador de força, trifásico, 24/30 MVA, relação 6,9 - 69 (+/- 2 X 2,5 %) kV, 60 HZ, ONAN/ONAF, com TCs na bucha de alta relação 300 / 150-5 A, classe de precisão 10B100.

- Usina Hidrelétrica de Salgado II

Um transformador de força, trifásico, 23/29 MVA, relação 6,9 - 69 (+/- 2 X 2,5 %) kV, 60 HZ, ONAN/ONAF, com TCs na bucha de alta relação 300 / 150-5 A, classe de precisão 10B100.

c) Unidades Geradoras e Equipamentos Associados

Os geradores serão instalados em casa de força coberta, sobreposto em piso de concreto.

Os geradores serão síncronos completos, com bases de apoio, chumbadores para o estator, mancais e bases, elementos de acoplamento ao eixo da turbina.

São considerados equipamentos associados todos os sistemas auxiliares elétricos ou mecânicos diretamente ligados às unidades geradoras:

- Equipamentos de aterramento do neutro dos geradores (para cada unidade geradora);
- Equipamentos de proteção contra surtos e transformadores de potencial (para cada unidade geradora);
- Equipamentos de proteção contra surtos e transformadores de potencial (para cada unidade geradora);
- Transformadores de corrente para proteção, controle, supervisão, reguladores de tensão e velocidade (para cada unidade geradora);
- Equipamentos de proteção contra circulação de corrente pelos mancais da unidade (para cada unidade geradora);
- Sistemas de excitação completo com reguladores de tensão automático digital e transformadores de excitação (para cada unidade geradora);
- Sistemas de aquecimento dos geradores (para cada unidade geradora);
- Sistemas de frenagem e levantamento acoplado ao eixo da unidade, completo com unidade pneumática e hidráulica, válvulas, detetores de pressão, tubulações, moto-bomba, reservatório de ar e óleo, dispositivos de controle do sistema (para cada unidade geradora);
- Sistemas de resfriamento do gerador e mancais, completo incluindo trocadores de calor, moto-bombas (se o sistema exigir), detetores de temperatura, vazão, pressão, válvulas, tubulações, dispositivos de controle do sistema (para cada unidade geradora);
- Conjuntos de instrumentos, sensores e dispositivos de supervisão dos equipamentos e sistemas auxiliares acima relacionados (para cada unidade geradora);
- Sistemas de monitoramento contínuo das oscilações do eixo e temperaturas da unidade (para cada unidade geradora).

Os geradores das usinas hidrelétricas são do tipo horizontal, com fator de potência indutivo de 0,9, frequência de 60Hz e tensão nominal de geração 6,9 kV, sendo as seguintes, suas características:

USINA HIDRELÉTRICA SALGADO I				
	UNIDADE 01	UNIDADE 02	UNIDADE 03	UNIDADE 04
GERADORES ACOPLADOS A TURBINAS TIPO	FRANCIS HORIZONTAL SIMPLES	FRANCIS HORIZONTAL SIMPLES	FRANCIS HORIZONTAL SIMPLES	FRANCIS HORIZONTAL SIMPLES



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

POTÊNCIA NOMINAL	10 MVA	10 MVA	6,67 MVA	3,33 MVA
POTÊNCIA ATIVA	9 MW	9 MW	6 MW	3 MW
ROTAÇÃO	400 rpm	400 rpm	514,29 rpm	720 rpm

USINA HIDRELÉTRICA SALGADO II				
	UNIDADE 01	UNIDADE 02	UNIDADE 03	UNIDADE 04
GERADORES ACOPLADOS A TURBINAS TIPO	FRANCIS HORIZONTAL SIMPLES	FRANCIS HORIZONTAL SIMPLES	FRANCIS HORIZONTAL SIMPLES	FRANCIS HORIZONTAL SIMPLES
POTÊNCIA NOMINAL	9,44 MVA	9,44 MVA	6,11 MVA	3,33 MVA
POTÊNCIA ATIVA	8,5 MW	8,5 MW	5,5 MW	3 MW
ROTAÇÃO	400 rpm	400 rpm	514,29 rpm	720 rpm

d) Sistema de Média Tensão

O Sistema de Média Tensão será constituído por cubículos equipados com disjuntores, seccionadores, transformadores de corrente, etc. que, recebendo alimentação proveniente das unidades geradoras alimentará um transformador elevador e o transformador de serviços auxiliares.

