SUMÁRIO

CAPÍTULO 4

4. DESCRIÇÃO DO PROJETO 4-1
4.1. ARRANJO GERAL DO PROJETO 4-1
4.2. DESVIO DO RIO 4-5
4.3. BARRAGEM 4-7
4.4. VERTEDOURO 4-8
4.5. CIRCUITO HIDRÁULICO 4-9
4.6. CASA DE FORÇA E CANAL DE FUGA 4-14
4.7. TURBINAS E GERADORES 4-16
4.7.1. Especificações técnica das turbinas 4-16
4.7.2. Especificações técnicas do gerador 4-22
4.7.2.1. Eixo da unidade geradora 4-23
4.7.2.2. Mancais 4-24
4.7.2.3. Sistemas de ventilação 4-26
4.8. SISTEMAS ELETROMECÂNICOS 4-26
4.9. SUBESTAÇÃO 4-26
4.10. TRANSFORMADOR ELEVADOR 4-27
4.11. LINHA DE TRANSMISSÃO 4-28

4. DESCRIÇÃO DO PROJETO

4.1. ARRANJO GERAL DO PROJETO

O arranjo selecionado para a PCH Foz do Catingueiro busca o aproveitamento máximo das quedas naturais existentes trecho de rio considerado. O aproveitamento é caracterizado por ser de desvio, ou seja, capta água do rio em um determinado ponto, desviando uma parcela da vazão do seu curso natural por meio de estruturas adutoras para a geração de energia até restituir a água ao curso natural mais a jusante. Para o trecho atalhado é proposta a manutenção de uma vazão residual ambiental.

O arranjo geral é mostrado nas Figuras 4.1 a 4.3.

Para a PCH Foz do Catingueiro foi prevista uma tomada d'água posicionada na margem esquerda do rio dotada de comporta para controlar o fluxo d'água aduzido.

O circuito hidráulico inicia em um canal escavado em rocha a céu aberto com 138 m de comprimento, passando para um segundo trecho escavado em solo e revestido com geomembrana PEAD, evitando assim erosões decorrentes da passagem da água, com 846 m de comprimento até a câmara de carga.

A partir da câmara de carga, a adução se dá pressurizada através de dois ramais independentes de conduto forçado os quais alimentam as duas unidades hidrogeradoras.

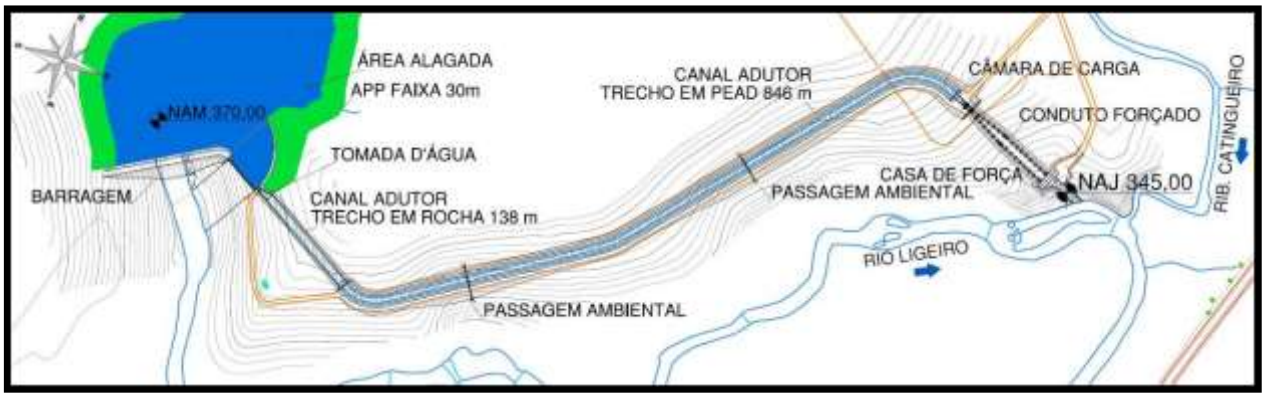


Figura 4.1 - Arranjo geral ilustrativo da PCH Foz do Catingueiro.

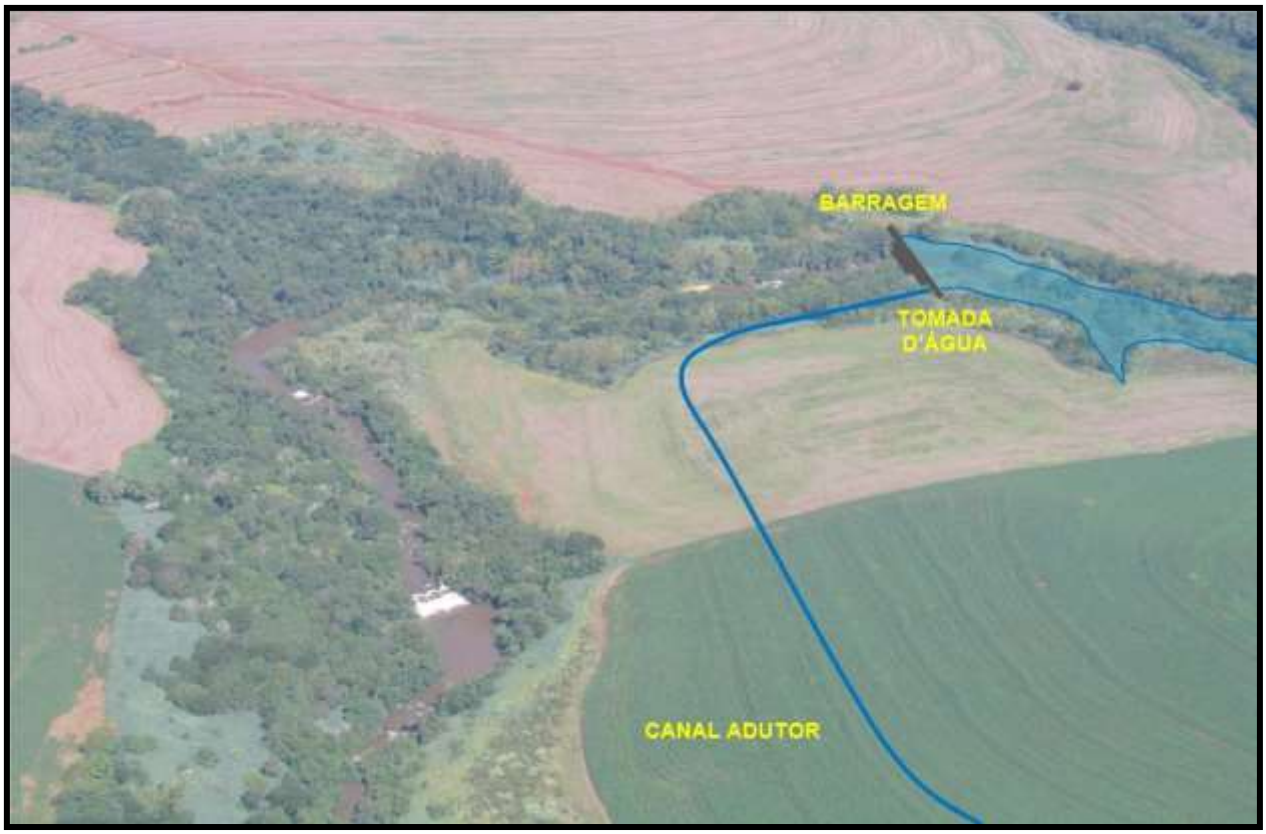


Figura 4.2 - Arranjo geral da PCH Foz do Catingueiro.

O circuito hidráulico finda na casa de força que será construída próxima a margem do rio Ligeiro, valendo-se de um curto canal de fuga e a cota de restituição d'água (NAJ) está previsto na elevação 345,00.

O nível de água de jusante da PCH Foz do Catingueiro ficou, portanto estabelecido na el. 345,00. Seu nível normal de montante foi definido na el. 370,00, configurando uma queda bruta de 25,0 m. Estes níveis respeitam integralmente as condições definidas no estudo de Inventário Hidrelétrico.

A potência instalada sugerida para este aproveitamento modelado é de 3,50 MW, com engolimento nominal de 16,5 m³/s, que possibilita uma geração média anual esperada de 1,87 MWmed ou 16.355 MWh/ano, conforme estudos energéticos e de motorização.

