



Ministério da Educação

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de Abril de 2002

Pró-Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação em
Engenharia da Energia

***PADRONIZAÇÃO DE PROJETOS ELÉTRICOS DE
PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS***

ROBERTH DOS SANTOS LIMA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA ENERGIA COMO
REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DA ENERGIA.**

**Orientador: Prof. EDSON DA COSTA BORTONI, D.Sc.
Co-orientador: Prof. ROBERTO ALVES DE ALMEIDA, D.Sc.**

Itajubá, Dezembro de 2002

Agradecimentos

Aos meus pais José Carvalho Lima e Maria Antônia dos Santos Lima, meus irmãos Ronald, Rodrigo e Rossanna pelo apoio e incentivo, na busca de meus ideais e objetivos.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Edson da Costa Bortoni e Prof. Dr. Roberto Alves de Almeida., exemplos de dedicação e virtudes, pelo incentivo, participação e apoio.

A todo o corpo docente do Laboratório Hidráulico de Pequenas Centrais Hidrelétricas –LHPCH pelo apoio, em particular aos Professores e Dr. Thiago e Dr. Augusto por terem possibilitado a ampliação de meus conhecimentos

A toda Universidade Federal de Engenharia de Itajubá – UNIFEI pela acolhida e pelo dinamismo de seus funcionários que tornam esta escola um local fácil de ser admirado.

A todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para realização e conclusão deste trabalho, fica aqui minha gratidão.

ÍNDICE

	PAG.
Agradecimentos	ii
Índice	iii
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Resumo	xi
Abstract	xii
Capítulo 1 - Introdução.....	01
Capítulo 2 - Geradores Elétricos	
2.1 Introdução.....	03
2.2 Aspectos Gerais.....	03
2.3 Geradores de Indução.....	04
2.4 Geradores Síncronos.....	05
2.5 Especificação Mínima para Geradores Elétricos.....	06
2.5.1 Potência Nominal.....	06
2.5.2 Tensão Nominal.....	08
2.5.3 Fator de Potência Nominal.....	12
2.5.4 Valores de Reatância.....	12
2.5.5 Rotação Nominal.....	15
2.6 Arranjos de Montagem.....	17
2.6.1 Sistema de resfriamento.....	19
2.6.2 Graus de Proteção.....	21

Capítulo 3 – Arranjo de Subestações

3.1 Introdução.....	25
3.2 Aspectos Gerais.....	25
3.3 Arranjos Típicos de Barramentos.....	26
3.4 Características dos Barramentos.....	27
3.4.1 Barramento Singelo.....	27
3.4.2 Barramento Auxiliar ou de Transferência.....	28
3.4.3 Arranjo de Barramento Duplo.....	28

Capítulo 4 - Sistema de Proteção

4.1 Introdução.....	36
4.2 Proteções Indicadas para o Gerador Elétrico.....	37
4.2.1 Descrição das Principais Funções de Proteção do Gerador.....	38
4.3 Proteções Indicadas para o Transformador.....	42
4.3.1 Características das Principais Funções de Proteção do Transformador.....	43
4.4 Equipamentos de Proteção contra Sobretensões (para-raios).....	49
4.5 Aterramento.....	52
4.6 Aterramento do Neutro do Gerador Elétrico.....	54
4.6.1 Métodos para Aterramento do Neutro do Gerador.....	54

Capítulo 5 - Serviços Auxiliares

5.1 Introdução.....	57
5.2 Corrente Alternada (AC).....	58
5.3 Corrente Contínua (CC).....	61

5.4 Resfriamento de Geradores e transformadores.....	65
5.5 Gerador de Emergência.....	65

Capítulo 6 - Supervisão e Automação de uma Central Hidrelétrica

6.1 Introdução.....	66
6.2 Semi-Automação de PCH.....	67
6.3 Automação de uma PCH.....	68
6.3.1 Funções Específicas dos Elementos Principais de um Sistema Automatizado de PCH.....	69
6.3.2 Aspectos a Considerar sobre Sistemas de Automação.....	70
6.3.3 Vantagens dos Sistemas Digitais para Supervisão das Condições de Operação e Controle na Central Hidrelétrica.....	71
6.4 Nível de Monitoramento e Automação.....	75

Capítulo 7 - Reguladores de Tensão e Velocidade

7.1 Regulador de Velocidade.....	76
7.2 Regulador de Tensão.....	79
7.3 Sistema de Excitação.....	81
7.3.1 Excitação Rotativa.....	83
7.3.2 Excitação Estática.....	83
7.4 Solução Otimizada para as Funções de regulação de uma PCH.....	84
7.5 Operação em Regime Permanente.....	85
7.5.1 Sincronizador.....	86

Capítulo 8 - Custos - Metodologia, Composição e Cálculos

8.1 Metodologia.....	87
8.2 Estimativa Preliminar.....	88

Capítulo 9 – Conclusão

9.1 Principais Considerações.....	92
-----------------------------------	----

Referências Bibliográficas	94
---	-----------

Apêndices - Modelo de Especificação para projetos Elétricos.....	98
---	-----------

Apêndice A - Condições específicas.....	98
--	-----------

Apêndice A.1 - Equipamentos e Sistemas Elétricos.....	139
--	------------

Lista de Figuras

Capítulo 2

2.1 Gerador Síncrono 810 kW.....	05
2.2 Esquemas para Interconexão gerador x transformador.....	11

Capítulo 3

3.1 Arranjo Geral da Casa de Força.....	26
3.2 Barramento Singelo e/ou Acoplamento Longitudinal.....	28
3.3 Arranjo de Barramento Auxiliar.....	28
3.4 Geração: Sistema de Potência Projeto - PCH são Gabriel da Cachoeira.....	30
3.5 Transmissão: Projeto PCH São Gabriel da Cachoeira.....	31
3.6 Subestação Elevadora (Arranjo Geral) – Projeto PCH São Gabriel da Cachoeira.....	32
3.7 Subestação Elevadora (Cortes) – Projeto PCH São Gabriel da Cachoeira.....	33
3.8 Subestação Abaixadora (Arranjo Geral) – Projeto PCH São Gabriel da Cachoeira.....	34
3.9 Subestação Abaixadora (Cortes) – Projeto PCH São Gabriel da Cachoeira.....	35

Capítulo 4

4.1 Exemplo de Quadro de Comando e Proteção.....	42
4.2 Exemplo de Transformador 750 kVA.....	43
4.3 Proteções Mínimas para Usinas com Gerador até 2MVA.....	46
4.4 Proteções Mínimas para Usinas com Gerador até 10MVA.....	47
4.5 Proteções para Usinas com Gerador acima 10MVA.....	48
4.6 Entrada de Energia com Dispositivos de Proteção e Distribuição.....	50
4.7 Aterramento de Baixa Resistência com Resistor no Neutro.....	55
4.8 Aterramento de Alta Resistência com Resistor no Neutro.....	55

4.9	Aterramento com Transformador de Distribuição.....	56
-----	--	----

Capítulo 5

5.1	Geração: Serviços Auxiliares (AC) – PCH São Gabriel da Cachoeira.....	60
5.2	Geração: Serviços Auxiliares (CC) – PCH São Gabriel da Cachoeira.....	63
5.3	Subestação Abaixadora: Sistema Supervisão, Controle, Proteção e Auxiliar CC – PCH São Gabriel da Cachoeira.....	64
5.4	grupo Gerador Diesel.....	65

Capítulo 6

6.1	Exemplo de Tela do Sistema Supervisório (a).....	74
6.2	Exemplo de Tela do Sistema Supervisório (b).....	74

Capítulo 7

7.1	Regulador de Velocidade Hidráulico.....	78
7.2	Regulador de Velocidade Digital RVX da Reivax.....	78
7.3	Regulador de Tensão Eletrônico da Siemens.....	80
7.4	Regulador de Tensão Digital RTX da Reivax.....	80
7.5	Sistema de Excitação com Excitatriz Rotativa e/ou Estática.....	82
7.6	Sistema de Excitação Estática.....	84
7.7	Sincronizador Eletrônico conectado ao Regulador de Velocidade.....	86

Capítulo 8

8.1	Gráfico com Tendência de Custos para Geradores Elétricos Síncronos.....	89
8.2	Tabela do Programa em Excel para Cálculo do Custo de Geradores elétricos.....	90

Lista de Tabelas

Capítulo 2

2.1 Rendimentos Indicados para Geradores.....	07
2.2 Limites Técnicos de Temperatura por Classe de Isolamento.....	07
2.3 Limites de Temperatura por Altitude.....	08
2.4 Níveis de Tensão Indicado para Geradores.....	09
2.5 Níveis de Tensão Indicado para Transformadores.....	10
2.6 Equações do Conjugado.....	14
2.7 Reatância para Geradores Síncronos.....	15
2.8 Velocidade de Rotação.....	16
2.9 Sistema Código I.....	17
2.10 Sistema Código II.....	18
2.11 Significado dos Primeiros Algarismos do Circuito de Refrigeração.....	20
2.12 Significado do Segundo Algarismo do Circuito de Refrigeração.....	20
2.13 Significado do Primeiro Algarismo do Grau de Proteção.....	22
2.14 Significado do Segundo Algarismo do Grau de Proteção.....	23

Capítulo 3

3.1 Arranjos Típicos de Barramentos.....	27
--	----

Capítulo 4

4.1 Proteções para Geradores – Solução Otimizada.....	37
4.2 Escolha dos Pára-Raios Segundo o Tipo de Aterramento do Transformador.....	51
4.3 Características dos Pára-Raios.....	52

Capítulo 6

6.1 Requisitos Mínimos Para um Sistema de Monitoramento.....	75
--	----

Capítulo 7

7.1 Otimização dos Serviços Auxiliares.....	84
7.2 Principais Funções do Regulador de Tensão e Velocidade.....	86

Resumo

Este trabalho apresenta uma proposta de padronização para projetos elétricos de pequenas centrais hidrelétricas, e tem como objetivo otimizar algumas soluções para os casos mais comuns, considerando a grande diversidade de opções.

O desenvolvimento da dissertação é fruto do estudo e análise de diversos casos reais de projetos de centrais hidrelétricas. Além dos projetos, foram consultadas diversas bibliografias que tratavam sobre tema em estudo, levados em consideração todas as propostas apresentadas pelos respectivos autores e, finalmente, como síntese a todas as observações feitas nesse estudo, a apresentação de uma solução otimizada para o emprego dos componentes elétricos e uma proposta para estimativa dos respectivos custos.

O principal resultado deste trabalho é apresentar uma proposta inicial à padronização de informações consideradas extremamente importantes à execução de um projeto de central hidrelétrica.

Abstract

This work presents a standardizing proposal for Electrical Projects of small hydroelectric central and it has as objective to optimize some solutions for the most cases, considering the great diversity of options.