O Sistema de Média Tensão, na tensão de 7,2 kV, trifásico terá as seguintes características:

- 1 cubículo de saída para transformador elevador, composto por: seccionador trifásico de abertura em carga, transformadores de corrente e sistema de intertravamento;
- 4 cubículos para receber alimentação dos geradores, cada um composto com disjuntor extraível;
- 1 cubículo para alimentação do transformador de serviços auxiliares, transformadores de potencial e de serviços auxiliares composto por seccionador fusível, transformadores de potencial para sincronização e transformador de força para serviços auxiliares, seco, com isolamento em resina epóxi.

Corrente nominal dos circuitos

As correntes nominais dos disjuntores ou seccionador do transformador de serviços auxiliares serão as seguintes:

CORRENTE NOMINAL				
UNIDADE 1	UNIDADE 2	UNIDADE 3	UNIDADE 4	TRAFO
1250 A	1250 A	630 A	630 A	200 A

Correntes nominais de Curta Duração e Potência de Curto Circuito

As correntes nominais suportáveis de curta duração, (1s) e potência de curto circuito – serão as seguintes:



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

CORRENTE DE CURTO CIRCUITO E POTÊNCIA DE CURTO CIRCUITO		
	UHE SALGADO I	UHE SALGADO II
CORRENTE DE CURTO CIRCUITO	42 kA	40 kA
POTÊNCIA DE CURTO CIRCUITO	500 MVA	479 MVA

e) Sistema de Serviços Auxiliares de Corrente Alternada

O Sistema de Serviços Auxiliares de Corrente Alternada será constituído por transformador de serviços auxiliares, quadros de distribuição das usinas hidrelétricas, quadros de distribuição das subestações e grupos diesel geradores. A tensão de utilização para os serviços auxiliares de corrente alternada será 380 / 220 Vca.

O Sistema de Serviços Auxiliares de Corrente Alternada, na tensão de 380/220 V, trifásico, será constituído por:

- transformador trifásico, 6.900 - 380 / 220 Vca, 250 kVA, seco, AN, encapsulados em epóxi, conforme norma NBR10295, completo, com todos os acessórios e transformador de corrente de neutro;
- quadro de distribuição de corrente alternada QDCA, completo com alimentadores provenientes do transformador de serviços auxiliares, alimentador proveniente do grupo diesel gerador, disjuntor de interligação, alimentadores de cargas, demarradores de motores, transformadores de corrente, sistema de proteção, sistema de medição e sistema de intertravamento;
- quadro de distribuição de corrente alternada da subestação QDSE, completo com alimentadores provenientes do quadro QDCA, alimentadores de cargas, transformadores de corrente, sistema de proteção, sistema de medição e sistema de intertravamento;
- grupo diesel gerador trifásico, 125 kVA, 380 / 220 Vca, completo com painel PCGD com alimentador para QDCA, transformadores de corrente, sistema de proteção, sistema de medição e sistema de intertravamento.

f) Sistema de Serviços Auxiliares de Corrente Contínua

O Sistema de Serviços Auxiliares de Corrente Contínua será constituído por carregadores de baterias, baterias e quadros de distribuição.

As tensões de utilização para os serviços auxiliares de corrente contínua será de 125 Vcc para comando, controle e proteção. A tensão de 48 Vcc, a ser utilizada em telecomunicação, será proveniente de conversores 125-48 Vcc a ser instalado nos quadros de telecomunicação.

O Sistema de Serviços Auxiliares de Corrente Contínua, na tensão de 125 Vcc, positivo e negativo isolados de cada Usina Hidrelétrica será constituído por:

- dois carregadores de baterias entrada trifásica 380 Vca, saída 125 Vcc, 10 kVA, 75 A, alimentados através do QDCA ou QDSE, com unidade de diodos de queda;
- duas baterias com 60 elementos tensão nominal 125 V, 350 Ah/10horas, alimentada pelos carregadores;
- um quadro de distribuição de corrente contínua QDCC, completo com alimentadores provenientes dos retificadores através da unidade de diodos de queda, alimentadores de cargas, shunt, sistema de proteção e sistema de medição.

g) Sistema de Iluminação e Tomadas

O sistema de iluminação proporcionará o iluminamento adequado às diversas áreas das Usinas Hidrelétricas, 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



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

mínimo de iluminamento deverá ser mantido sob quaisquer condições de operação, bem como no regime de operação não assistida.