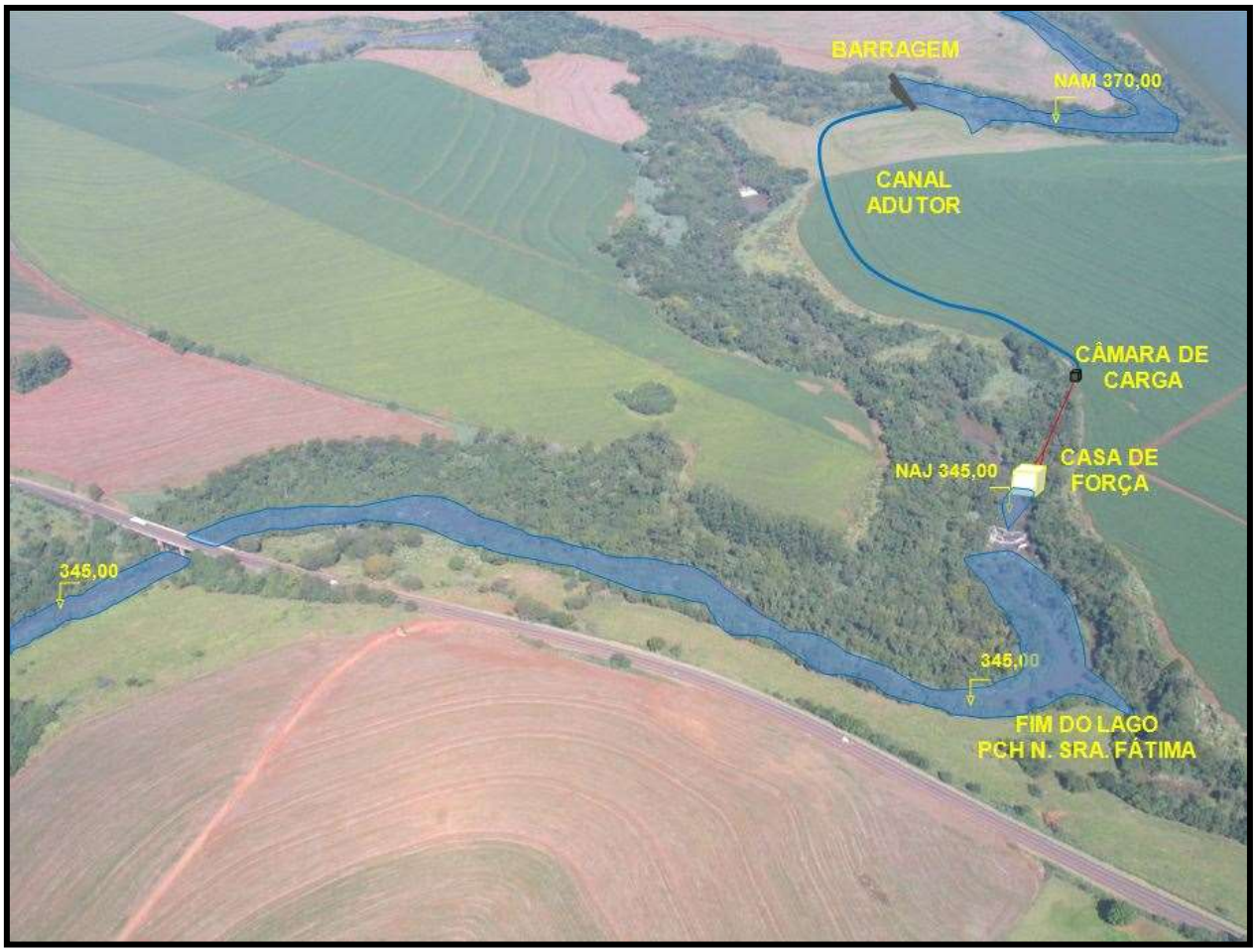


Figura 4.3 - Arranjo geral da PCH Foz do Catingueiro justaposto ao arranjo da PCH Nossa Senhora de Fátima.

O critério de motorização adotado para este eixo, apoiado em uma análise de benefícios e custos incrementais, resultou em fator de capacidade 0,53 para a energia média, o que permite um bom aproveitamento do potencial, resultando em engolimento nominal acima do valor da vazão média de longo termo de 10,6 m³/s neste eixo.

Foi considerado o desconto da vazão sanitária de 1,15 m³/s, correspondendo ao critério 50% $Q_{7,10}$.

A área alagada total resultou 29,46 ha, dos quais 8,73 ha referem-se a calha natural do rio, resultando em uma área efetivamente alagada de 20,73 ha. A faixa de 30 m da margem do alagamento reservada à área de preservação permanente foi calculada em 22,67 ha. O volume total represado atinge 1,106 x 10^6 m³. Como não há deplecionamento do reservatório o volume útil é nulo.

Quando da proposição deste arranjo sondaram-se algumas alternativas de traçado objetivando, em um só lance o aproveitamento integral das quedas disponíveis desde o ponto de barramento até o local previsto da casa de força.

A questão da liberação da vazão sanitária a jusante do barramento foi projetada para ser provida por orifícios juntos a barragem e também operacionalizando a escada de peixe, liberando esta vazão ao pé da barragem.

A seguir é apresentado um descritivo geral do projeto.

Empresa .....Rio Ligeiro Energia Ltda.
CNPJ 08.394.100/0001-51
Projeto .....PCH Foz do Catingueiro
Processo ANEEL Projeto Básico 48500. 006759/2011-52
Rio e quilômetro a partir da foz .....rio Ligeiro km 33
Município .....Cianorte - Margem esquerda
Município .....Jussara - Margem direita
Sub-bacia 64
Bacia 06
Estado .....Paraná
Processo ANEEL Estudo de Inventário Aprovado 48500.000657/2007-76
Área de drenagem .....589 km^2
Vazão média de longo termo Qmlt .....10,60 m^3/s
Vazão sanitária a ser permanentemente liberada (50% $Q_{7,10}$) .....1,15 m^3/s
Vazão Turbinada .....16,50 m^3/s
Nível de água máximo de montante NAMmáx (Tr10.000) 371,48
Nível de água normal de montante NAM 370,00
Nível de água mínimo de montante NAMmin 370,00
Depleção máxima do reservatório .....0,0 m
Volume útil associado .....0,000*10^6 m^3
Volume morto .....1,106*10^6 m^3
Volume total ..... 1,106*10^6 m^3
Área total alagada .....29,46 ha
Área da calha natural do rio .....8,73 ha
Área efetivamente alagada .....20,73 ha
Área de preservação permanente (APP faixa de 30 m) .....22,67 ha
Nível de água médio de montante (p/ cálculos energéticos) 370,00
Nível de água normal de jusante NAJ 345,00

Queda bruta média .....25,00 m
Perda de carga no circuito hidráulico ..... 0,74 m
Queda de projeto da turbina ou design head .....24,26 m
Potência instalada .....3,50 MW
Fator de capacidade p/ energia MLT 0,53
Energia média gerada .....1,87 MWmed
Energia média anual gerada .....16.355 MWmed/ano

4.2. DESVIO DO RIO

Adotou-se como período de recorrência para determinação e dimensionamento das estruturas e níveis relacionados ao desvio do rio um tempo de recorrência de 10 anos.

As margens do rio Ligeiro a jusante da barragem não são habitadas e um eventual rompimento da ensecadeira de baixa altura não envolve risco de perdas de vidas humanas, sendo os prejuízos restritos a paralisação da obra propriamente dita.

O desvio do rio será executado em duas fases. Na primeira fase do desvio, uma ensecadeira será construída com cota da crista na el. 362,00 enlaçando a margem esquerda e permitindo as escavações a seco do canal de desvio e construção da galeria. Nesta fase o rio continua correndo em seu leito natural, apenas com um desvio como mostra a Figura 4.4.

Na segunda fase do desvio todo o fluxo d'água do leito do rio Ligeiro é direcionado para as galeria e adufas de desvio (Figura 4.5).

Para isto será construída uma ensecadeira de montante e jusante, coroada na el. 360,00, fazendo o curso d'água passar pelas adufas de desvio e pela galeria de desvio, assim o leito do rio será ensecado permitindo a construção do restante da barragem a seco.

Para o fechamento da estrutura de desvio, a adufa será construída com nichos no concreto a fim de receber pranchões stop-log também fundidos em concreto e desta forma se dará o enchimento do reservatório.

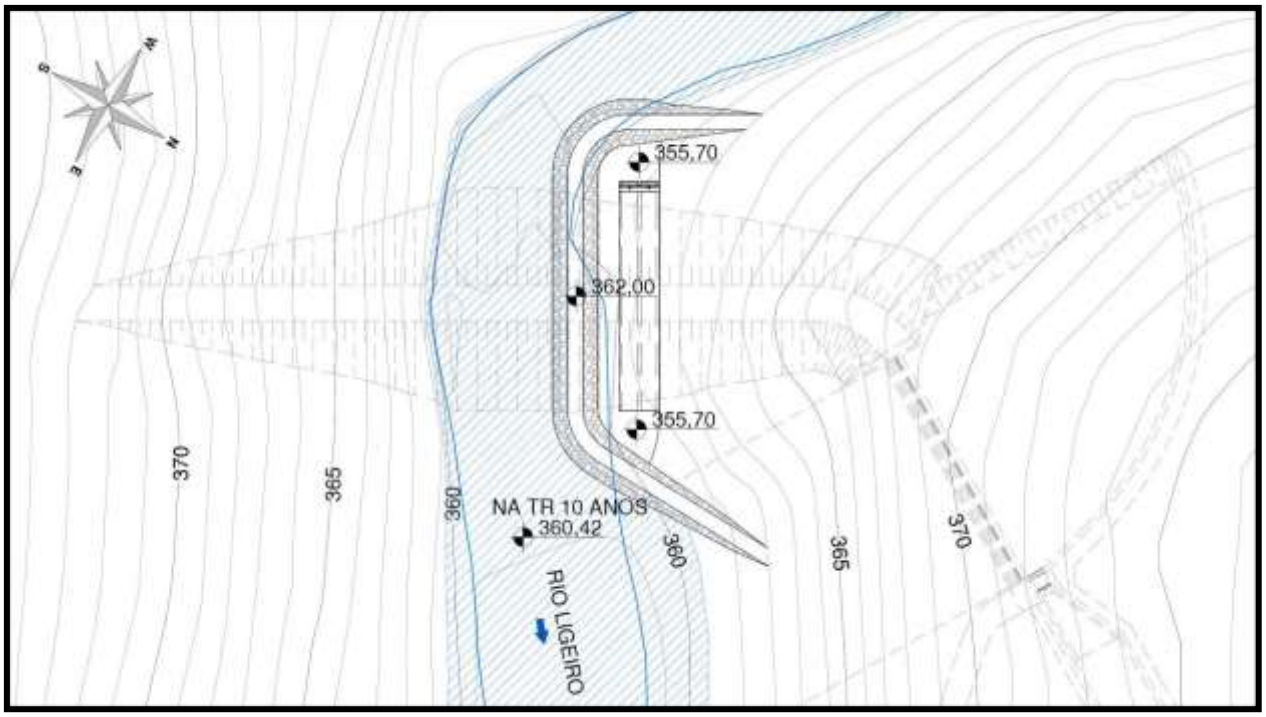


Figura 4.4 - Desvio do rio Ligeiro para construção da PCH Foz do Catingueiro – primeira fase.