The development of the dissertation is the result of several real cases of projects of hydroelectric centrals. Besides the projects, several bibliographies about the case which is being studied were researched, taking into consideration the entire proposal presented to the respective authors and, finally, as synthesis to all observations made in that study, the presentation of an optimized solution for the job of the electrical components and a proposal for the estimate of costs of those components.

The conclusions of this work present a favorable result because they offer an initial proposal for the standardizing of information considered extremely important for the carrying out of a project of hydroelectric central.

Capítulo 1

Introdução

Este trabalho objetiva-se consolidar uma padronização para os diversos componentes elétricos orientados às micro, mini e pequenas centrais hidrelétricas, através da padronização dos principais componentes elétricos necessários à sua execução. De todo o universo de possibilidades analisadas, escolheu-se uma linha de raciocínio considerada menos dispendiosa, buscando-se obter o máximo aproveitamento, melhor eficiência e o menor custo-benefício.

No primeiro capítulo aborda-se alguns dos principais aspectos sobre os geradores elétricos síncronos e assíncronos, suas vantagens e desvantagens, e características de funcionamento. Define parâmetros mínimos para a especificação dos geradores e os principais arranjos de montagem.

O segundo capítulo mostra os aspectos gerais das subestações, os tipos mais utilizados em projetos de pequenas centrais hidrelétricas, os arranjos de barramentos mais comuns, por nível de tensão, e as características desses barramentos. O aspecto construtivo é ilustrado através de desenhos técnicos que foram aplicados no projeto da PCH de São Gabriel da Cachoeira - AM.

O terceiro capítulo, trata sobre todas as proteções aplicáveis a geradores e transformadores elétricos. Descreve algumas características básicas necessárias a um sistema de aterramento, e ainda, sintetiza de forma prática, um método para especificação dos equipamentos de proteção contra sobretensão (para-raios).

O capítulo quatro trata sobre os aspectos da segurança e da continuidade da produção de energia de uma central hidrelétrica, através do emprego adequado dos serviços auxiliares. Cita aspectos importantes a serem considerados, e exemplifica alguns casos com detalhes de desenhos técnicos aplicados no projeto da PCH de São Gabriel da Cachoeira – AM.

O capítulo cinco refere-se aos aspectos da semi- automação e automação de uma usina, apresentando algumas características e vantagens do emprego desses sistemas, e ainda, define uma proposta de aplicação de alguns requisitos mínimos necessários à obtenção de um sistema de monitoramento eficaz , visto que essas filosofias de funcionamento devem ser consideradas para que o sistema venha a ter o melhor desempenho possível.

O capítulo seis apresenta algumas características do regulador de velocidade e regulador de tensão, a importância do seu emprego em conjunto com o gerador elétrico, no controle da rotação e da potência reativa, respectivamente, dentre outras funções não menos importante. O capítulo ainda propõe uma solução otimizada para o emprego desses componentes.

O capítulo sete apresenta uma metodologia para obtenção de preços estimados de alguns dos componentes elétricos mencionados nos capítulos anteriores. Cabe enfatizar, nesse capítulo, o método empregado para se obter os custos de geradores elétricos de até 10MVA. Através do levantamento do preço médio dos geradores junto a alguns fornecedoras, estabeleceu-se um valor médio para o custo do equipamento, relacionando-o com o peso do equipamento (R\$/kg). De posse dessa informação e através da metodologia apresentada, chegou-se ao gráfico proposto da figura 8.1, que estabelece uma relação onde através da potência e da rotação da máquina chega-se ao seu custo estimado de mercado.

A metodologia apresentada, propõe como ponto de partida e referência para o emprego em projetos, os parâmetros fornecidos nesse estudo.

Capítulo 2

Geradores Elétricos

2.1 - Introdução

Os geradores elétricos para centrais hidrelétricas, ou hidrogeradores, em princípio, podem ser síncronos ou assíncronos (indução). Os geradores síncronos, de maior aceitação e historicamente mais utilizados, são máquinas elétricas que trabalham com velocidade constante e igual à velocidade síncrona, que é uma função da frequência da tensão gerada e do número de pares de pólos do rotor do gerador. As máquinas de indução, quando acionadas acima de sua velocidade síncrona, passam a operar como gerador. O gerador de indução não possui excitação própria, que deverá ser fornecida pelo sistema ao qual será ligado ou através de capacitores [1].

2.2 Aspectos Gerais

Os geradores síncronos são capazes de produzir tanto energia ativa como energia reativa, mediante o fornecimento de energia no eixo através de uma máquina primária e a excitação de um enrolamento de campo localizado no rotor dos mesmos. Devido à versatilidade operativa e elevados rendimentos na conversão de energia, cujos valores podem chegar a 97%, são estes amplamente utilizados em geradores de centrais. Os geradores síncronos podem ser de pólos lisos ou de pólos salientes, definindo o formato do rotor.

Normalmente os rotores dos geradores síncronos são de pólos salientes e apresentam um entreferro irregular. Isto implica em um projeto adequado do sistema de fixação dos pólos para que possam suportar os esforços decorrentes de velocidades de disparo. Os geradores assíncronos, ou geradores de indução, por outro lado, possuem a característica básica de trabalharem com rotações levemente diferentes da rotação síncrona. Na realidade esta é uma das condições básicas para que a conversão de energia útil possa ser efetuada.

Estes geradores de indução podem possuir um rotor bobinado, provido de anéis e escovas, ou um rotor do tipo gaiola de esquilo. Em termos de robustez e questões de manutenção, prefere-se utilizar os geradores de indução com rotor em gaiola, os quais,

possuem, por exemplo, a vantagem de ter um entreferro mais regular e melhor resistência a esforços decorrentes de velocidades de disparo.

Por não possuírem um enrolamento de campo propriamente dito, os geradores de indução são capazes de produzir somente potência ativa, convertendo a energia fornecida em seu eixo através de uma máquina primária. Porém, para que esta conversão de energia possa ser realizada, deve-se prover uma quantidade de energia reativa necessária para a produção de campos magnéticos no interior do gerador. Esta energia reativa pode ser fornecida pela rede, se o gerador estiver interligado, ou por um banco de capacitores conectado aos seus terminais. Neste caso deve-se também fornecer potência reativa suficiente para atendimento das cargas.

Por outro lado, os geradores de indução com rotor bobinado também podem ser excitados, injetando-se corrente nos enrolamentos do rotor através de seus anéis e escovas. No entanto, para aplicações convencionais, isto não é uma prática muito recomendada, já que os geradores síncronos são máquinas especialmente desenvolvidas para este fim e possuem um custo relativamente menor [30].

2.3 Geradores de Indução

Uma máquina de indução, quando acionada acima de sua síncrona, passa a operar como gerador. A uma velocidade entre 1,5 e 5% acima da velocidade síncrona, aproximadamente, o gerador de indução está fornecendo sua potência nominal. O gerador de indução não possui excitação própria, que deverá ser fornecida pelo sistema ao qual será ligado ou através de capacitores.

A principal vantagem do gerador de indução reside no menor custo de aquisição, instalação e manutenção, pela inexistência da excitatriz, regulador de tensão, regulador de velocidade, equipamento de sincronização, requerendo um sistema de controle e proteção relativamente simples. As principais desvantagens dos geradores de indução são:

a) A impossibilidade de controle de tensão, o que o torna inadequado para ser utilizado num instante isolado;

b) A utilização de capacitores para fornecimento de reativo aumenta os custos e diminui a simplicidade.

Devido a estes aspectos e às restrições operacionais do sistema, a aplicação de geradores de indução fica limitada a máquinas com potência de até 1 MW [6].

2.4 Geradores Síncronos

É o tipo mais utilizado de gerador, para pequenas e grandes potências (hidrelétricas e térmicas). Seu rotor é magnetizado por uma fonte CC (excitatriz) e é levado a girar por um acionador mecânico externo. O enrolamento trifásico do estator recebe a indução de tensões resultante da rotação do campo do rotor em razão do posicionamento geométrico das bobinas das três fases, um sistema equilibrado de tensões é produzido. As correntes de carga fluem do estator para o exterior por conexões rígidas, permanentes.

Os geradores síncronos poderiam ter também o enrolamento trifásico no rotor e os pólos com CC no estator (como é na máquina CC), mas apresentaria o inconveniente de altas correntes fluindo por anéis e escovas. A frequência das tensões induzidas é devida exclusivamente à velocidade de rotação dada ao rotor e ao número de pólos, enquanto que a intensidade das tensões, além de depender da velocidade, depende também da intensidade do campo do rotor.

A figura 2.1 apresenta um gerador síncrono de 810 kW, atualmente sendo em pregado na usina Luis Dias – Itajubá /MG



Figura 2.1 – Gerador Síncrono 810 kW

2.5 Especificação para Geradores Elétricos

2.5.1 Potência Nominal

A potência nominal do gerador é definida como sendo a potência elétrica disponível em seus bornes, sem que a temperatura limite definida pela sua classe de isolamento seja ultrapassada. Sendo assim, a potência de um gerador elétrico é especificada em termos de sua potência elétrica aparente **S** (VA) e não de sua potência elétrica ativa **P** (W) como é feito para as turbinas hidráulicas, e irá depender ainda do fator de potência nominal (f_p) desejado.

Naturalmente, além do limite térmico, a potência ativa disponível está também restringida pela capacidade da máquina primária acoplada a seu eixo, no caso, uma turbina hidráulica. A potência do gerador é determinada após o cálculo da potência disponível no eixo da turbina.

Dessa forma, a potência elétrica nominal de um gerador poderá ser calculada através da expressão [1 e 2]:

$$P = P_t \cdot \left(\frac{\eta_g}{f_p} \right) \quad (1)$$

P = potência do gerador em (VA);

P_t = potência no eixo da turbina (W);

η_g = rendimento do gerador;

f_p = fator de potência do gerador;

O fator de potência deve ser definido em função das necessidades do sistema elétrico ao qual o gerador será ligado. Não é economicamente vantajoso, no caso de sistemas isolados, utilizar geradores com fator de potência em torno de **0,80**. Para o caso de geradores que operem interligados ao sistema elétrico, um fator de potência nominal entre **0,90 e 0,95** é adequado. A rotação nominal do gerador fica definida quando se estabelece a velocidade nominal síncrona da turbina, para a frequência de 60Hz [6].

Quando o acionamento direto do gerador resultar antieconômico, adota-se o acionamento indireto do gerador através de um multiplicador de velocidade. Neste caso utilizam-se geradores de 4, 6 ou 8 pólos [6].

O rendimento do gerador deve ser obtido junto ao fabricante do equipamento. Na falta de informações podem-se adotar os seguintes valores referenciados normalmente aplicados em cálculos de projetos (LHPCH - UNIFEI).