Na área interna das Usinas Hidrelétricas 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 30 lux.

Adicionalmente, haverá iluminação de balizamento nas áreas externas e onde possa ocorrer circulação de pessoal com, no mínimo de 5 lux. Nas áreas com quadros elétricos, vestiários, sala de baterias, será previsto um iluminamento mínimo de 150 lux além de iluminamento localizado de 350 lux para a sala de controle bem como a possibilidade de instalação de projetores portáteis.

h) Sistema de Vias de Cabos

O sistema de vias de cabos das Usinas Hidrelétricas deverá ser implantado em bandejas de aço galvanizado com largura de 500 mm, aba 150 mm e em eletrodutos flexíveis com conectores para ligação aos equipamentos e motores.

Internamente às bandejas, os cabos deverão ser suportados e separados em níveis, de acordo com funções específicas (média tensão / baixa tensão ca / controle / telecomunicação). Os eletrodutos para acoplamento aos equipamentos também deverão conter cabos de mesma função.

i) Sistema de Fiação

O sistema de fiação compreenderá o conjunto de cabos e fios isolados necessários à interligação dos equipamentos, entre os equipamentos e o sistema de proteção, entre os equipamentos e o sistema de controle, estando considerados todos os cabos utilizados na distribuição de energia, comando, controle, proteção, telefonia e iluminação.

Tipos de Cabos

As categorias de cabos serão as seguintes:

- Cabos de Controle com isolamento termoplástico ou termoestável, classe 600 V multipolares, blindados ou não, com condutores de cobre;
- Cabos de iluminação 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;
- Cabos de energia, em baixa tensão (0,6 a 1 kV) serão cabos de três 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 condutor com seção mínima de 25 mm²;
- Cabos tipo telefônico, multipares, blindados para Sistema de Controle Digital.

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

j) Sistema de Aterramento

O sistema de aterramento foi dimensionado conforme norma IEEE 80/1976 levando em consideração um solo com resistividade de 1000 Ωm. Para cálculo da resistência de aterramento da instalação, bem como de potenciais perigosos, nas Usinas Hidrelétricas e Subestações, no projeto executivo, deverão ser realizadas medições para obtenção da resistividade do solo na região das instalações, pelo método de WERNER.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As Usinas Hidrelétricas foram providas de um sistema de aterramento constituído por cabos de cobre nu sobre o solo escavado interconectados por soldagem decorrente de processo exotérmico, interligação da malha com as ferragens estruturais também através de conexões exotérmicas.

Os condutores principais que sobem para os níveis superiores serão conectados a placas de aterramentos, possibilitando a conexão dos equipamentos e partes metálicas não energizáveis ao sistema de aterramento. A bitola mínima dos condutores principais estabelecida como 95 mm² em função dos esforços mecânicos do lançamento e instalação.

No dimensionamento do cabo da malha foi adotado um tempo de eliminação da falta de 1 segundo. Para cálculo dos potenciais deverá ser adotado um tempo de falta de 0,5 segundos. As estruturas e partes metálicas não energizadas dos equipamentos serão conectadas à malha de aterramento por meio de cabos de cobre nu de bitola mínima 25 mm².

A malha terá 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.

Os sistemas de aterramento das Usinas Hidrelétricas serão interligados ao Sistema de Aterramento das Subestações.

k) Sistema de Proteção Atmosférica

Todas as instalações deverão ter seus equipamentos e materiais protegidos contra descargas atmosféricas. Para tanto deverão ser empregadas hastes, pára-raios e utilizados cabos guarda em posições estudadas para que se consiga uma proteção adequada a todas as instalações. Todos os equipamentos utilizados para a proteção atmosférica deverão ser rigidamente conectados na malha de terra da usina hidrelétrica.