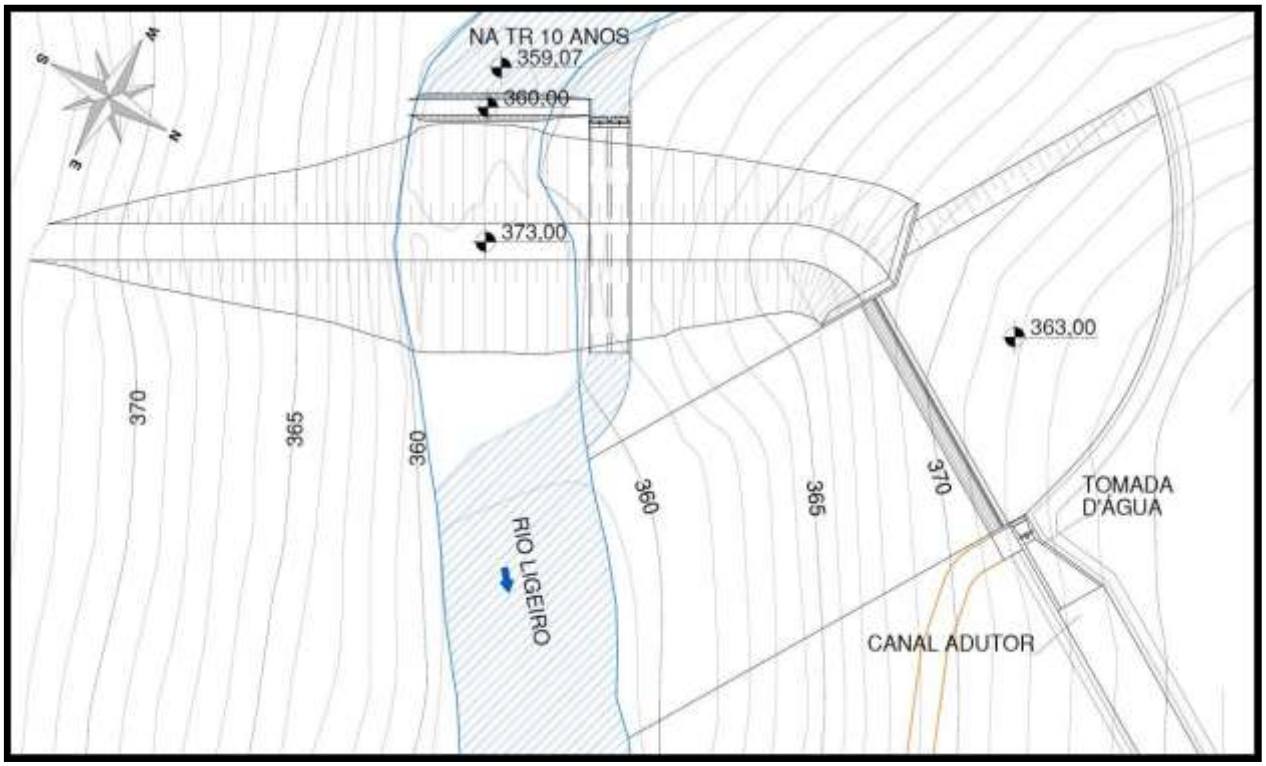


Figura 4.5 - Desvio do rio Ligeiro para construção da PCH Foz do Catingueiro – segunda fase.

4.3. BARRAGEM

A barragem é formada por um corpo de aterro com núcleo de argila protegido por enrocamento coroada na elevação 373,00 localizado na calha do rio. Na margem esquerda há um muro de concreto que contém a barragem em aterro e dá inicio a um vertedor com 50 m de soleira livre vertente.

A Figura 4.6 apresenta o aspecto geral criado em 3D da concepção de aterro. Nesta configuração a barragem como um todo demandaria dum volume de 8.432m³ de enrocamento, 16.301 m³ de argila e 5.578 m³ de material de transição filtrante. O total do custo orçado desta barragem aproxima-se de R$ 800.000,00.

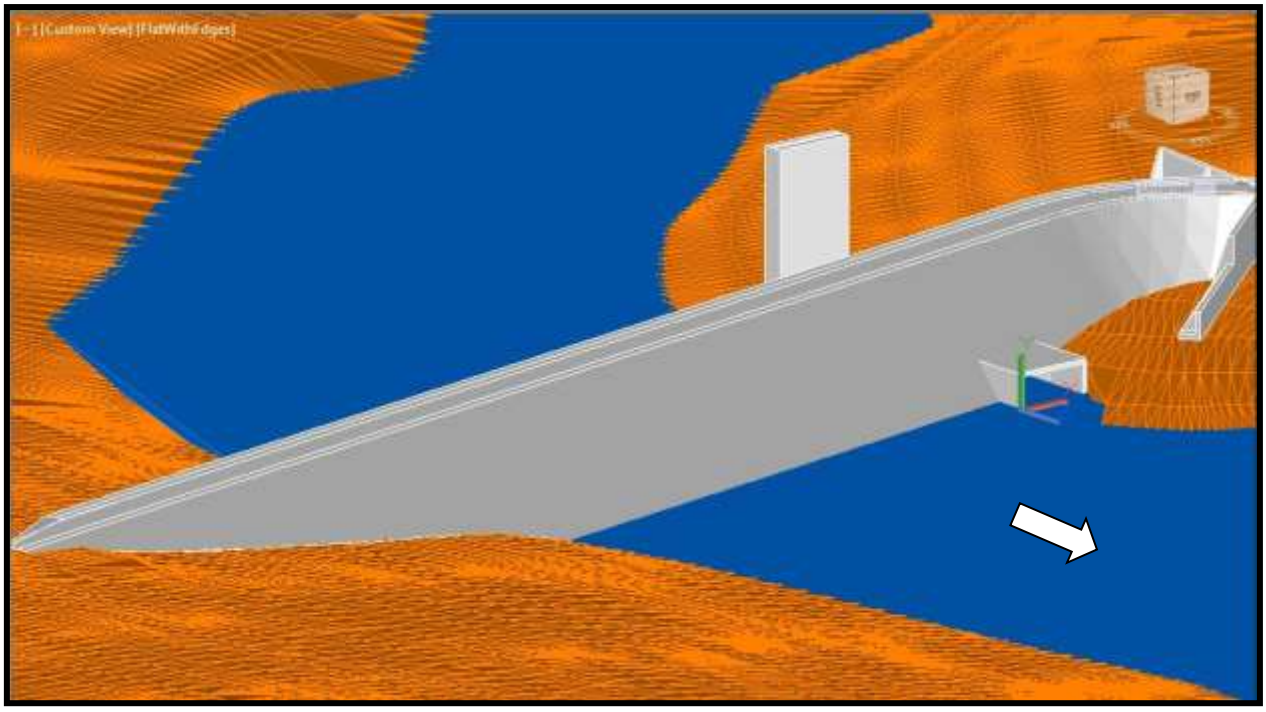


Figura 4.6 - Esboço em 3D da concepção da barragem da PCH Foz do Catingueiro.

Barragem .....Aterro
Tipo .....Enrocamento com núcleo em argila
Altura máxima .....7,5 m
Tipo de vertedor .....concreto / soleira vertente
Comprimento total da crista .....162,00 m

4.4. VERTEDOURO

O vertedouro fica posicionado na ombreira esquerda do rio e possui uma soleira de concreto com 50 m de comprimento (Figura 4.7). Há um canal de aproximação para o vertedouro e ao final deste existe a tomada d'água dotada de grade grossa e comporta.

Comprimento total vertedouro .....50,00 m
Lâmina máxima sobre o vertedor Tr 10.000 anos .....1,48 m
Vazão máxima de cálculo do vertedouro (TR 10.000 anos) NA 371,48 ..... 191 m³/s
Capacidade última de vertimento NA 373,00 ..... 547 m³/s

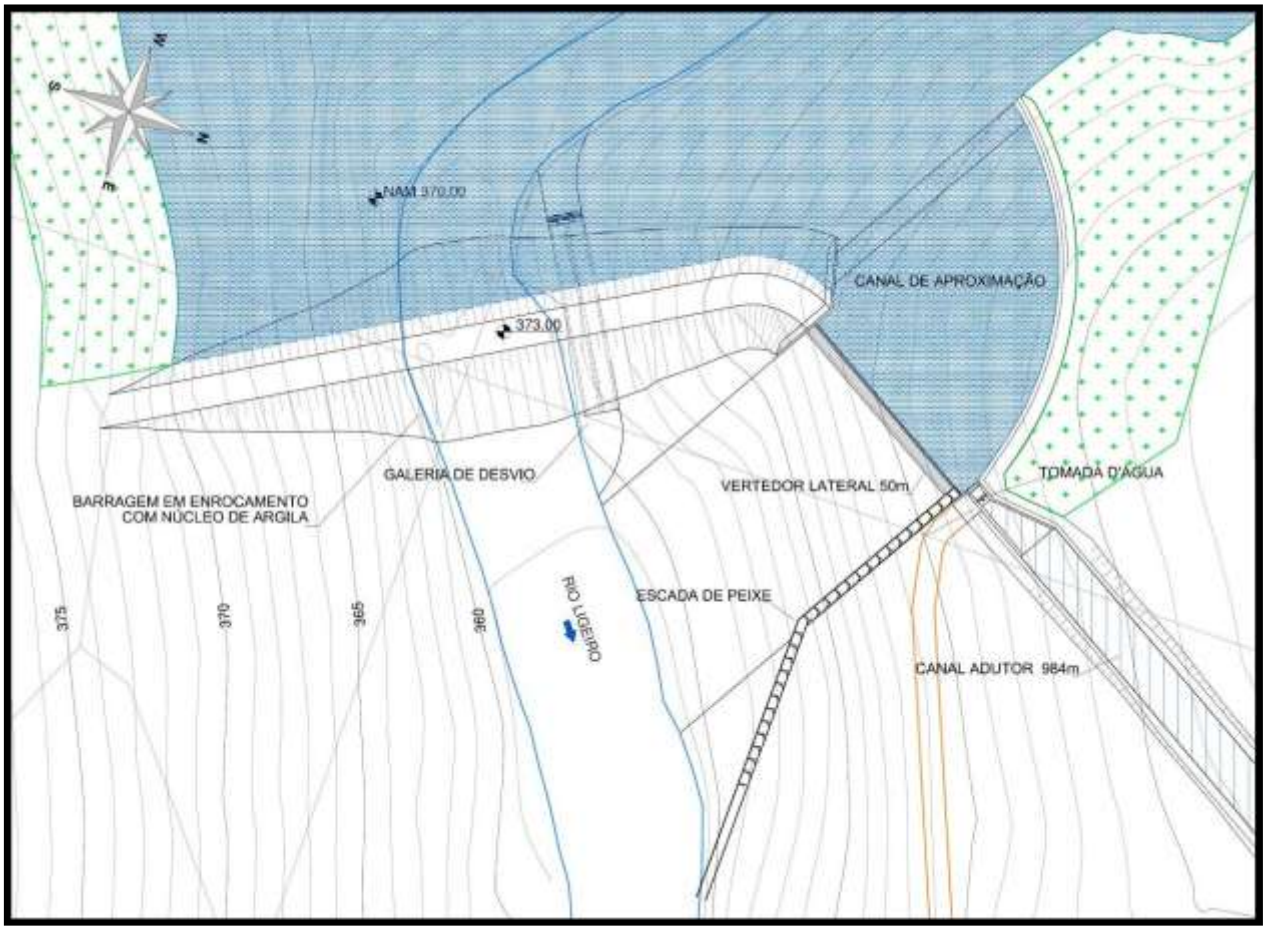


Figura 4.7 - Planta da barragem PCH Foz do Catingueiro.