Tabela 2.1 – Rendimento Indicado para Geradores

P	η_g
P < 100 kW	até 0,94
100 < P = 1000 kW	até 0,96
1000 < P = 30000 kW	até 0,97
Acima de 30000kW	até 0,98

Juntamente com a potência elétrica nominal devem-se especificar as características de elevação de temperatura definida pela classe de isolamento que podem, por exemplo, ser de 60°C para geradores elétricos com capacidade de sobrecarga de 15%, de 80°C quando não há capacidade de sobrecarga, ou de 75°C de acordo com normas mais recentes, quando não há capacidade de sobrecarga.

Tabela 2.2- Limites Técnicos Operativos por Classe de Isolamento

Classe de Isolamento	A	E	B	F	H
Elevação de temperatura média admissível, calculada pelo método da resistência (°C)	60	75	80	100	125
Diferença de temperatura entre o ponto mais quente e a temperatura média (°C)	5	5	10	15	15
Temperatura ambiente (°C)	40	40	40	40	40
Temperatura admissível do ponto mais quente (°C)	105	120	130	155	180

A vida útil do gerador está intimamente ligada a elevação de temperatura durante sua operação e ao limite imposto pela sua classe de isolamento. Segundo a Lei de Montisinger, operações com 8 a 10 °C acima da temperatura limite reduz a vida útil do equipamento pela metade [1].

Além da temperatura de operação t_{op} (°C), deve-se também atentar para a altitude local – z_b (m), em que o mesmo irá operar. Posto que a eficiência das técnicas de resfriamento diminuem com a altitude, deve-se esperar que a potência máxima possível de ser extraída também sofra uma redução.

Tabela 2.3 - Limite de Temperatura por Altitude

Z_b (m)	t_{op} (°C)
0 a 1000	40
1000 a 2000	30
2000 a 3000	20
3000 a 4000	10

2.5.2 Tensão Nominal

A seleção da tensão nominal é baseada em critérios econômicos e de confiabilidade operacional, ou seja, sua escolha deve considerar não só os custos do gerador, mas também os custos de interligação gerador-transformador e dos equipamentos ligados à tensão de geração. Os custos de um gerador, para uma determinada potência nominal e velocidade, variam com a tensão.

Em termos de projetos de otimização de geradores elétricos, pode conseguir uma melhor maximização da utilização dos recursos elétricos e magnéticos por meio do relaxamento de restrições relacionadas à tensão nominal. Recomenda-se deixar livre a escolha da tensão, a menos que haja razões especiais para se adotar uma determinada tensão, dando liberdade aos fabricantes de apresentarem propostas para o valor que julgar mais adequado ao seu fornecimento, procurando-se obter um enrolamento com um número mínimo de condutores o que evidentemente deve resultar num custo total final inferior. Geradores

elétricos médios e grandes freqüentemente são ligados a transformadores de mesma potência. Nesse caso se a flexibilidade do transformador não for limitante, pode-se selecionar a tensão de geração dentro de considerações ótimas. Por outro, lado se desejarmos um valor de tensão específico para ligar o gerador elétrico diretamente a um barramento ou sistema, deve-se esperar um aumento no custo do gerador, assim como uma redução da eficiência em função do desvio do ponto ótimo.

Como orientação, segue uma tabela fornecida pela Eletrobrás [6] que serve com orientação para seleção da tensão de geração, resultando numa solução economicamente atraente.

Tabela 2.4 – Nível de Tensão Indicado para Geradores

Tensão do Gerador	Potência do Gerador
220/380 ou 480 V	Até 2 MVA
2300 V	Até 3 MVA
4160 V	Até 5 MVA
6900 V	Até 15 MVA
13800 V	Acima de 10 MVA

Para aplicação de geradores em baixa tensão, sugere-se que a tensão seja a maior possível (até 480 V), visto que o custo dos geradores varia pouco com a tensão e o custo dos painéis e da instalação elétrica é tanto menor quanto menor for a corrente nominal do gerador. É recomendável que a distância entre o gerador e o transformador elevador não ultrapasse 50 m.

A tensão de transmissão, sempre que possível, deve ser igual à de geração e será definida em função da potência a transmitir e do comprimento da linha de transmissão. Entretanto, quando não for possível (como na maioria dos casos), será utilizado um transformador elevador na subestação da casa de força. A escolha da tensão mais provável pode ser feita a partir da fórmula empírica apresentada abaixo [2], e o valor adotado deve ser o mais próximo ou superior ao valor da tensão padronizado, no caso de conexão a uma linha existente, condicionado à tensão da linha.

$$u = 100 \cdot \sqrt{L \cdot P} \quad (2)$$

onde:

u = tensão entre fases, em V;

L = comprimento da linha, em km;

P = potência a transmitir, em kW;

Com relação ao tratamento com os transformadores, apresenta-se uma tabela sugerindo valores que resultam numa solução econômica para o transformador bem como de sua tensão primária, considerando o caso de dois geradores ligados ao sistema através de um transformador [6]. Caso a potência do transformador seja ultrapassada, deve adotar o esquema unitário, ou seja, um transformador por gerador. Esta tabela é apresentada como sugestão, pois limita-se as condições regionais impostas por cada empresa.

Tabela 2.5 – Nível de Tensão Indicado para Transformador

Tensão Primária	Potência do Transformador
220/380 ou 480 V	Até 2 MVA
2,3 kV	Até 5 MVA
13,8 kV	Acima de 5 MVA
34,5 ou 69 kV	Acima 30 MVA

Convém observar que a solução de adotar um transformador para cada dois geradores deve ser analisada, também, sob o aspecto confiabilidade, considerando a perda de geração no caso de defeito no transformador.

Para exemplificar essas duas situações, apresenta-se um estudo de casos, onde os dois esquemas das figuras a seguir estão sendo considerados para interconectar um autoprodutor à rede de energia elétrica. A potência da carga é igual à soma dos dois geradores, portanto, somente será atendida quando os dois geradores estiverem conectados à rede.

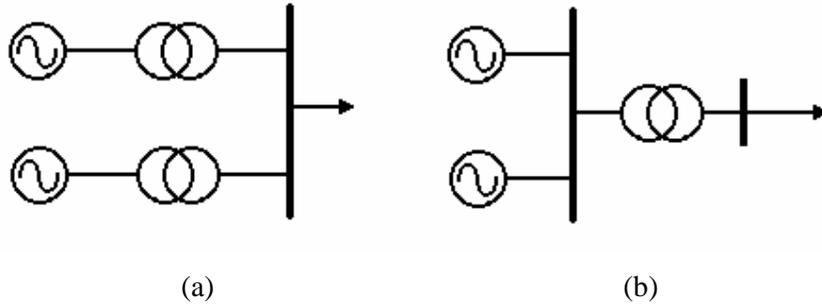


Figura 2.2 – Esquemas para Interconecção gerador x transformador

As unidades geradoras são idênticas e possuem uma taxa de saída forçada igual a 2%. Os transformadores elevadores são 10 (dez) vezes mais confiáveis que os geradores. Admitindo que uma unidade geradora é suficiente para alimentar a carga, estabelecer qual dos dois sistemas é mais confiável e ainda dizer quantas vezes mais do que o outro.

Este problema é resolvido da seguinte maneira:

Para as unidades geradoras $q_g = 0,02$; logo $p_g = 1 - q_g = 0,98$

Para os transformadores tem-se $q_t = 0,002$, logo $p_t = 0,998$

Esquema (a)

Probabilidade de falha de um gerador conectado em série com um transformador:

$$R_f = 1 - 0,98 \cdot 0,998 = 0,022.$$

O esquema fica inoperante quando falham os dois ramos paralelos, ou seja:

$$R_f = 0,022 \cdot 0,022 = 0,0004822$$

Esquema (b)

Probabilidade de falha de dois geradores conectados em paralelo: $R_f = 0,02 \cdot 0,02 = 0,0004$

Considerando agora a falha do transformador, tem-se, $R_f = 1 - (0,9996 \cdot 0,998) = 0,0023992$

Pelos resultados, observa-se que o esquema A é mais confiável que o esquema B, pois a probabilidade de falha é menor, ou seja, o esquema A é 4,9755, quase 5 vezes, mais confiável que o esquema B [43].

2.5.3 Fator de Potência Nominal

Para uma mesma potência aparente (S), que corresponde a um par de potências elétrica ativa (P) e potência elétrica reativa (Q), quanto menor o fator de potência nominal, maior a flexibilidade de operação do gerador e também mais caro e mais pesado será. Isto se deve principalmente ao fato de que o rotor deverá ser sobredimensionado para suportar maiores correntes de excitação [2].

Considerando que há um compromisso entre o fator de potência dos geradores e os custos, deve-se determinar um fator de potência que possa atender às necessidades de potência elétrica reativa do sistema ao qual a central hidrelétrica irá integrar-se, garantindo-se, por exemplo, um valor de tensão especificado em uma barra de carga [1].

2.5.4 Valores de Reatâncias

Na prática, para pequenas e médias centrais hidrelétricas, não é comum se estabelecer o valor da reatância de eixo direto a um fabricante, a fim de não encarecer um projeto do grupo gerador. O valor dessa grandeza influencia sobre maneira o custo e o desempenho do grupo gerador, o que se faz é permitir que este seja escolhido dentro de uma faixa pré-determinada, durante a fase da concepção do grupo gerador, objetivando minimizar os custos.

Valores reduzidos de reatância de eixo direto (x_d) implicam em uma pequena limitação da capacidade de geração de potência reativa em condições de baixa carga, mas oferecem melhor desempenho do ponto de vista de estabilidade e melhor regulação de tensão. Na verdade, pode-se demonstrar que o limite de estabilidade prática é sempre respeitado na

operação de geradores elétricos síncronos quando o valor de x_d for menor que 1 (pu). Por outro lado, reatâncias muito baixas acarretam altas correntes de curto-circuito, esbarrando em limitações de projeto, tornando o gerador mais pesado, aumentando o seu custo e os seus componentes associados [1].

Para geradores de pólos salientes, a reatância de eixo em quadratura (x_q) é da ordem de 60 a 80% de x_d , e, no caso de pólos lisos, esta diferença está bastante reduzida, obtendo-se valores de x_q em torno de 94 a 98% de x_d .

Durante a operação normal de um GE, além do seu peso próprio, existe uma força de regime contínuo solicitada à base do mesmo. Esta solicitação é agravada na ocorrência de faltas (curto-circuito de diversas naturezas), e de perda do sincronismo ou paralelismo errôneo.

Sendo assim, as estruturas e bases devem ser cuidadosamente calculadas, considerando tais eventualidades a fim de suportar os esforços em todas as condições possíveis.

No intuito de se obter equações simplificadas e analisando sempre a ocorrência do pior caso, são consideradas as seguintes suposições: resistência da armadura, impedância de falta, saturação, histerese, harmônicos espaciais e respostas da excitatriz desprezados; a tensão interna da máquina não se altera; variação gradual e não abrupta do ângulo de carga; e finalmente, que os efeitos da redução de corrente e do torque unidirecional se anulam.