5.1 Equipamentos de Proteção das Unidades Geradoras e Subestações

São os seguintes os sistema que compõem a proteção das usinas e subestações:

a) Usina Hidrelétrica Salgado I

Conforme diagrama unifilar mostrado no desenho EN.B/III.DS.EL.0006 - página 133 do caderno de desenhos.

- quatro Sistemas de Proteção das Unidades Geradoras (PPU1 a PPU4).
- um Sistema de Proteção da Linha de Transmissão de 69 kV e Transformador Elevador (PPL1).
- um Sistema de Proteção da Linha de Transmissão de 69 kV (PPL2).

b) Usina Hidrelétrica Salgado II

Conforme diagrama unifilar nº EN.B/III.DS.EL.0014 - página 149 do caderno de desenhos.

- três Sistemas de Proteção das Unidades Geradoras (PPU1 a PPU4).
- um Sistema de Proteção da Linha de Transmissão de 69 kV e Transformador Elevador (PPL1).

c) Sistema de Monitoração Remoto das Proteções

Equipamentos acessórios e programas necessários à monitoração remota de todos os sistemas de proteção, a partir do Centro de Controle e Operação CCO instalado na EBI-3 do Trecho I.

5.2 Equipamentos de Comando e Controle das Usinas Hidrelétricas e Subestações

Como o sistema digital de supervisão e controle (SDSC) é dimensionado para atender a todo o empreendimento e o Trecho III deverá ser interligado ao sistema definido no Trecho I, apresenta-



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

se a seguir a formação deste sistema que está detalhado no Relatório R9 - Sistema de Supervisão, Controle e Telecomunicação.

a) Estrutura Hierárquica do Sistema

A estrutura hierárquica do Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) foi concebido em três níveis funcionais conforme mostrado a seguir.

Nível 1

O nível inferior do SDSC, identificado como nível 1, corresponde aos subsistemas locais de aquisição de dados e controle associados aos elementos das usinas hidrelétricas, subestações, estruturas de controle e tomadas d'água de uso difuso. Os equipamentos do nível 1 do SDSC, quais sejam, as unidades de aquisição e controle (UAC) formam subsistemas funcionalmente autônomos e independentes entre si e dos níveis superiores, no que se refere à execução das funções básicas de controle, automatismo, medições operacionais e de faturamento necessárias à operação correta e segura dos equipamentos.

Estão incluídas as interfaces convencionais que farão a interligação da UAC com o processo e possibilitarão a parada automática convencional das unidades geradoras em caso de falha da UAC.

Existirá uma UAC para cada unidade geradora e a perda de qualquer uma delas resultará na perda da respectiva unidade geradora.

Para cada subestação de 6,9-69 kV será prevista uma UAC com processador redundante, que efetuará o controle de um transformador elevador, uma ou duas linhas de transmissão de 69kV, tomada d'água, serviços auxiliares elétricos e mecânicos.

Para cada subestação de 69-230 kV será prevista uma UAC com processador redundante. Que efetuará o controle de um transformador elevador, duas linhas de transmissão de 69kV, uma ou duas linhas de transmissão de 230 kV e serviços auxiliares elétricos.

Através da UAC poderão ser executados os comandos manuais locais ou automáticos de cada equipamento ou sistema elétrico e portanto uma IHM adequada a esse fim será prevista.

Está prevista ainda uma UAC para aquisição de dados para cada estrutura de controle e tomada d'água de uso difuso. Através da UAC serão executados comandos de comportas, válvulas, moto-bombas e aquisições de dados como vazão, níveis, estados, etc.

Nível 2

O nível 2 do SDSC será responsável pela supervisão e controle de sua correspondente usina hidrelétrica e subestação ou da subestação de 69-230 kV. Desta forma, através dos equipamentos do nível 2, poderão ser controlados os equipamentos principais e auxiliares de cada usina hidrelétrica e equipamentos da subestação 69 kV ou da subestação de 69-230 kV.

O nível 2 é constituído de duas plataformas computacionais de operação, padrão PC/AT, cada uma com dois monitores, impressora, teclado e mouse, dois roteadores ou plataformas computacionais para a transmissão/recepção de dados do CCO (definido no Trecho I), GPS e dispositivos complementares de sincronização de tempo das várias unidades do SDSC.