4.5. CIRCUITO HIDRÁULICO

O circuito hidráulico da PCH Foz do Catingueiro foi projetado para condução da vazão de engolimento máximo de 16,5 m³/s com uma perda de carga total de 0,74 m na condição de operação à plena carga. Em um breve descritivo consta das seguintes estruturas: a) tomada d'água; b) canal adutor; c) câmara de carga; d) conduto forçado; e) canal de fuga.

A tomada d'água (Figuras 4.8 a 4.10) é do tipo direta e foi posicionada junto a margem esquerda do rio, ao final da calha de aproximação do vertedouro. Esta estrutura é dotada de uma comporta de 2,25 m de largura e 4,00 m de altura. A tomada possui cota de proteção na elevação 373,00.

O acionamento da comporta é previsto por talha manual e através deste conjunto de dispositivo poderá ser controlado o fluxo d'água a ser aduzido assim como esvaziar o canal e a câmara de carga para eventuais manutenções.

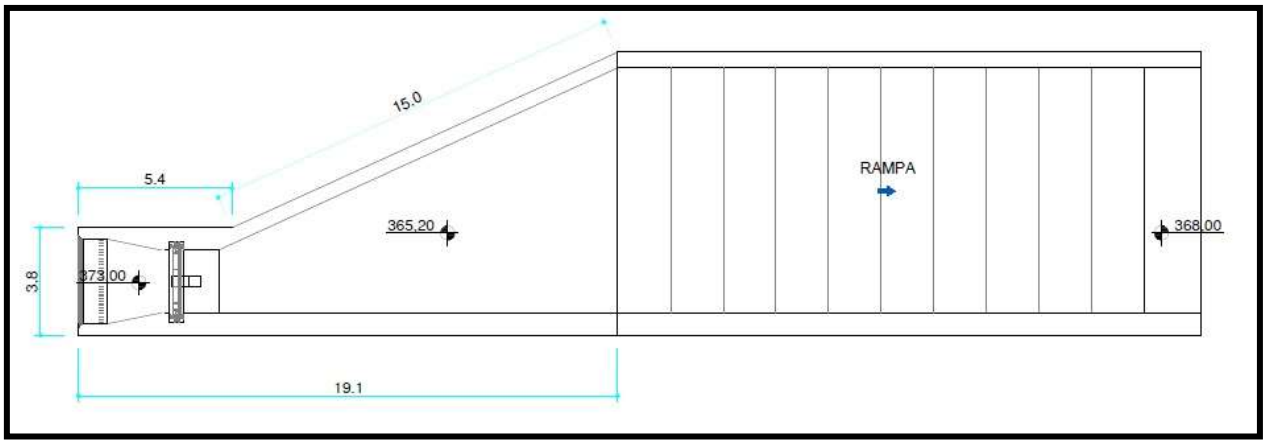


Figura 4.8 - Planta da tomada d´água PCH Foz do Catingueiro.

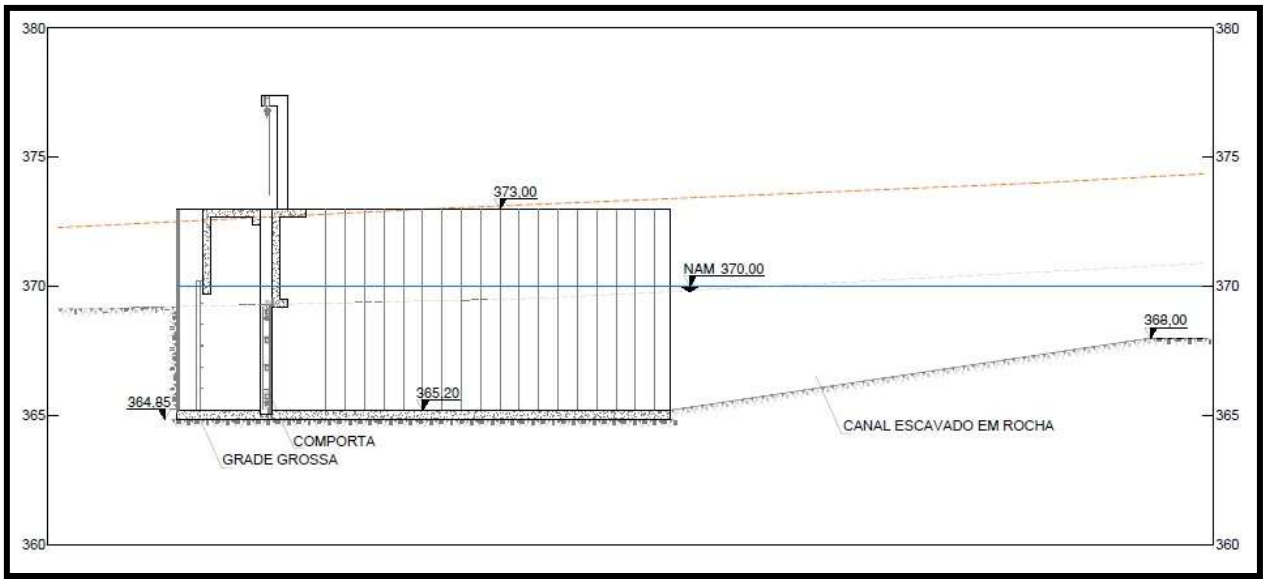


Figura 4.9 - Corte da tomada d´água PCH Foz do Catingueiro.

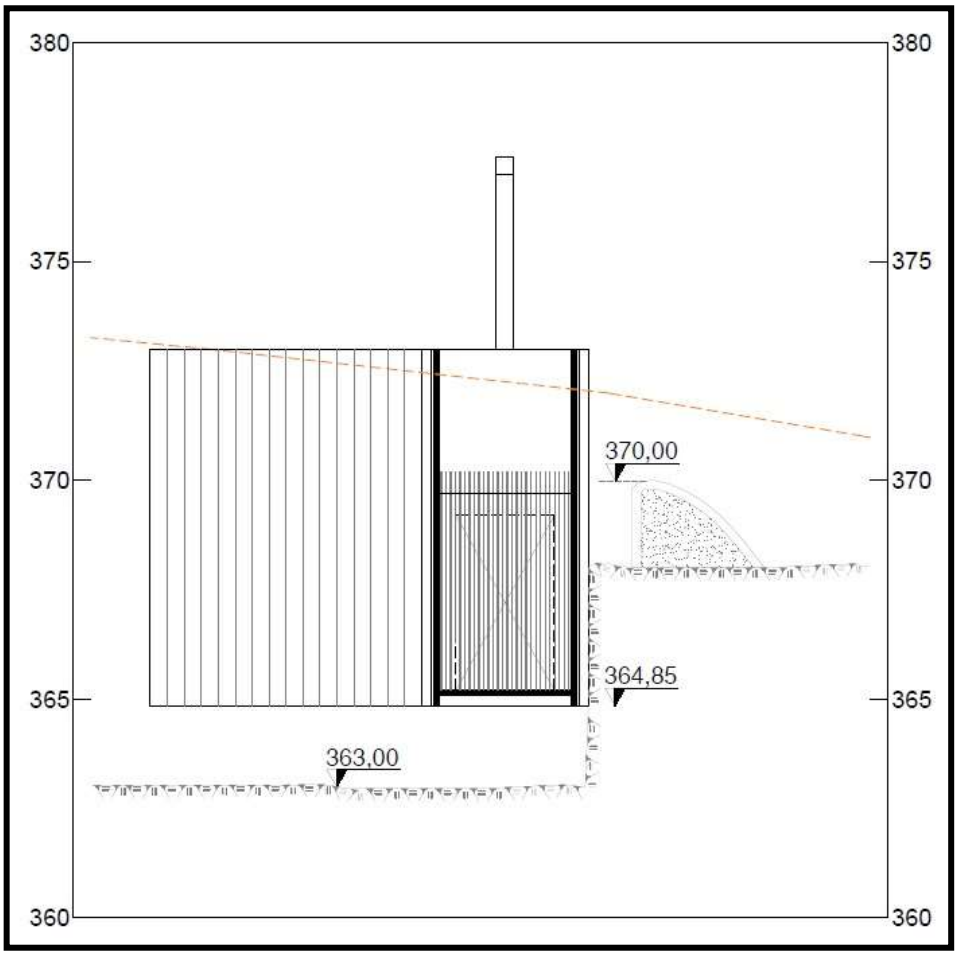


Figura 4.10 - Corte frontal tomada d´água PCH Foz do Catingueiro.