Com a aplicação destas aproximações simplificadas, resultam as seguintes equações de conjugado em (pu) para as diversas condições de operação [1 e 35]:

Tabela 2.6 - Equações do Conjugado

<i>Condições de operação</i>	<i>Torque - M - (pu)</i>
<i>Regime permanente</i>	1
<i>Curto fase-terra</i>	$\frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{x''_d + x_2 + x_o}$
<i>Curto fase-fase</i>	$\frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{x''_d + x_2}$
<i>Curto trifásico</i>	$\frac{1}{x''_d}$
<i>Curto fase-fase-terra</i>	$\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{x_2 + 3 \cdot x_o}{x''_d \cdot (x_2 + x_o) + x_2 \cdot x_o}$
<i>Sincronismo trifásico</i>	$\frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{x''_d + x_s}$
<i>Sincronismo monofásico</i>	$(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}) \cdot \frac{3}{x''_d + x_2 + 2 \cdot x_s}$

Onde:

x''_d = reatância subtransitória de eixo direto

x_o = reatância de seqüência zero

x_2 = reatância de seqüência negativa

x_s = reatância equivalente do sistema

Tabela com valores típicos de reatâncias empregadas em geradores síncronos.

Tabela 2.7 - Reatância para Geradores Síncronos

			Geradores Hidráulicos
	Representação	Faixa de Valores	Valor Médio
A) reatâncias de seqüência positiva			
a) reatâncias de eixo direto			
1 - reatância síncrona	x_d	0,6 a 1,50	1,15
2 - reatância transitória	x'_d	0,15 a 0,5	0,36
3 - reatância sub-transitória	x''_d	0,08 a 0,4	0,24
b) reatâncias em quadratura			
4 - reatância síncrona	x_q	0,4 a 1,0	0,72
5 - reatância transitória	x'_q	0,4 a 1,0	= x_q
6 - reatância sub-transitória	x''_q	0,2 a 0,6	0,26
c) outras reatâncias			
7 - reatância de dispersão	x_l	-	x''_d
8 - reatância de Potier	x_p	0,17 a 0,4	0,32
B) reatância de seqüência negativa	x_2	0,10 a 0,60	0,50
C) reatância de seqüência zero	x_0	0,01 a 0,25	0,02 a 0,25

2.5.5 Rotação Nominal

A rotação do gerador deve ser compatível com a da turbina hidráulica e com a frequência do sistema, verificando-se a necessidade de se instalar ou não um multiplicador de velocidade, e são relacionadas por meio da seguinte expressão:

$$n_n = \frac{60.f}{z_p} \quad (3)$$

onde:

n_n = rotação da máquina (rpm).

f = frequência de rotação (Hz).

z_p = número de pares de pólos do grupo gerador.

Existem algumas combinações de números de pólos que restringem o projetista na definição do número de circuitos de corrente de campo, dificultando o projeto e encarecendo o grupo gerador. O projeto ganha grande flexibilidade quando o número de pólos pode ser dividido por vários números de circuitos possíveis. Na prática, deve preferencialmente ter um número de pólos divisível por quatro [1].

Durante a fase de especificação, os valores da rotação nominal e da máxima velocidade de disparo deverão ser precisamente informados aos fabricantes, já que podem ser fatores limitantes, por questões de esforços mecânicos, impondo restrições sobre o diâmetro do rotor.

De acordo com a expressão (3) podem-se obter os seguintes valores para a velocidade de rotação:

Tabela 2.8 - Velocidade de Rotação

nº de pólos	rotação (rpm)
4	1.800
6	1.200
8	900
10	720
12	600
14	514,3
16	450
18	400
20	360

2.6 Arranjos de Montagem

Para pequenas centrais hidrelétricas (PCH), os grupos geradores têm, em geral, eixo horizontal. Assim, a concepção dos mancais possui características próprias, diferindo das GCH. Esses geradores podem possuir *mancais radiais na tampa* ou *em pedestais*. Mancais axiais ou de ação axial ficam reservados para o mancal da TH [1, 30 e 32].

De acordo com as normas da ABNT e IEC, há dois sistemas-código para símbolos e abreviações das formas para montagem de GE, a saber:

? **Sistema-código I:** vale apenas para máquinas elétricas com mancais nas tampas, com uma ponta de eixo livre e abrange somente as construções mais comuns. A simbologia para identificação consiste do código IM (International Mounting), seguida de um número.

? **Sistema-código II:** vale para todas as máquinas rotativas para uso geral e para casos especiais de aplicação.

O Sistema-Código segue a seguinte regra

IM	1	00	1
----	---	----	---

IM - Posição da instalação e sistema de montagem.

1* - Quantidade e construção das pontas de eixo.

00 - Tipo de construção.

1 - Códigos – Símbolos.

O significado dos dois primeiros algarismos da abreviação para o tipo de construção, segundo o **Sistema-Código I** pode ser interpretado como:

Tabela 2.9 – Sistema Código I

1º algarismo	Forma de Construção da Máquina
1	Com pés, mancais na tampa
2	Com pés e flange de fixação, mancais na tampa

3	Com flange de fixação na tampa do mancal, mancais na tampa
4	Com flange de fixação na carcaça, mancais na tampa
5	Sem mancais, desde que sua construção não conste nos itens anteriores
6	Com mancais na tampa e de pedestal
7	Máquina com mancais de pedestal somente
8	Com eixo vertical, desde que sua construção não conste nos itens anteriores
9	Montagem especial

O segundo e o terceiro algarismos fornecem o sistema de instalação e o tipo de montagem da máquina. O significado do quarto algarismo da abreviação para o tipo de construção, segundo o **Sistema-Código II** é representado na continuação da tabela abaixo [1]:

Tabela 2.10 - Sistema Código II

Pontas de Eixo	
4º algarismo	Descrição
0	Sem pontas de eixo.
1	Uma ponta de eixo cilíndrica.
2	Duas pontas de eixo cilíndricas.
3	Uma ponta de eixo cônica.
4	Duas pontas de eixo cônicas.
5	Uma ponta de eixo com flange forjada.
6	Duas pontas de eixo com flanges forjadas.
7	Uma ponta de eixo com flange no lado acoplado e uma ponta de eixo cilíndrica no lado não acoplado.
9	Todas as outras modalidades de construção.

Para o dimensionamento da casa de máquinas é fundamental estabelecer criteriosamente o tipo de construção do GE, pois isto implica em maiores ou menores volumes de obras civis e trabalho de montagem. A definição do número e do arranjo dos mancais é extremamente importante, e função de acordos entre fabricantes do GE. Desse modo, por exemplo, pode-se ter um GE com um só mancal, desde que rigidamente acoplado à TH e esta possua o outro mancal, que não deva ser apenas radial, mas também, axial. Para casos onde haja a necessidade de volantes, é comum o GE ter dois mancais radiais de pedestal e a TH ter um mancal combinado entre o volante e o rotor.

2.6.1 Sistema de Resfriamento

A IEC 34-6/1969 estabelece designações e define simbologias para vários circuitos de resfriamento de máquinas elétricas rotativas. O método de resfriamento é designado pelas letras IC (International Cooling) e por um grupo de uma letra e dois algarismos característicos pra cada circuito de resfriamento. Os tipos mais comuns de refrigeração de máquinas elétricas são identificados de forma simplificada pelas letras IC e dois algarismos característicos. O primeiro algarismo significativo define o tipo de arranjo do circuito de refrigeração, enquanto o segundo representa o modo de suprimento de energia para a circulação do meio refrigerante.

IC	0	1
-----------	----------	----------

IC = Letras características

0 = Primeiro Algarismo: designa o modo de suprimento para circulação do meio refrigerante

1 = Segundo Algarismo: designa o modo de suprimento para circulação do meio refrigerante.

Embora o número de combinações possíveis entre os algarismos característicos seja bastante grande, somente algumas delas são encontradas na prática.

Tabela 2.11 - Significado do Primeiro Algoritmo do Circuito de Refrigeração

Primeiro Algoritmo Característico	
0	Livre circulação.
1	Tubo de aspiração.
2	Tubo de exaustão.
3	Tubo de aspiração e tubo de exaustão.
4	Máquina resfriada através da superfície de sua carcaça, utilizando o meio circulante.
5	Trocador de calor incorporado, utilizando o meio circulante.
6	Trocador de calor montado na máquina, utilizando o meio circulante
7	Trocador de calor incorporado, não utilizando o meio circulante.
8	Trocador de calor montado na máquina, não utilizando o meio circulante.
9	Trocador de calor montado separadamente.

Tabela 2.12 - Significado do Segundo Algoritmo do Característico de Refrigeração

Segundo Algoritmo Característico	
0	Livre convecção.
1	Autocirculação
2	Dispositivo de circulação incorporado, montado em eixo separado.
3	Dispositivo de circulação independente, montado na máquina.
5	Dispositivo de circulação incorporado e independente.
6	Dispositivo de circulação montado na máquina e independente.
7	Dispositivo de circulação montado separadamente, independente ou mediante pressão do sistema de resfriamento.
8	Deslocamento relativo.

Os sistemas de resfriamento mais comumente adotados para geradores na faixa de potência das PCHs, conforme codificação estabelecida pela norma ABNT NBR 5110, são as seguintes:

- IC 01 - O gerador é do tipo autoventilado, grau de proteção IP23 e o ar ambiente da Casa de Força circula pelo gerador através de aberturas de ventilação.
- IC 21 - O gerador é do tipo autoventilado, grau de proteção IP23 e o ar ambiente da Casa de Força é admitido através de abertura de ventilação e expelido para fora da Casa de Força por um duto de exaustão.
- IC W87 A81 - O gerador é do tipo autoventilado grau de proteção IP44. O sistema de resfriamento é totalmente fechado, com o ar circulando através de um trocador de calor ar-água montado diretamente no gerador.

Os dutos de exaustão devem ser providos de telas ou venezianas basculantes para impedir a entrada de pequenos animais.

Nos sistemas IC 01 e IC 21, o ar aspirado contém pó e pequenos insetos que se depositam nos canais de ventilação e nos enrolamentos do gerador, diminuindo a eficiência da ventilação, que implica necessidade de limpeza periódica.

Em locais próximos a indústrias que produzem altos índices de poluição, devem ser utilizados filtros nas entradas de ar.

Com geradores dotados de trocadores de calor ar-água, o ar fresco circula internamente a através do gerador e o ar quente é forçado através de serpentinas, tubos ou placas onde é resfriado e retorna ao gerador. Neste caso, como o sistema é totalmente fechado, não está sujeito a entrada de animais e depósitos de poeira, além do fato que a variação de temperatura da água é menor e mais lenta do que a do ar, resultando numa operação termicamente estável do gerador e proporcionando uma vida útil maior.