As duas plataformas computacionais trabalharão em regime *hot-standby*, podendo o operador efetuar qualquer comando de qualquer uma delas.

As funções de gerenciamento da base de dados, em configuração dual e responsável por todos os armazenamentos e processamentos centralizados, poderão ser efetuadas pelas duas plataformas computacionais acima referidas desde que o desempenho requerido para o SDSC seja garantido. Caso contrário, duas plataformas computacionais adicionais serão previstas para essa função.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Existirá um GPS para cada usina hidrelétrica com a finalidade de efetuar a sincronização de tempo de todas as unidades do SDSC, de maneira que a diferença de tempo entre as unidades seja inferior a 3ms. Estes mesmos GPS efetuarão também a sincronização dos tempos das unidades do sistema digital de proteção.

Está prevista uma fonte de alimentação ininterrupta, constituída de inversor operando conjuntamente com as baterias de 125 Vcc de cada usina hidrelétrica, dimensionada para atender os equipamentos do nível 2 do SDSC.

Nível 3 Centro de Controle e Operação – CCO (definido no Trecho I)

O nível 3 definido no Trecho I, será responsável pela supervisão e controle dos equipamentos e sistemas de todo o empreendimento, compreendendo as três estações de bombeamento do Trecho I, cinco usinas hidrelétricas do Trecho II, duas usinas hidrelétricas do Trecho III, sistemas de transmissão de 69 e 230 kV, estruturas de controle, tomadas d'água de uso difuso, estruturas de derivação e postos de medição remotos.

O nível 3 será constituído de duas plataformas computacionais de operação, padrão PC/AT, cada uma com dois monitores, impressora, teclado e mouse, uma plataforma computacional de treinamento, também padrão PC/AT, com dois monitores, teclado e mouse, duas plataformas computacionais para o gerenciamento da base de dados, dois roteadores para a transmissão de dados dos postos de medição remotos via satélite e um GPS para a sincronização de tempo.

As duas plataformas computacionais de operação funcionarão em regime *hot-standby* podendo a operação de qualquer equipamento ser efetuada de qualquer uma delas.

5.3 Equipamentos de Telecomunicação

Para dar suporte às atividades de operação, manutenção e administração do Trecho III serão instalados os seguintes sistemas de telecomunicações: telefonia e transmissão, a definição detalhada deste sistema que está descrita no Relatório R9 Sistema de Supervisão, Controle e Telecomunicação.

a) Sistema de Telefonia

Permitirá a comunicação telefônica entre o Centro de Controle e Operação (CCO) (já definido no Trecho I) e as usinas hidrelétricas, entre as usinas hidrelétricas e o CCO e as usinas hidrelétricas com as Concessionárias de Serviços de Telefonia Locais.

Será constituído de equipamentos tipo KS a serem instalados nas usinas hidrelétricas, interligados através do sistema de transmissão com a central do CCO. Nas usinas hidrelétricas serão instalados os diversos tipos de aparelhos telefônicos (digitais, analógicos, de mesa, de parede, etc.). Existirão Distribuidores Gerais (DGs) e Rede Interna de Telefonia em todas as localidades.

b) Sistema de Transmissão

Permitirá a comunicação de voz entre o CCO e as usinas hidrelétricas e a comunicação de dados entre o CCO, as usinas hidrelétricas e as subestações. Permitirá também a comunicação de dados entre as estruturas de controle e tomadas d'água de uso difuso, estações hidrológicas e meteorológicas com o CCO.

A comunicação entre o CCO e as usinas hidrelétricas será feita através de:

Sistema óptico, utilizando cabos tipo OPGW com 24 pares de fibras (cabos de terra das linhas de transmissão com cabos ópticos internos), transdutores eletro/ópticos e multiplex.

Serão designadas fibras ópticas dedicadas às transmissões de dados. O multiplex será apenas de voz. Esse sistema também disponibiliza fibras para fazer a teleproteção das linhas de transmissão.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A comunicação entre o CCO, as estruturas de controle, tomadas d'água de uso difuso, estações hidrológicas e meteorológicas será feita por meio de *link* via satélite, com equipamentos transmissores-satélite-receptores que permitirá a comunicação de dados a até 19.200 *bits* por segundo.