Tomada de água .....Tipo direta com controle através de comporta
Outros dispositivos de proteção ....L*ogboom* com 20 flutuantes unidos por cabo de aço ancorados
Espaçamento entre flotantes .....1,5 m
Dimensão .....Bombonas de 40 L
Dispositivo de controle .....Comporta metálica tipo vagão com rodas acionamento por talha manual.
Dimensões da comporta (B x H) .....2,25 x 4,00

Após a tomada d'água o circuito hidráulico prossegue em canal escavado (Figura 4.11) em rocha a céu aberto por 138 m, com seção retangular de 10 m de base e 3 m de lâmina d'água. Em seguida, no seu segundo trecho, o canal se estende em aterro revestido com PEAD por 846 m, com seção trapezoidal de 6 m de base, com inclinação 1H:1V e 3 m de lâmina d'água. Não é prevista declividade de fundo.



Figura 4.11 - Circuito adutor da PCH Foz do Catingueiro.

Canal adutor 1° trecho .....Escavado em rocha sem revestimento
Canal adutor 2° trecho .....Em aterro com revestimento em geomembrana PEAD
Seção típica em rocha .....Seção retangular com 10,0 m de base e 3,0 m lâmina d'água
Seção típica em solo .....Seção trapezoidal com 6,0 m de base e 3,0 m de altura
Trecho extensão total .....984,0 m
Velocidade média da água .....0,58 m/s

Ao final do canal adutor, há uma estrutura de câmara de carga (Figura 4.12), dotada de grade fina onde é prevista a instalação de equipamento limpa grades para impedir a entrada entulho que venha a comprometer a operação das unidades geradoras, bem como efetuar a remoção deste entulho.

Além disto, também são previstas duas comportas de emergência, uma para cada unidade de tubulação, com acionamento hidráulico simples ação na dimensão 2,25 m x 2,60 m. Esta estrutura controla o fluxo d'água do conduto forçado e em caso de rejeição de carga atua no fechamento em tempo pré- programado.

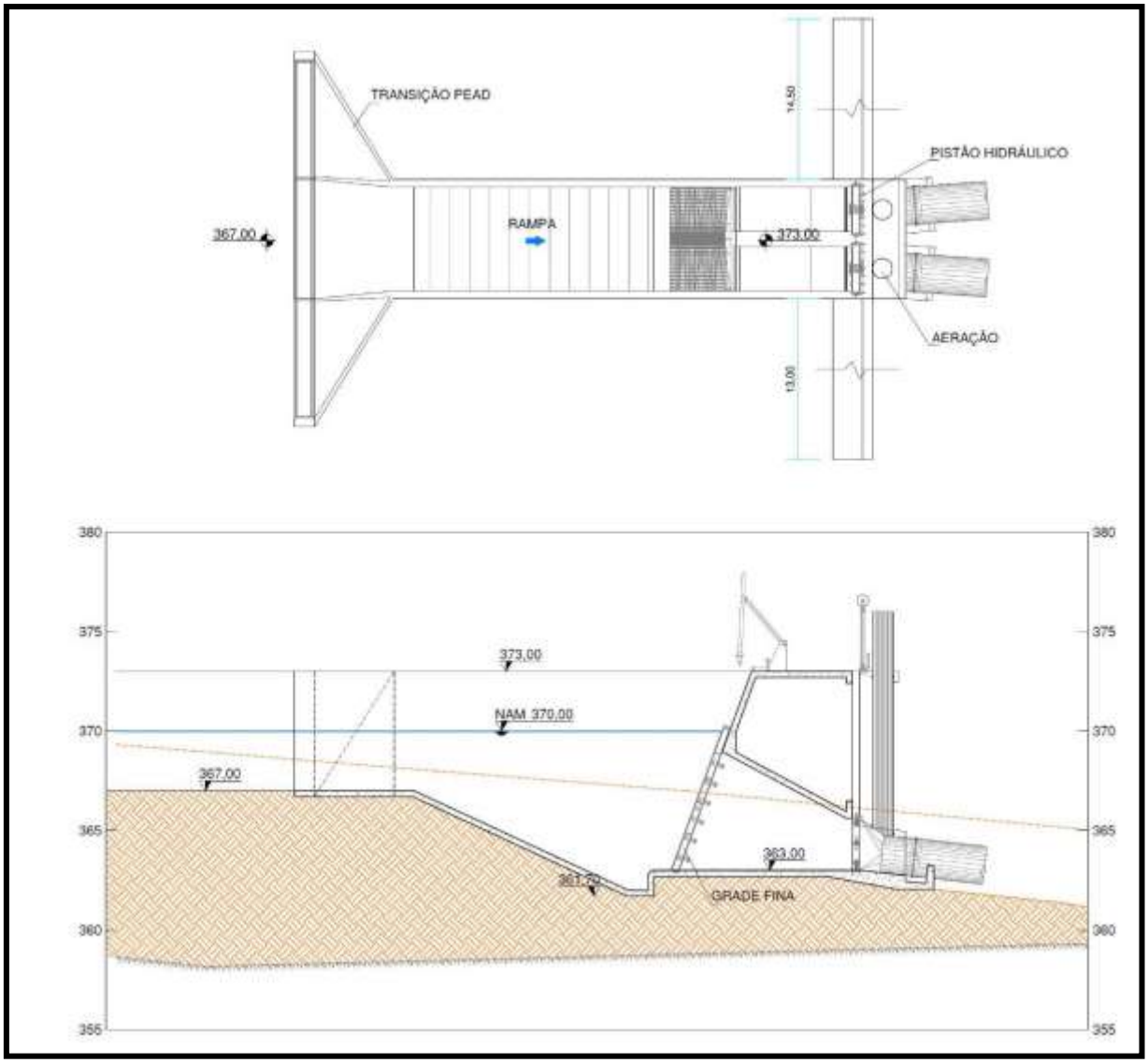


Figura 4.12 - Câmara de carga PCH Foz do Catingueiro.

Câmara de carga .....Controle através de comporta
Outros dispositivos de proteção .....Grade fina 2 X (2,25 m X 6,3 m) e limpa grades
Dispositivo de controle .....Comporta metálica tipo vagão acionamento hidráulico
Dimensões da comporta (B x H) .....2 X (2,25 x 2,60 m)

Em seguida fluxo d'água parte pressurizado através de dois condutos forçado independentes que foram previstos em aço, com 1,90 m de diâmetro e 125 m de comprimento cada. Nesta dimensão o fluxo d'água ocorre em velocidade de 2,89 m/s. Este conduto foi devidamente dimensionado (Figura 4.13) em chapas de

aço comercial, tipo Corten – COR-AR-COR 500, com tensão de escoamento elevada 3.450 kgf/cm² e espessura de chapa 6,35 mm (1/4”).

CÁLCULO: ESPESSURA DA TUBULAÇÃO CONDUTO FORÇADO

CLIENTE: **RIO LIGEIRO ENERGIA LTDA.**
PROJETO: **PCH FOZ DO CATINGUEIRO**
POTÊNCIA: **3,50 MW**

DUAS UNIDADES INDEPENDENTES

***Q*=**	8,2	* VAZÃOPOR UNIDADE DE TUBO - m3/s
d =	190	* DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO - cm
aço tipo =	COS-AR-COR	
es =	1,5	* SOBREESPESSURA DE CORROSÃO - mm
σ =	3450	* TENSÃO MÁXIMA ADMISSIVEL - kg/cm^2
α =	1,4	* COEFICIENTE DE SEGURANÇA A TRAÇÃO
ε =	0,8	* EFICIÊNCIA DE SOLDA
v=	2,89	* VELOCIDADE - m/s
S =	40%	* SOBREPRESSÃO OU GOLPE DE ARIETE % QUEDA BRUTA

$H = [(e - e_s)* 2* \sigma f * kf] / d$

e= (mm)	e= (pol)	H (m)	H*** (m)	VÃO (m)	PESO (kg/m)	COMP. (m)	PESO (kg)
6,35	**1/4**	**100,65**	**71,89**	**12,54**	**297,20**	248	73705
7,14	9/32	117,04	83,60	13,22	334,38		0
7,93	**5/16**	**133,43**	**95,31**	**13,85**	**371,51**		0
8,73	11/32	150,04	107,17	14,45	408,70		0
9,53	**3/8**	**166,64**	**119,03**	**15,01**	**445,83**		0
11,11	7/16	199,43	142,45	16,02	520,14		0
12,7	**1/2**	**232,42**	**166,02**	**16,94**	**594,46**		0
14,29	9/16	265,42	189,58	17,78	668,77		0
15,88	**5/8**	**298,41**	**213,15**	**18,54**	**743,08**		0
17,46	11/16	331,20	236,57	19,24	817,40		0
19,05	**3/4**	**364,20**	**260,14**	**19,89**	**891,71**		0
20,64	13/16	397,19	283,71	20,50	965,97		0
22,23	**7/8**	**430,19**	**307,28**	**21,06**	**1064,16**		0
23,81	15/16	462,97	330,70	21,59	1114,60		0
25,4	**1**	**495,97**	**354,26**	**22,09**	**1188,91**		0

*** CARGA EM RELAÇÃO AO DIAGRAMA ESTÁTICO

CÁLCULO DA ESPESSURA MÍNIMA — COMP.TOTAL (m) = 248

$e_{mín.}$ = 6,02 mm - válido para aço ASTM — **PESO TOTAL (kg) = 73.705**

eadot.= 6,35 mm

Figura 4.13 - Dimensionamento do conduto forçado PCH Foz do Catingueiro.

4.6. CASA DE FORÇA E CANAL DE FUGA

A casa de força será posicionada na margem esquerda do rio Ligeiro e foi dimensionada para abrigar duas unidades hidrogeradoras do tipo Francis Simples eixo horizontal (Figuras 4.14 a 4.16). A casa de força, incluído o páteo de montagem e a sala de comando remontam uma área total edificada de 355 m².

Para assegurar a estanqueidade operacional das máquinas, foi previsto a cota de proteção do casco em concreto armado posicionado na el. 350,00 conforme curva chave calculada para o evento decamilenar.

Na saída de sucção das máquinas não é prevista comporta devido a turbina ser projetada para operar com altura de sucção positiva de 2,30 m e neste caso sua manutenção seria possível simplesmente abrindo as tampas da máquina e colocando flanges provisórios no tubo de sucção.

O canal de fuga é escavado em rocha em tem 20 m de comprimento nas dimensões 8 m de largura por 2,0 m de lâmina d'água.