2.6.2 Graus de Proteção

Os graus de proteção representam os níveis de proteção relacionados à carcaça da máquina. As condições operacionais e o local de instalação do GE determinam o tipo de proteção adequada. A designação utilizada pela IEC 34-5/1968 é fornecida pelas letras IP, seguidas de dois algarismos característicos que indicam o grau de proteção como segue [1]:

? O primeiro algarismo, que varia de 0 a 5, indica a proteção de pessoas contra o contato com partes sob tensão ou em movimento dentro da carcaça e proteção da máquina contra a penetração de corpos sólidos estranhos.

? O segundo, que varia de 0 a 8, revela a proteção da máquina contra a penetração prejudicial da água.

Adicionalmente, a inclusão da letra **W** entre as letras **IP** e os algarismos indicam que a máquina tem proteção contra intempérias.

Tabela 2.13 - Significado do Primeiro Algarismo do Grau de Proteção

Grau de Proteção		
1º Algarismo	Descrição Abreviada	Descrição Completa
0	Máquina não protegida	Nenhuma proteção especial de pessoas contra contato acidental ou inadvertido com parte sob tensão ou em movimento no interior da carcaça. Nenhuma proteção contra a penetração de corpos sólidos estranhos.
1	Máquina protegida contra corpos sólidos > que 50 mm	Proteção contra contato acidental ou inadvertido com partes sob tensão ou em movimento, no interior da carcaça, de grande superfície do corpo humano. Não constitui, porém, proteção contra acesso propositado a tais partes. Proteção contra a penetração de grandes corpos sólidos estranhos, com diâmetro superior a 50mm.
	Máquina protegida contra corpos	Proteção contra contatos dos dedos com parte sob tensão ou em

2	sólidos > que 12 mm	movimento, no interior da carcaça. Proteção contra a penetração de corpos sólidos estranhos de tamanho médio, com diâmetro superior a 12 mm.
4	Máquina protegida contra corpos sólidos > que 1 mm	Proteção contra o contato de ferramentas, fios ou outros objetos de espessura superior a 1mm, com partes energizadas ou em movimento no interior da carcaça. Proteção contra a penetração de corpos sólidos estranhos de tamanho pequeno, com diâmetro superior a 1 mm, exceto as aberturas de ventilação e o dreno de máquinas fechadas, que poderão ter proteção grau 2.
5	Máquina protegida contra poeira	Proteção total contra o contato com partes sob tensão ou em movimento no interior da carcaça. Proteção contra depósitos prejudiciais de poeira. A penetração da poeira não é evitada totalmente, mas ela não pode entrar em quantidade que prejudique o funcionamento satisfatório da máquina.

Tabela 2.14 - Significado do Segundo Algarismo do Grau de Proteção

2º Algarismo	Descrição Abreviada	Descrição Completa
0	Máquina não protegida	Nenhuma proteção especial

1	Máquina à prova de pingos verticais	Pingos de água, em queda vertical, não devem ter efeitos prejudiciais.
2	Máquina à prova de pingos até 15 ⁰	Pingos de água incidentes em ângulos iguais ou inferiores a 15 ⁰ com a vertical não devem ter efeito prejudicial.
3	Máquina à prova de forma de chuva até 60 ⁰	Água, em forma de chuva, incidente em ângulo igual ou inferior a 60 ⁰ com a vertical, não deve ter efeito prejudicial.
4	Máquina à prova de qualquer pingo	Água respingada de qualquer direção não deve ter efeito prejudicial.
5	Máquinas à prova de jatos de água	Água projetada por um bocal sobre a máquina, de qualquer direção, não deve ter efeito prejudicial.
6	Máquina à prova de vagalhões	Água de vagalhões não deve penetrar na carcaça em quantidade prejudicial
7	Máquina à prova de imersão	A água não deverá penetrar na carcaça em quantidade prejudicial, quando a máquina nela estiver imersa sob condições prescritas de pressão e tempo.
8	Máquina submersível	A água não deverá penetrar na carcaça em quantidade prejudicial, quando a máquina nela estiver imersa sob pressão e tempo especificados.

Capítulo 3

Arranjos de Subestações

3.1 Introdução

Nas centrais hidrelétricas, as subestações cumprem importante função de ligar o gerador, por intermédio de seu transformador, caso exista, ao sistema de transmissão ou distribuição, dependendo de sua localização, finalidade e porte. Este objetivo é alcançado pela conveniente comutação ou manobra de disjuntores e chaves seccionadoras, energizando ou desligando os barramentos e linhas ou cargas conectadas. Além destes, outros componentes auxiliares garantem o cumprimento seguro desta tarefa, tais como, TP, TC, relés, pára-raios, malhas de terra, chaves de aterramento, entre outros [8 e 39].

3.2 Aspectos Gerais

Ao se projetar uma subestação o parâmetro de maior interesse é a sua confiabilidade, resultado da interação da confiabilidade de cada um de seus componentes com a maneira como eles são dispostos, definindo o arranjo da subestação. Naturalmente, como fator restritivo, têm-se os custos e, sendo assim, da mesma forma que nos sistemas de proteção, há alguns arranjos de subestações já consagrados [42].

A filosofia de conexão de geradores a um sistema elétrico pode variar bastante de uma concessionária para outra. No entanto, quanto maior a potência do gerador ou central, maior será a probabilidade desta conexão ser feita em alta tensão. Normalmente, geradores acima de 5MVA já são conectados em tensões superiores a 13,8 kV. Nestes casos, também o arranjo da subestação deve ser compatível com a flexibilidade desejada. As subestações para pequenas centrais hidrelétricas podem ser instaladas dentro da casa de força ou ao tempo. Recomenda-se que as subestações para instalação abrigada na casa de força sejam do tipo Conjunto de Manobra e Controle Blindado, conforme definido pela Norma ABNT NBR 6979 [1].

As subestações para instalação ao tempo podem ser do tipo Conjunto de Manobra e Controle Blindado ou Convencional. Deve-se dar preferência à subestação do tipo Conjunto

de Manobra e Controle Blindado, sempre que possível, que proporciona melhores condições de segurança pessoal contra riscos de acidentes e maior rapidez na fase de instalação do equipamento na usina. Quando a usina operar interligada a um sistema elétrico, deve ser utilizado um sistema de proteção compatível com o sistema existente no ponto de interligação. Os equipamentos componentes da subestação devem ser dimensionados para operar sob as condições mais adversas a que estiverem expostos. Quando a subestação estiver interligada a um sistema elétrico existente, os equipamentos deverão ser adequados para os níveis de curto circuito no sistema, considerando as futuras expansões previstas [6].

3.3 Arranjos típicos de barramentos

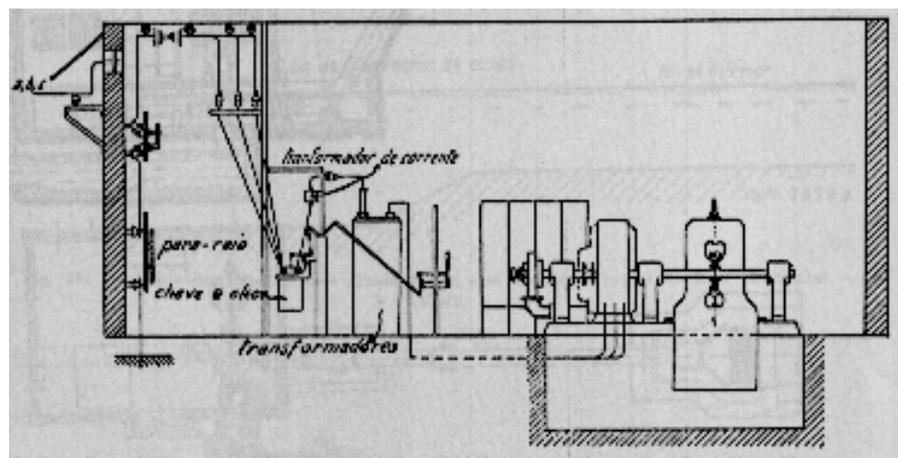


Figura 3.1 - Arranjo Geral da Casa de Força

Existem alguns arranjos de subestações já consagrados que, de certa forma, atendem aos requisitos de confiabilidade e custo dentro de aplicações específicas e são classificados em função do arranjo de seus barramentos. Como orientação, em função do nível de tensão pode-se adotar os seguintes arranjos [29]:

Tabela 3.1 - Arranjos Típicos de Barramentos

Tipos de Arranjos		
Nível de tensão (kV)	Tipo de Barramento	Característica SE
6,6/13,2/ 13,8	Barramento Singelo	Distribuição
25/34,5	Barramento Singelo com Acoplamento Longitudinal	Distribuição/Subtransmissão
13,8 a 138	Barramento Auxiliar ou de Transferência	Subtransmissão/Transmissão
138 a 230	Barra Dupla	Transmissão
345 a 550	Disjuntor e Meio	Transmissão

3.4 Características dos barramentos

Centrais de pequeno porte (nível PCH), na sua maioria, são interligadas ao nível da distribuição, com tensão até 13,8 kV, ou diretamente na subestação de distribuição, ou através de um ramal específico, ou através de uma derivação em alimentadores do sistema de distribuição, ou ainda, dependendo das circunstâncias no qual foi projetada, interligada a um sistema de transmissão que transportará essa energia gerada até a subestação de distribuição [29].

3.4.1 Barramento Singelo

As principais características do barramento singelo (a) são o baixo custo, a operação em tensões até 13,8 kV (Fig.3.2), boa visibilidade da instalação, diminuindo os riscos de manobra, e a reduzida flexibilidade operativa, que poderá ser melhorada com o acionamento do barramento, resultando no arranjo barramento singelo com acoplamento longitudinal (b), que tem sido aplicados até 34,5 kV.

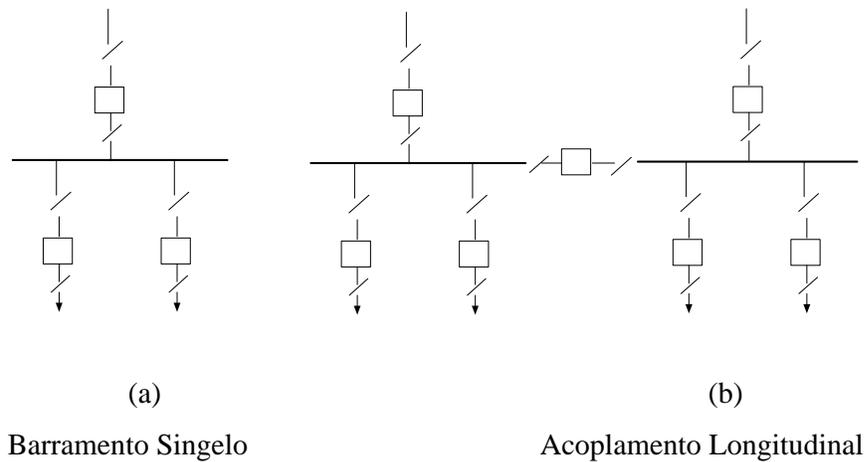


Figura 3.2 - Barramento Singelo e/com Acoplamento Longitudinal

3.4.2 Barramento Auxiliar ou de Transferência

Esse barramento resulta em uma alta segurança de operação, permitindo a comutação sem tensão ou interrupção de fornecimento e, por isso, tem sido aplicado a tensões de 13,8 a 138 kV.

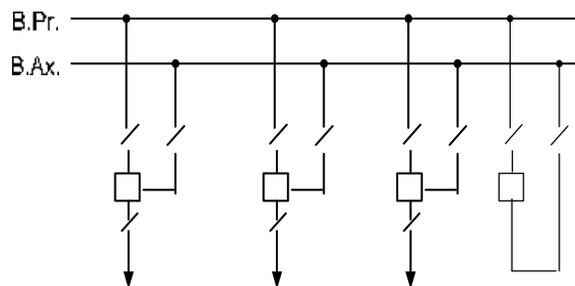


Figura 3.3 - Arranjo de Barramento Auxiliar

3.4.3 Arranjo com Barramento Duplo

Este arranjo, típico de grandes instalações, permite uma operação contínua mesmo durante a manutenção de equipamentos. Podemos encontrar este arranjo de barramento duplo com três, quatro e cinco chaves, respectivamente. O primeiro é normalmente aplicado a

tensões de 138 kV, o segundo é pouco usado e o terceiro é o mais usado, principalmente em tensão de 230 kV.

Como exemplo de projeto elétrico aplicado em uma instalação, será apresentado detalhes do projeto básico da PCH de São Gabriel da Cachoeira, construída as margens do Rio Miuá região da Amazônia. Devido as suas características básicas, $Q= 50 \text{ (m}^3\text{/s)}$, $H= 11,65 \text{ (m)}$ e $P= 5000 \text{ (kW)}$, foram instalados 04 (quatro) grupos geradores com potência de 1520 kVA (cada), tensão de geração de 2,2kV, rotação de 360 rpm e fator de potência de 0,80.

O projeto inclui a construção de uma usina com geração em 2,2 kV, uma subestação elevadora de 2,2 kV – 34 kV e uma subestação abaixadora de 34,5 kV – 13,8 kV, bem como a instalação de todos os equipamentos necessários à sua proteção, serviços auxiliares e supervisionamento, como será mostrado em cada capítulo referenciado a esses item.

O valor da tensão primária de **34 kV** foi imposta ao projeto pela grande distância que teria esta linha.

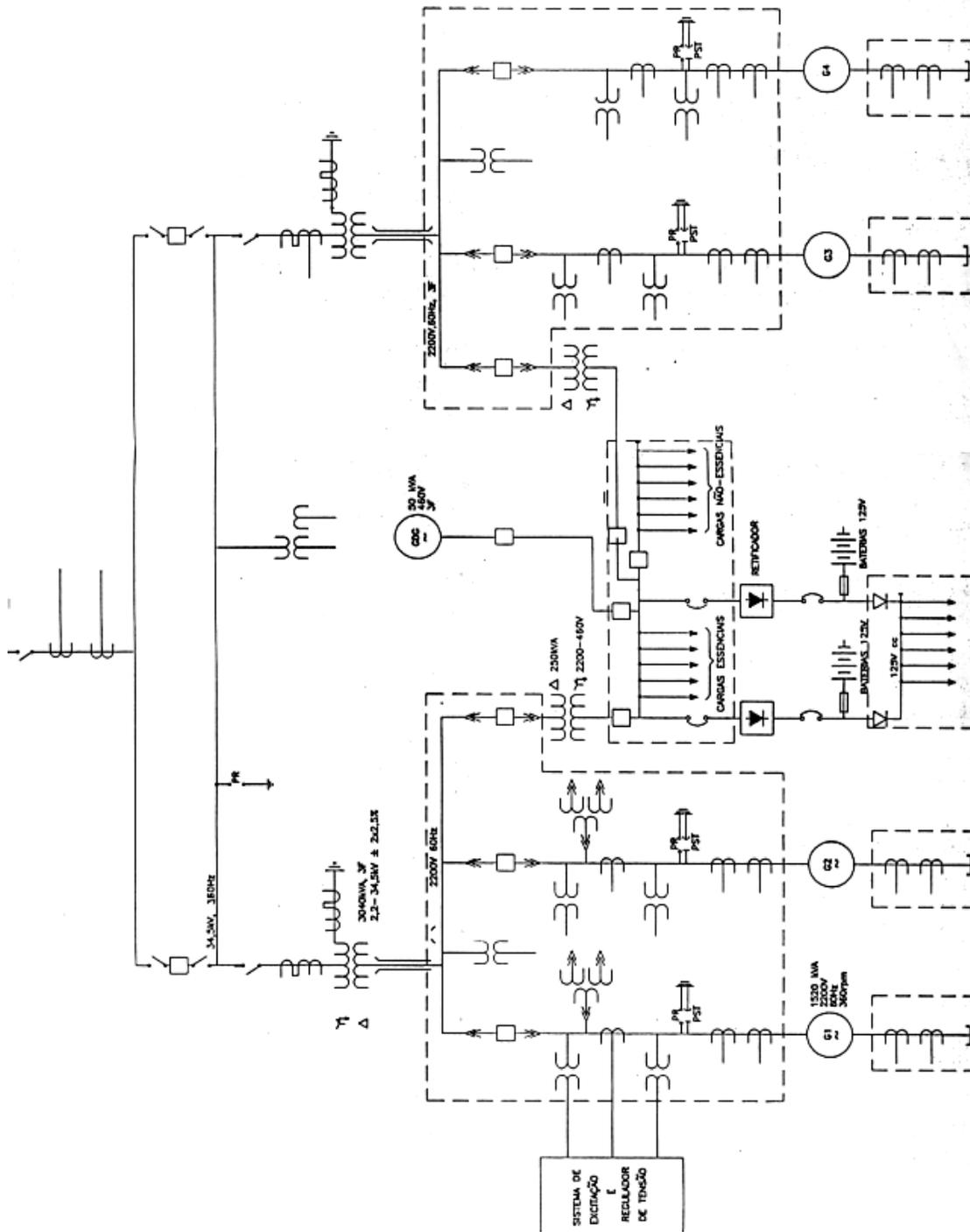


Figura 3.4 Geração - Sistema de Potência

Fonte: Projeto das Instalações da PCH São Gabriel da Cachoeira - Departamento de Engenharia da Energia - UNIFEI

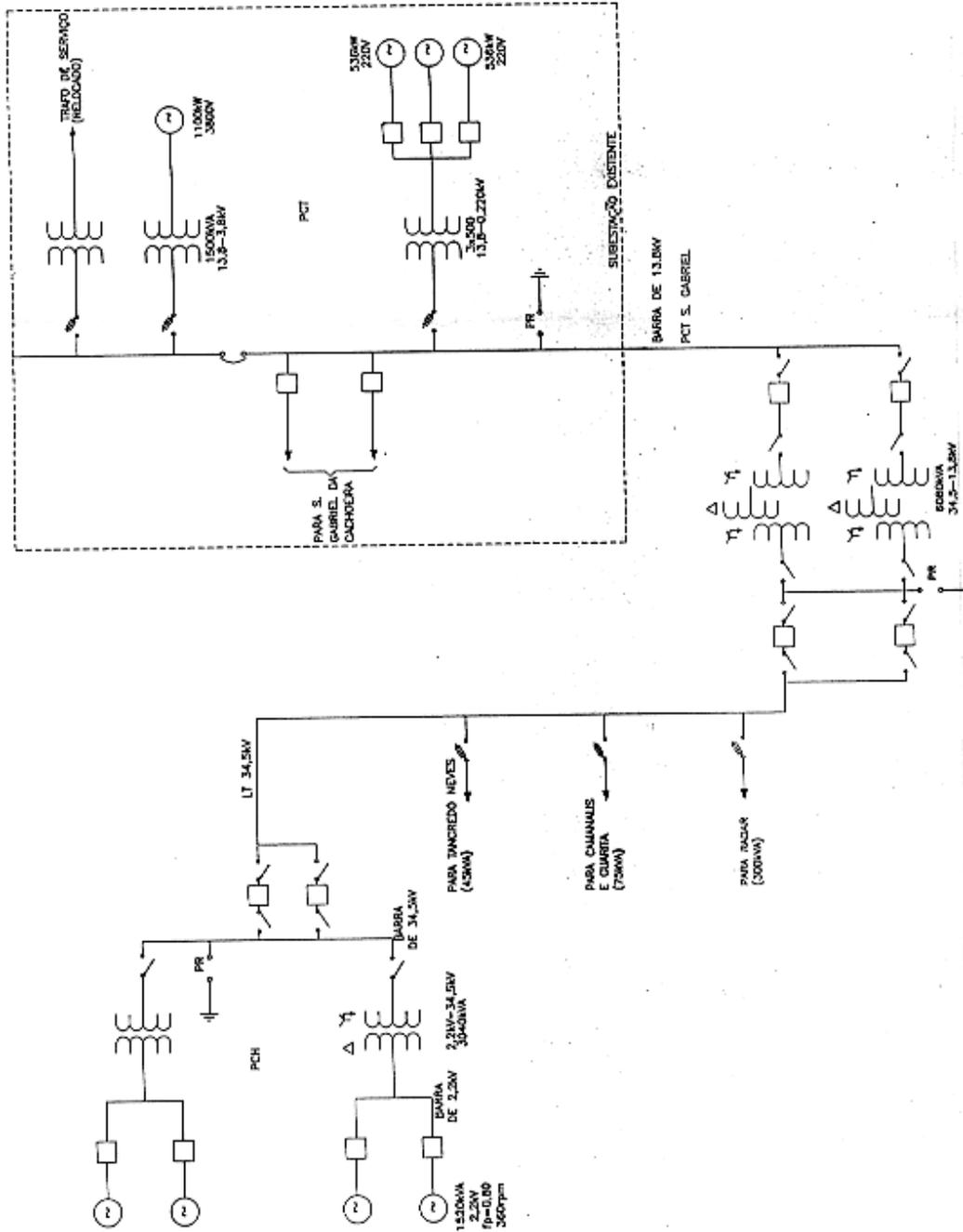


Figura 3.5 Transmissão

Fonte: Projeto das Instalações da PCH São Gabriel da Cachoeira - Departamento de Engenharia da Energia - UNIFEI