A superestrutura é metálica, e é prevista uma ponte rolante servindo a área de montagem e o piso de operação. Lateralmente é posicionada a sala de comando.

O fechamento da casa de força é previsto em alvenaria de tijolos a vista e a cobertura através de telhas metálicas.

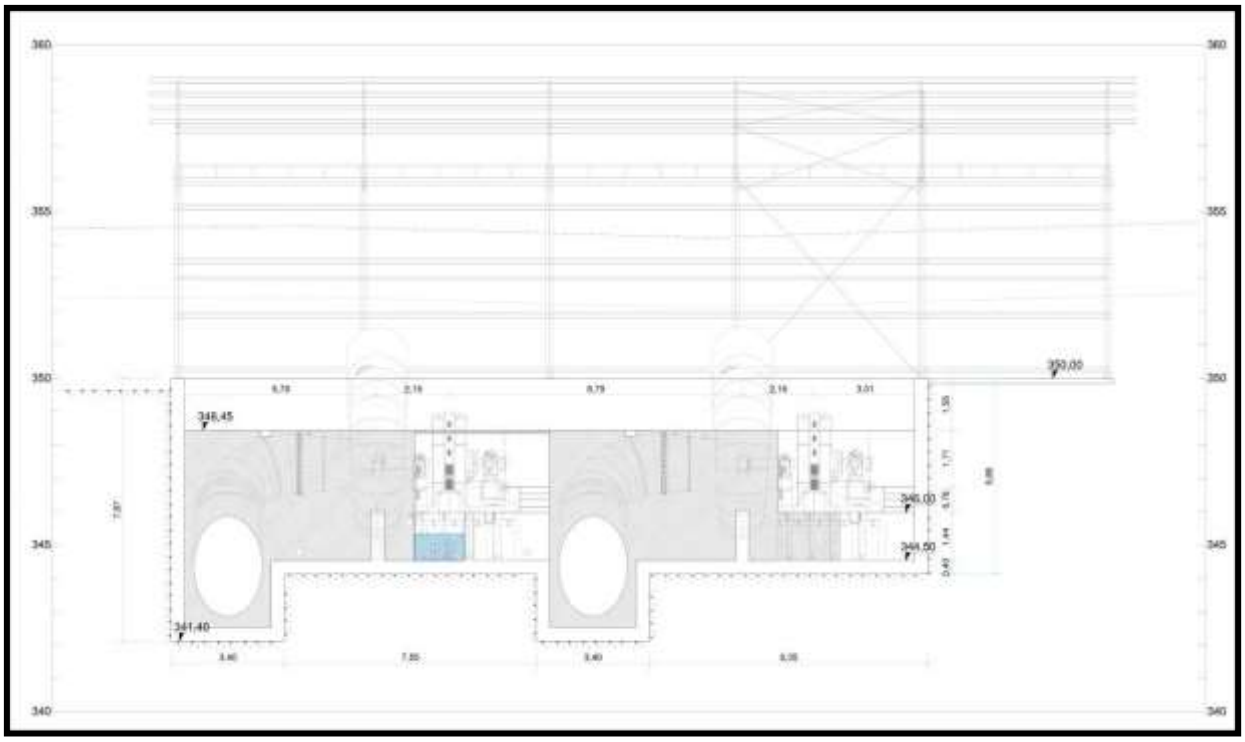


Figura 4.14 - Corte longitudinal da casa de força.

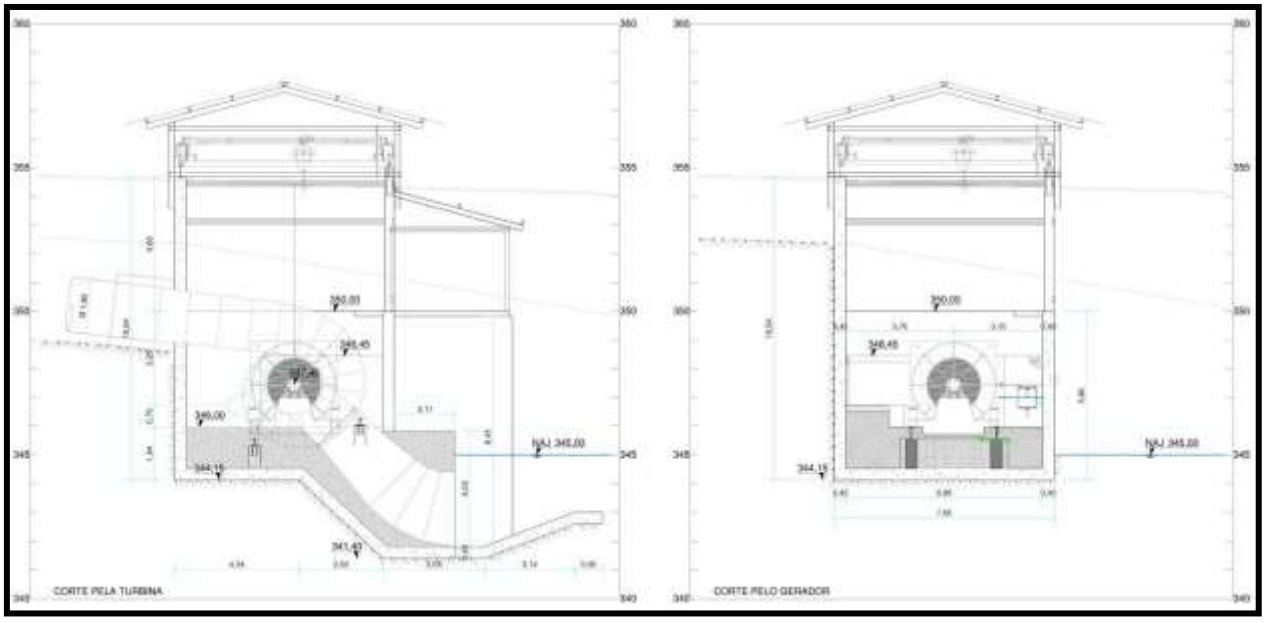


Figura 4.15 - Corte transversal da casa de força pela turbina e gerador.

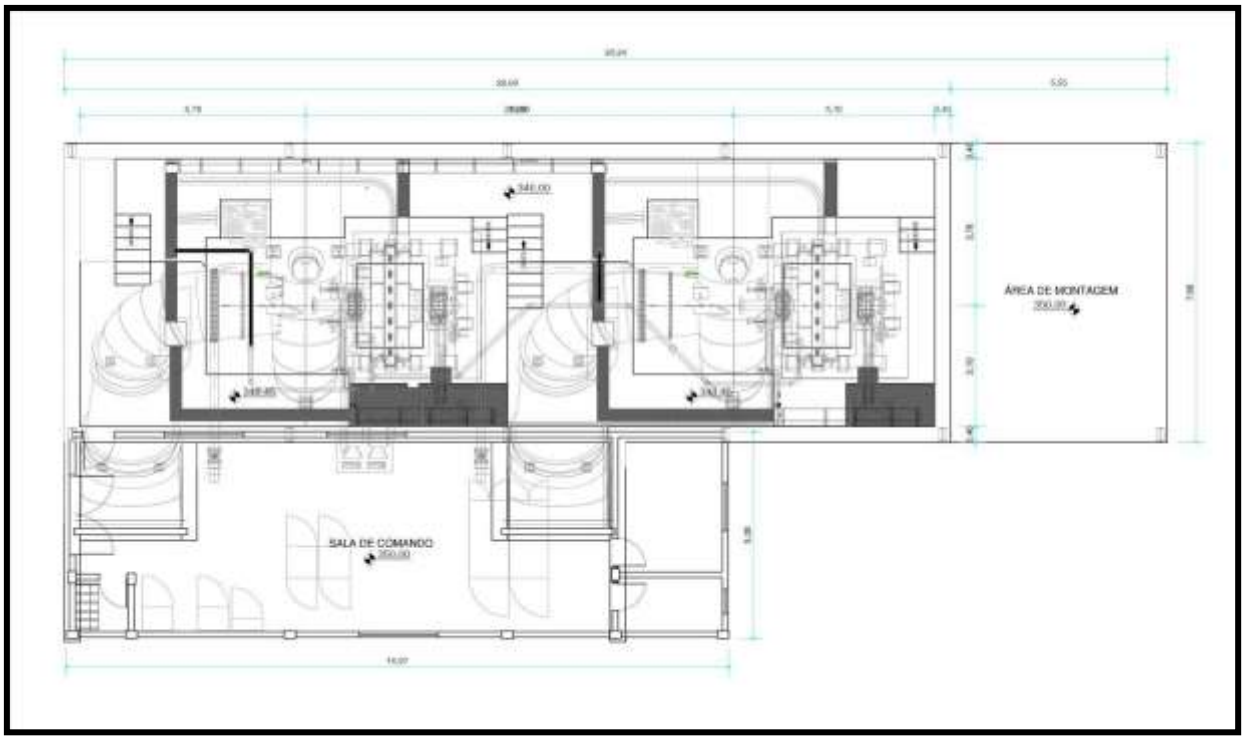


Figura 4.16 - Vista em planta da casa de força.

4.7. TURBINAS E GERADORES

Para a elaboração de um projeto fundamentado em subsídios concretos da ótica das soluções hidráulicas possíveis, fez-se de fundamental importância a orientação de um engenheiro mecânico habilitado e experiente no ramo de projeto e fornecimento de equipamentos mecânicos para centrais hidrelétricas.

Ressalta-se que para faixa de queda do aproveitamento em questão, de 24,26 m de queda líquida e engolimento total da ordem de 16,5 m³/s a solução mais adequada foi adotar a turbinas tipo Francis Simples.

O conjunto turbina-gerador foi definido com sendo distribuído em duas unidades e de eixo horizontal e arranjo com gerador síncrono trifásico.

4.7.1. Especificações técnica das turbinas

Número de unidades .....02 unidades
Tipo .....Francis simples
Posição do eixo .....Horizontal
Diâmetro do rotor .....1100 mm
Potência unitária .....1.813 kW

Queda líquida nominal das turbinas ou Design Head .....24,60 m
Rotação síncrona .....400 rpm
Rotação de disparo .....623 rpm
Regulador de velocidade .....Eletrônico acionamento hidráulico
Altura de sucção (Hs) .....2,30 m
Rendimento máximo 92,40%

Descrição Geral: No presente projeto estamos considerando o fornecimento de turbinas Francis espiral, rotor simples, de eixo horizontal e 400 rpm. O rotor da turbina será fixado na ponta de eixo do gerador, sendo que os esforços axial e radial serão absorvidos pelo mancal guia/escora do gerador.

Rotor: O rotor será projetado e fabricado para suportar todas as tensões resultantes da operação normal da unidade e do funcionamento da velocidade de disparo mais crítica. Os rotores serão do tipo Francis simples (Figura 4.17), em aço inoxidável ASTM A 743 Gr. CA 6 NM, com pás perfiladas e entregues devidamente usinados em fresadora CNC nas medidas requeridas pelo projeto.

A fabricação do rotor será do tipo mecanossoldado sendo as pás, cubo e anel externo fundidos e usinados separadamente, após o processo de solda o rotor sofrer tratamento térmico para alívio das tensões. O cubo de cada rotor possuirá furos roscados, para fixação ao flange do eixo através de parafusos do tipo prisioneiro e furos com roscas para as hastes do dispositivo "saca rotor". O rotor será balanceado dinamicamente.

Tampas: A turbina possuirá 02 tampas laterais, as mesmas serão fabricadas de aço carbono ASTM A 36. Ambas as tampas serão projetadas para suportar seguramente a máxima pressão da água e todas as forças que agem sobre elas, mantendo as tensões dentro dos limites especificados. Será analisada ainda a deflexão máxima da tampa sob pressão nominal para garantir as folgas especificadas do entreferro palhetas/tampas e rotor/tampas. As tampas serão parafusadas ao pré-distribuidor e internamente possuirão revestimentos de aço inoxidável ASTM A 240 tipo 304 ou similar, substituíveis.



Figura 4.17 - Rotor Francis simples.

Distribuidor: Constando das seguintes partes:

Pás diretrizes: As pás diretrizes (Figura 4.18) serão de aço inoxidável tipo ASTM A 743 Gr. CA 6 NM ou similar, formando uma peça inteiriça com os munhões. O número de pás diretrizes será coordenado com o número de pás dos rotores, para evitar ressonâncias e vibrações periódicas. Os eixos das pás diretrizes possuirão vedações de neoprene e anéis compressores. Na maior parte do curso de abertura das palhetas, a partir do ponto de abertura próximo ao ponto de marcha em vazio, as palhetas terão uma tendência hidráulica a fechar. O perfil das pás diretrizes será totalmente usinado, sendo feito um ajuste final durante a pré-montagem de fábrica, para garantir a vedação entre as mesmas.



Figura 4.18 - Pás diretrizes de regulação da máquina.

Mancais das pás diretrizes: Os mancais serão de ferro fundido cinzento ASTM A 48 Cl. 35 fixados nas tampas da turbina por parafusos. Os mancais terão buchas autolubrificantes do tipo DEVA BM ou similar.

Mecanismo de regulação: O mecanismo de regulação (Figura 4.19) será composto de alavancas fixadas nos eixos das pás diretrizes fornecidas em aço fundido ASTM A 27 65-35 ou similar composto ainda de bielas fabricadas de chapa de aço ASTM A 36 que formarão a ligação entre as alavancas e o anel de regulação. Cada alavanca é fixada sobre o respectivo munhão da palheta diretriz por atrito de aperto e pino de esmagamento que também constitui o elemento posicionador das palhetas em relação ao anel de regulação. Na eventualidade de entrada de um corpo estranho no distribuidor a alavanca de regulagem desliza sobre o munhão da palheta.

Além disso, será previsto um limitador de movimento para prevenir o contato de uma pá com pás vizinhas, em caso de deslizamento do sistema de regulagem. Cada pá será ser equipada com um contato de fim de curso para a sinalização de deslocamento do eixo da pá. Em todos os pontos de articulação das alavancas, bielas e no aro de regulação serão instalados pinos de aço inoxidável AISI 304 e buchas autolubrificante, do tipo DEVA BM ou similar.



Figura 4.19 - Mecanismo de acionamento da regulação.

Anel de regulagem: No lado de acionamento do distribuidor, será instalado o anel de regulagem da turbina, confeccionado de chapas ASTM A 36 ou similar, projetado de maneira a receber o acionamento hidráulico do cilindro. O anel será mecanossoldado e sofrerá tratamento térmico para o alívio de tensões antes de iniciar o processo de usinagem do mesmo. O anel de regulagem será suportado por frisos de polímero autolubrificante, do tipo Vesconite ou similar, fixados na respectiva tampa, permitindo o movimento do mesmo. Na região de deslizamento, o anel de regulagem será revestido de inoxidável AISI 304 pelo processo de deposição por solda. Na periferia do anel, haverá olhais revestidos de buchas de bronze autolubrificante, do tipo DEVA BM ou equivalente para ligação com as bielas de regulação. Em um dos servomotores deverá ser fornecido uma escala graduada de 0 a 100%, marcada em intervalos de 10%, para a indicação da abertura distribuidor. A escala deverá ser confeccionada em aço inoxidável e as inscrições deverão ser estampadas.

Caixa de vedação: A concepção da vedação do eixo é baseada nos critérios dos fabricantes de gaxetas, quanto à velocidade linear, temperatura e pressão. O resfriamento/lubrificação da gaxeta se fará com dupla filtragem da água (filtro automático).

Pré-distribuidor e caixa espiral: O pré-distribuidor será feito de construção mecanossoldada em aço ASTM A 36. As partes laterais do pré-distribuidor possuirão flanges usinados para a fixação das tampas da turbina. Todas as palhetas fixas do pré-distribuidor serão usinadas tanto em seu perfil como nas faces laterais para a formação do chanfro necessário a soldagem destas contra os flanges. Após a soldagem e antes da montagem das virolas da caixa espiral o pré-distribuidor será submetido a tratamento térmico para o alívio de tensões. As virolas da caixa espiral serão construídas em aço carbono ASTM A-36, ou similar de acordo com a forma geométrica do contorno hidráulico e sua espessura será definida conforme norma ASME – Seção VIII– Divisão I. As soldas do pré-distribuidor serão 100% ultrassonadas. Entre as virolas da caixa espiral nas soldas de duplo V (raiz

interna) de topo com penetração total serão 100% ultrassonadas, nas soldas de simples V será feito apenas ensaio de liquido penetrante na raiz.

A entrada da caixa espiral será provida caso as suas dimensões o permitam de uma boca de visita, com diâmetro mínimo de 500 mm, conforme norma AWWA C 200. Serão previstos olhais de suspensão e tomadas para manômetro e sensor de pressão. Numa seção de entrada, serão colocadas 4 tomadas de pressão, em aço inoxidável, para medição de pressão e de vazão pelo método "Winter-Kennedy", em conformidade com o código IEC 41. O manômetro correspondente será montado em local adequado, permitindo acesso e leitura fácil e terá escala adequada para as medições. Toda a tubulação das tomadas de pressão, quando embutida, será coberta para evitar a sua aderência ao concreto. Após a montagem e a soldagem completa da caixa espiral (Figura 4.20) será realizado o ensaio hidrostático.



Figura 4.20 - Caixa espiral na fábrica em fase final de montagem (ilustração).

Tubos e curvas de sucção: O subconjunto do tubo de sucção e curva de sucção será fabricado em aço carbono ASTM A 36 ou similar e é composto de uma curva de sucção, projetado para redirecionar eficientemente a água à jusante do rotor.

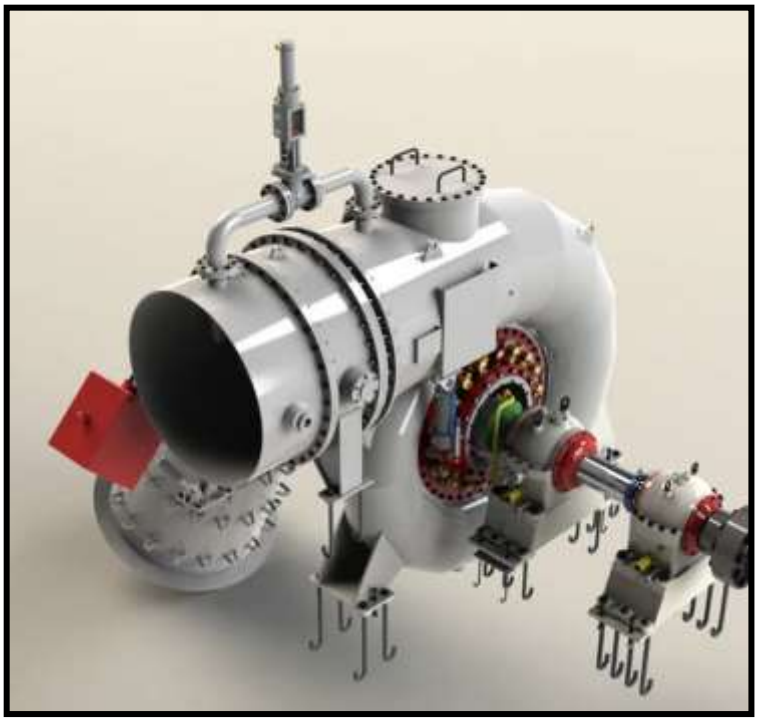


Figura 4.21 - Imagem ilustrativa da turbina.

4.7.2. Especificações técnicas do gerador

Serão utilizados quatro geradores (Figura 4.22) síncronos trifásicos de eixo horizontal, com as características unitárias abaixo descritas.