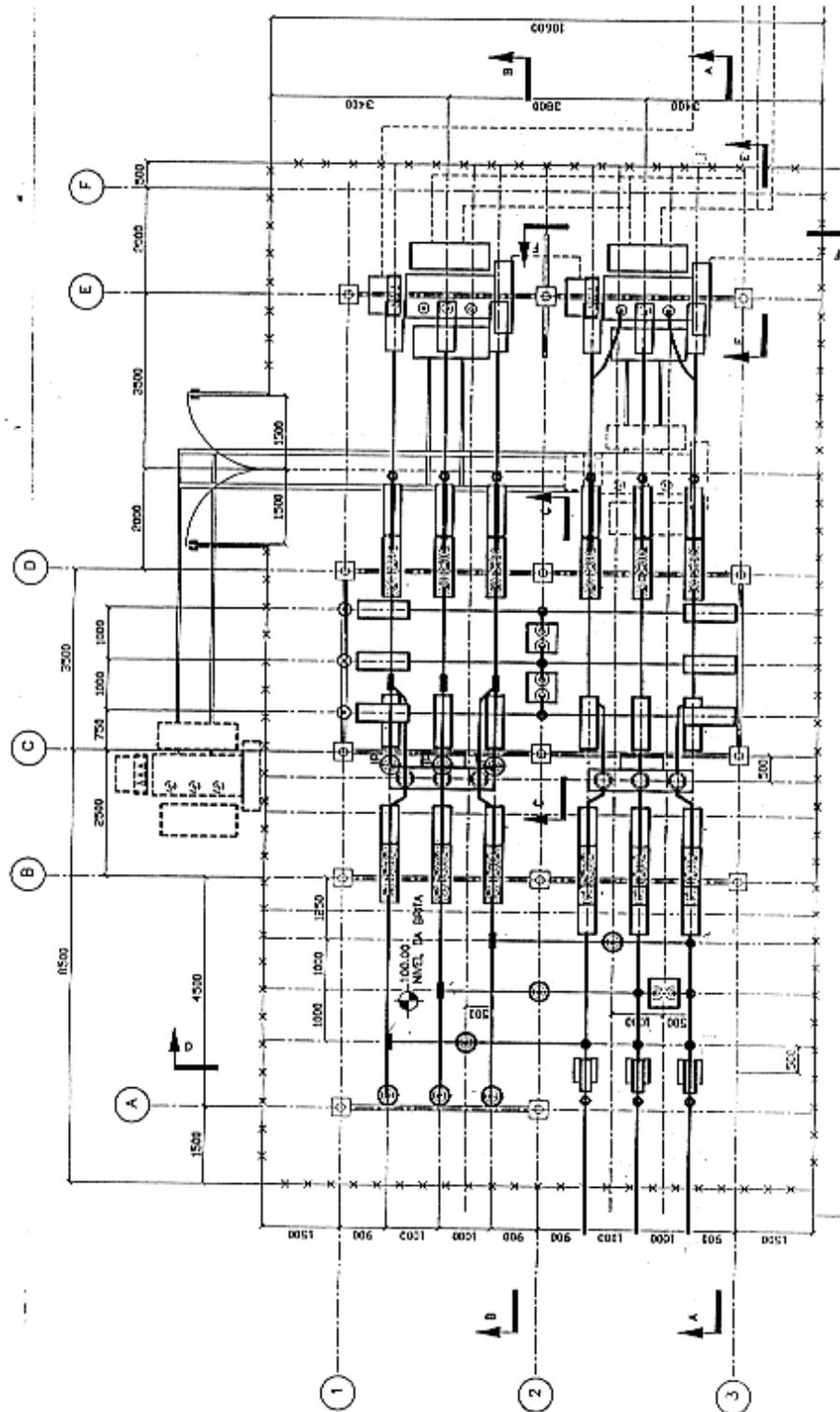
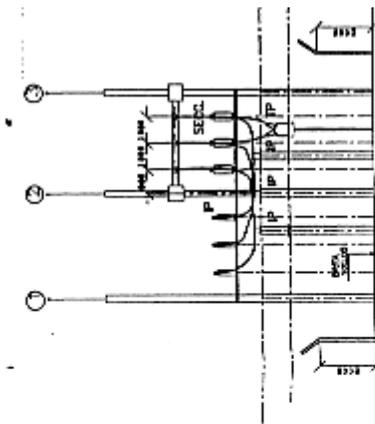
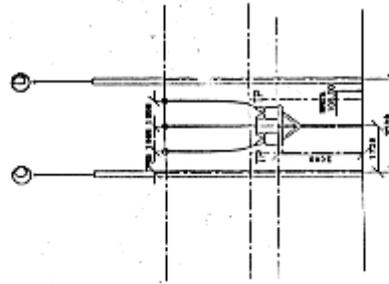


Figura 3.6 - Subestação Elevadora (Arranjo Geral)

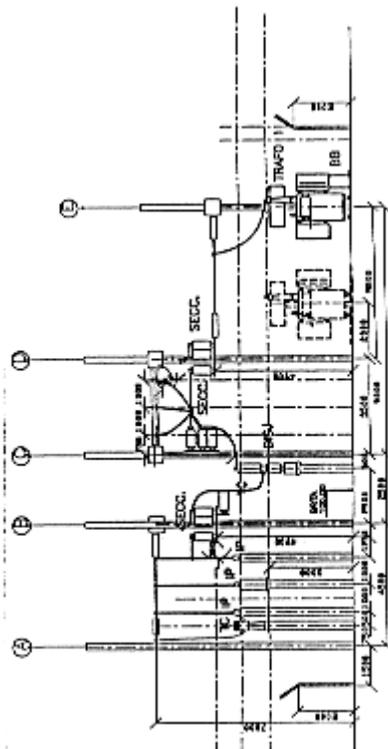
Fonte: Projeto das Instalações da PCH São Gabriel da Cachoeira - Departamento de Engenharia da Energia - UNIFEI



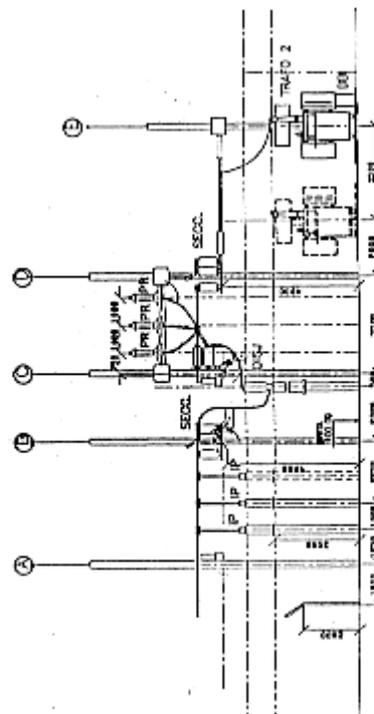
CORTE D-D
ESCALA 1:100



CORTE C-C
ESCALA 1:100



CORTE A-A
ESCALA 1:100



CORTE B-B
ESCALA 1:100

Figura 3.7 - Subestação Elevadora (Cortes)

Fonte: Projeto das Instalações da PCH São Gabriel da Cachoeira - Departamento de Engenharia da Energia - UNIFEI

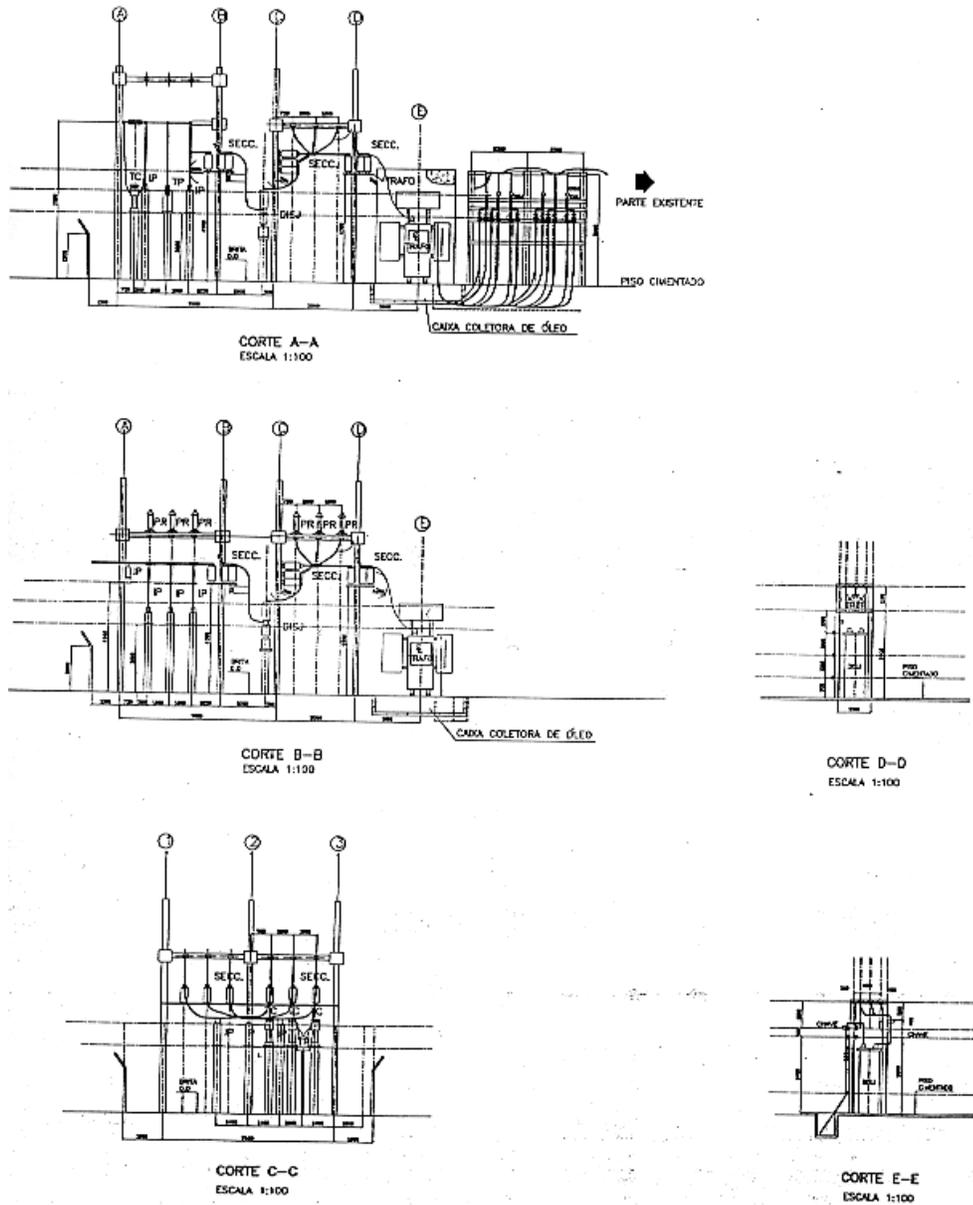


Figura 3.9 - Subestação Abaixadora (Cortes)

Fonte: Projeto das Instalações da PCH São Gabriel da Cachoeira - Departamento de Engenharia da Energia - UNIFEI

Capítulo 4

Sistema de proteção

4.1 - Introdução

A escolha de um sistema de proteção para os equipamentos elétricos constituintes de uma PCH envolve aspectos operacionais, econômicos, de segurança física e pessoal, que devem ser analisados caso a caso. De um modo geral, o sistema de proteção desempenha um papel fundamental na detecção e isolamento de faltas, visando a operação normalizada, prevenção contra falhas e limitação de defeitos resultantes das falhas [29 e 36].