Número de unidades .....02 unidades
Tipo de gerador .....Síncrono trifásico
Potência unitária .....1.944 kVA
Tensão nominal .....4,16 kV
Frequência .....60 Hz
Fator de potência 0,9
Número de Fases 3
Tipo de excitação .....Brushless

Grau de proteção ……IP20
Número de pólos 12
Rotação .....400 rpm
Sistema de refrigeração ……...……...……...Ventilação forçada
Rendimento máximo 96,50%

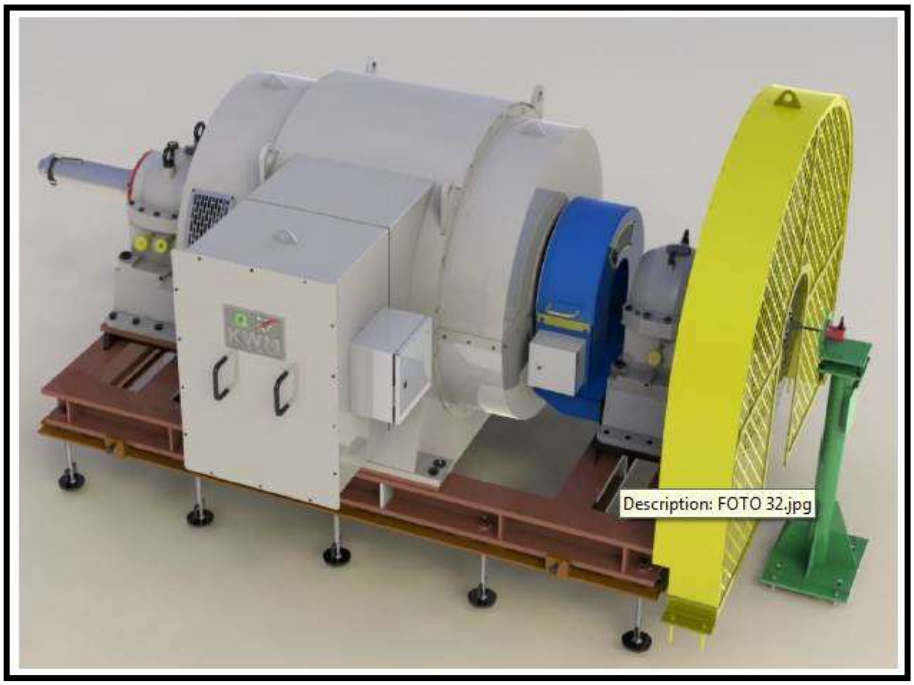


Figura 4.22 - Imagem ilustrativa do gerador.

4.7.2.1. Eixo da unidade geradora

O eixo do gerador (Figura 4.23) será uma peça única de aço forjado ASTM A-668 classe D, tratado termicamente e usinado em toda a sua superfície, dimensionado para suportar todos os pesos e cargas do grupo turbina-gerador.

O eixo irá transmitir o torque com segurança, e resistir, sem exceder as tensões e vibrações de projeto, a: todas as condições transitórias previstas; sobrecarga máxima; torque máximo que aparece com as palhetas do distribuidor totalmente abertas e o rotor do gerador bloqueado.

No eixo, integralmente forjadas com ele, haverão pistas para os mancais de guia as quais irá ter acabamento retificado e polido.

As velocidades críticas das partes girantes combinadas da turbina e do gerador irão ser calculadas pelos fabricantes da turbina e do gerador assim que os detalhes de projeto estiverem estabelecidos.

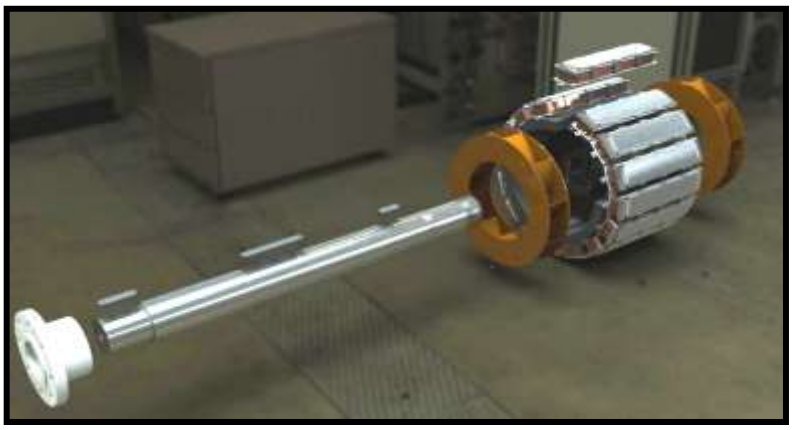


Figura 4.23 - Imagem em explosão da linha de eixo e rotor.

4.7.2.2. Mancais

Os mancais de guia (Figura 4.24) serão do tipo casquilho bipartido, projetados para lubrificação com uso de bombas externas e para trabalhar em banho de óleo. Serão projetados de forma a permitir fácil acesso às vedações do eixo. Suas partes removíveis serão partidas e flangeadas, para permitir a fácil desmontagem para manutenção.

Os mancais serão dimensionados para suportar todos os esforços do eixo, sob todas as condições de operação e em qualquer velocidade (inclusive as de disparo), sob os mais severos transitórios hidráulicos e elétricos (inclusive curto-circuito), sem excessiva elevação de temperatura e sem danos para os casquilhos. Terão rigidez e área de contato apropriado para distribuir, de forma correta, os esforços radiais atuantes nos mesmos.



Figura 4.24 - Mancal de guia externo.

Os berços dos mancais serão fabricados em aço ASTM A36 ou similar, com câmaras de lubrificação permanente, câmaras para retenção de vazamentos externos de óleo e labirintos fixados nas laterais.

As cubas dos mancais serão fabricadas em chapas de aço de construção pesada a fim de suportar os mancais e transmitir os esforços aos berços.

A quantidade de mancais, bem como sua disposição será definida entre os fornecedores de turbina e gerador. A lubrificação deve ser hidrodinâmica a óleo. Os mancais terão acesso pela parte superior e a carcaça e os componentes internos serão bi-partidos, de modo a facilitar inspeção e manutenção dos componentes.



Figura 4.25 - Vista do mancal de guia.

4.7.2.3. Sistemas de ventilação

O ar quente será impulsionado para fora do invólucro do gerador, pela sua parte inferior, e será conduzido por meio de dutos para fora da casa de força e descarregado em elevação acima do nível máximo da água de jusante. Os ventiladores serão dimensionados para conduzir o ar até sua saída.

Número de turbinas Francis simples .....02 unidades
Potência unitária elétrica da turbina .....1.813 kW
Diâmetro do rotor da turbina .....1.100 mm
Altura de sucção (HS) .....2,30 m
Rotação síncrona nominal .....400 rpm
Rotação de disparo .....623 rpm
Cota do eixo do rotor 347,30
Rendimento da turbina 92,40%

4.8. SISTEMAS ELETROMECÂNICOS

O gerador será ligado a um conjunto de equipamentos de manobra contendo o disjuntor principal da unidade e os barramentos para conexão em paralelo com a rede. A classe de tensão dos equipamentos será compatível com a tensão nominal dos geradores e coordenada com a proteção contra surto dos geradores.

O painel é do tipo auto-suportável, para uso abrigado, com grau de proteção IP-54, classe de tensão 4,16 kV. Será subdivido internamente em painéis, cada qual com uma porta de acesso frontal, 01 disjuntor termomagnético unipolar, 01 lâmpada acionada por interruptor fim de curso.

4.9. SUBESTAÇÃO

Os cabos em tensão de 4,16 kV derivados do gerador chegarão à subestação através de canaletas no piso, chegando a uma caixa de passagem na base do transformador elevador, onde serão conectados nas buchas flangeadas de baixa do transformador. Após o transformador será instalado o disjuntor de 34,5 kV, podendo este ser isolado através de chaves seccionadoras. Após o conjunto de seccionadoras, serão instalados transformadores de corrente (TC's) e

transformadores de potencial (TP's), além de para-raios para proteção da saída da linha de transmissão. Também serão instalados quatro para-raios tipo Franklin sobre a estrutura da SE e casa de máquinas, aumentando ainda mais a proteção quanto a descargas atmosféricas.

Número de transformadores elevadores 01
Potência total .....4,0 MVA ONAM/ONAF
Tensão inferior ..... 4,16 kV ligado em triângulo
Tensão superior .....34,5 kV ± 2*2,5% kV ligado em estrela c/ neutro aterrado
Montagem .....Externa

4.10. TRANSFORMADOR ELEVADOR

No projeto da SE elevadora, considerou-se apenas um transformador elevador, opção esta que se mostrou como o melhor custo-benefício para o aproveitamento em questão.

A adoção de apenas um transformador elevador não fragiliza a usina uma vez é possível evitar sua falha através de um bom plano de manutenção preditiva o qual deve incluir o acompanhamento do estado do óleo eletro-isolante, a troca periódica da sílica-gel, análise termográfica e inspeções visuais.

Através destes procedimentos consegue-se minimizar os efeitos de envelhecimento do transformador e aumentar sua vida útil.

Um estoque permanente com as peças sobressalentes mais suscetíveis a falhas, como buchas de altas e baixas tensões, terminais, sensores, entre outros será mantido na usina de modo que uma falha possa ser prontamente corrigida em campo, sem a necessidade de envio do transformador para manutenção na fábrica.

Seguem a seguir as características básicas do transformador elevador.

Quantidade 01
Tipo .....Trifásico imerso em óleo
Potência .....4,0 MVA ONAN/ONAF
Baixa tensão .....4,16 kV ligado em triângulo
Alta tensão .....34,5 kV ± 2 x 2,5% kV ligado em estrela aterrada
Frequência .....60 Hz

Buchas de AT .....Na tampa
Buchas de BT .....Flangeadas
Isolante .....Óleo mineral
Terminais de aterramento .....Conector duplo para cabo nu de cobre de 25 a 120 mm²

4.11. LINHA DE TRANSMISSÃO

A linha de transmissão será construída em tensão 34,5 kV e com postes padrão em concreto. Seu comprimento previsto é de 9 km de extensão (Figura 4.26).



Figura 4.26 - Traçado previsto para LT 34,5 kV a ser construida da PCH Foz do Catingueiro até SE Cianorte.

Junto a SE Cianorte é prevista a construção de um *bay* de conexão e a instalação de um transformador elevador 34,5/138 kV para a conexão prevista no mesmo nível de tensão proposto pela COPEL (138 kV).