Um fator importante a ser analisado na definição do grau de proteção desejado é a forma como a usina será operada, se assistida por operadores ou automatizada. Nas usinas assistidas por operadores, algumas condições anormais de operação podem apenas acionar um alarme, permitindo que o operador decida se conserva a máquina em operação ou não. No caso de usinas automatizadas ou semi-automatizadas a inexistência de operadores torna necessário prover desligamento para a maioria das condições anormais de operação que impliquem em risco para a integridade da máquina, mesmo que a longo prazo, como no caso de sobrecarga.

A proteção deve funcionar rápida, pra faltas internas, ser sensível às faltas externas, à zona de proteção estabelecida, assinalar condições anormais e eliminá-las quando perigosas. Para a realização dessas funções de proteção, normalmente, são necessários um grande número de relés, cada um com características específicas para cada função [7].

No caso dos sistemas de geração podemos encontrar duas zonas basicamente de proteção que incluem o gerador elétrico (GE) propriamente dito e o bloco composto por gerador elétrico e transformador. Com base nisso, podemos sintetizar uma solução otimizada para as funções de proteção de uma PCH.

4.2 Proteções Indicadas para o Gerador Elétrico

Tabela 4.1 - Proteções para Geradores - Solução Otimizada

PROTEÇÃO	FUNÇÃO ANSI	POTÊNCIA (MVA)						
		< 0,1	0,1 - 0,3	0,3 - 1	1 - 3	3 - 10	10 - 20	20 - 30
Sobrevelocidade	12/14				X	X	X	X
Impedância	21						X	X
Sobreexcitação	24						X	X
Sincronização	25				X	X	X	X
Subtensão	27			X	X	X	X	X
Reversão de potência	32			X	X	X	X	X
Corrente de eixo	38/64						X	X
Perda de campo	40						X	X
Seqüência negativa	46				X	X	X	X
Sobrecarga	49	X	X	X	X	X		
Sobrecorrente instantânea	50	X	X					
Falha do disjuntor	50 BF						X	X
Sobrecorrente temporizado	51	X	X	X	X			
Sobrecorrente (restrita)	51 V			X	X	X		
Sobrecorrente de neutro	51G				X	X		
Disjuntor	52	X	X	X	X	X		
Sobretensão	59			X	X	X		
Sobreexcitação	59F							X
Falha dos fusíveis dos TPs	60 FL						X	X
Falta à terra (100%)	64				X	X	X	X
Falta à terra restrita (95%)	64						X	X
Rotor à terra	64F				X	X		X
Subfrequência	81						X	X
Diferencial	87G				X		X	X
Diferencial em bloco	87GT			X		X	X	X

4.2.1 Descrição das Principais Funções de Proteção do Gerador

A seguir estão relacionadas algumas das principais funções disponíveis nos relés de proteção digital para geradores [29]:

- **Proteção contra sobrevelocidade (12):** A sobrevelocidade normalmente é oriunda de uma rejeição de carga seguida do mau funcionamento do regulador de velocidade. Em função do stress mecânico provocado nestes casos, esta proteção se torna extremamente desejável na maioria das instalações. Para tanto, o sistema se utiliza de um sensor de velocidade solidário ao eixo da turbina.

- **Relé de impedância (21):** Trata-se de um relé que permite que o gerador atenda cargas que estejam dentro de uma região de operação pré-estabelecida. No caso de faltas externas, tais como um curto-circuito, a impedância vista pela máquina foge da região admissível, levando à atuação do relé.

- **Proteção contra sobreexcitação (24):** A sobreexcitação pode ocorrer devido à operação com tensões maiores do que a nominal, ou tensões iguais ou menores que a nominal a uma frequência inferior à nominal. A partir da relação tensão/frequência pode-se detectar o nível de excitação, uma vez que ela afeta termicamente, tanto o gerador, como também qualquer transformador a ele conectado.

- **Relé de sincronismo (25):** É um relé que verifica se as condições de sincronismo e paralelismo entre o gerador e o sistema foram ou não atendidas. A sua saída é normalmente utilizada em lógicas de intertravamento para a permissão do fechamento do disjuntor de interligação.

- **Proteção contra subtensões (27):** Este relé protege a unidade geradora contra subtensões sustentadas à frequência industrial.

- **Proteção contra potência reversa (32):** A tentativa de funcionar como motor pode ocorrer, por exemplo, quando há bloqueio da tomada d'água do gerador. Nestas ocasiões, o baixo fluxo de água na turbina pode ocasionar cavitação e conseqüentes danos. A utilização de proteção contra motorização é dada por meio de relé de reversão de potência e recomendável no caso de usinas não atendidas.

- **Sobretensão dos mancais (38):** Um sensor de temperatura instalado em um orifício do mancal poderá detectar um eventual sobreaquecimento. A sua atuação é feita através de um alarme.

- **Proteção contra perda de excitação (40):** Quando ocorre a perda de excitação, a máquina passa a operar como um gerador de indução, girando abaixo da velocidade síncrona e absorvendo reativos do sistema. Esta situação pode causar colapso da tensão e tornar instável o sistema ao qual está conectada. A proteção para perda de excitação pode ser desejável nestes casos. Os relés para perda de excitação costumam utilizar unidades de impedância (tipo off – set mho), direcional ou subtensão. Com as suas características devidamente ampliadas, pode ser utilizado para detectar perda de sincronismo.

- **Proteção contra carga desequilibrada (46):** A ocorrência de faltas assimétricas externas à máquina, principalmente quando ocorre falha nas proteções de outros equipamentos, pode causar a circulação de correntes de seqüência negativa no estator da máquina. Estas correntes induzem correntes de frequência dupla no rotor do gerador que causam sobreaquecimento e em casos mais severos danos à estrutura do rotor. A proteção para esta condição pode ser realizada por meio de relés de sobrecorrente de seqüência negativa.

- **Proteção contra sobrecarga (49):** A proteção contra sobrecarga pode ser realizada por meio de relés que estimam o comportamento térmico do gerador pela medição da corrente de

carga (*imagem térmica*) ou por meio de detectores resistivos de temperatura embutidos nos pontos críticos do gerador.

- **Proteção de sobrecorrente instantânea (50):** Este relé provê uma proteção com alta sensibilidade e velocidade, atuando imediatamente sempre que o valor de corrente ultrapasse um limite previamente ajustado.

- **Detecção de falha do disjuntor (50BF):** Muitas vezes um disjuntor pode não atuar mediante a um comando de abertura. Tal problema pode ser de ordem elétrica ou mecânica. Elétrica, quando, por exemplo, a potência do curto-circuito supera a sua capacidade disruptiva; mecânica quando as suas partes móveis apresentarem defeito. Este relé detecta a falha na operação e dispara o procedimento de medidas mitigadoras.

- **Proteção de sobrecorrente temporizada (51):** É um relé com característica de tempo definida, podendo esta ser normalmente inversa, muito inversa ou extremamente inversa, que atua quando a corrente ultrapassa um valor determinado. A característica de tempo é muitas vezes desejável para viabilizar a coordenação da proteção. Muitas vezes a numeração vem acompanhada das letras **N** ou **G**, que representam sobrecorrente de neutro e de terra (*ground*), respectivamente.

- **Sobrecorrente temporizado com restrição de tensão (51V):** Este relé de sobrecorrente permite ser ajusto para correntes abaixo da corrente nominal da máquina, uma vez que ele só irá atuar se, simultaneamente, a tensão estiver abaixo de um valor ajustado pré-especificado. Uma aplicação importante é o discernimento entre uma corrente de carga e uma corrente de falta com alta impedância. No último caso, a tensão cai a zero.

- **Proteção contra sobretensões (59):** Este relé protege o isolamento da unidade geradora contra sobretensões elevadas e sustentadas na frequência industrial, as quais podem ser originadas de perdas de carga, aberturas monopolares, sobreexcitação, etc.

• **Proteção de 100% dos enrolamentos do estator à terra (59GN/27N):** Esta função, em geral, é efetuada empregando-se um relé de sobretensão (59) monitorando o elemento de aterramento do neutro do gerador. Um sistema de proteção complementar emprega um relé de subtensão sintonizado no terceiro harmônico. Em função do projeto da máquina, uma tensão de terceiro harmônico surge em maior ou menor grau no ponto de conexão do neutro. Esta tensão pode ser monitorada a fim de detectar faltas à terra próximas ao neutro.

• **Proteção contra falha dos fusíveis dos TPs (60FL):** A perda do sinal de tensão pode conduzir a uma série de problemas no funcionamento do sistema de geração, além a atuação intempestiva de algumas proteções. O motivo mais comum desta falha é a perda de fusíveis. Outras causas poderiam ser a falha em enrolamento de TPs, abertura accidental de contatos, etc. A sua detecção pode ser feita a partir de um relé de desbalanço de tensão. Relés mais modernos utilizam relações existentes entre componentes de seqüência negativa da tensão e da corrente durante a perda de potencial.

• **Proteção de estator à terra (64S):** Detecta eventuais contatos do enrolamento do estator à terra. Pode ser efetivada através de uma ligação ao sistema de aterramento do neutro da estrela. Esta função detectará faltas à terra na faixa de 0 a 95% do comprimento do enrolamento rotórico.

• **Proteção contra falta à terra no rotor (64F):** Esta função é extremamente importante e sua concepção é complexa. Como a tensão de excitação é uma fonte DC fluando em relação ao terra do gerador, o relé atua em dois níveis: advertência, quando apenas um dos terminais da fonte é aterrado – o que, na realidade, não implica em problemas – e um desligamento quando ambos os terminais são aterrados.

• **Proteção contra sobre e subfreqüência (81):** A operação com sobrefreqüência pode indicar uma sobrevelocidade, sendo extremamente nociva às partes rotativas do grupo gerador, pela força atuante, e aos mancais. A subfreqüência, por outro lado, pode indicar uma sobrecarga, devendo rapidamente ser eliminada. Este relé é capaz de detectar estas variações e, em função de sua magnitude, permite atuar com diferentes ajustes temporizados. A função $\Delta f/\Delta t$ pode ser incorporada para detectar variações bruscas de freqüência.

• **Proteção diferencial (87G):** Faltas internas no gerador geralmente se desenvolvem como uma falta à terra numa das fases do enrolamento e podem ocasionalmente envolver mais de uma fase. A proteção mais efetiva para falta entre fases é realizada pelos relés diferenciais. A utilização destes relés somente é possível quando os terminais de neutro de cada uma das fases forem acessíveis para a instalação dos transformadores de corrente.

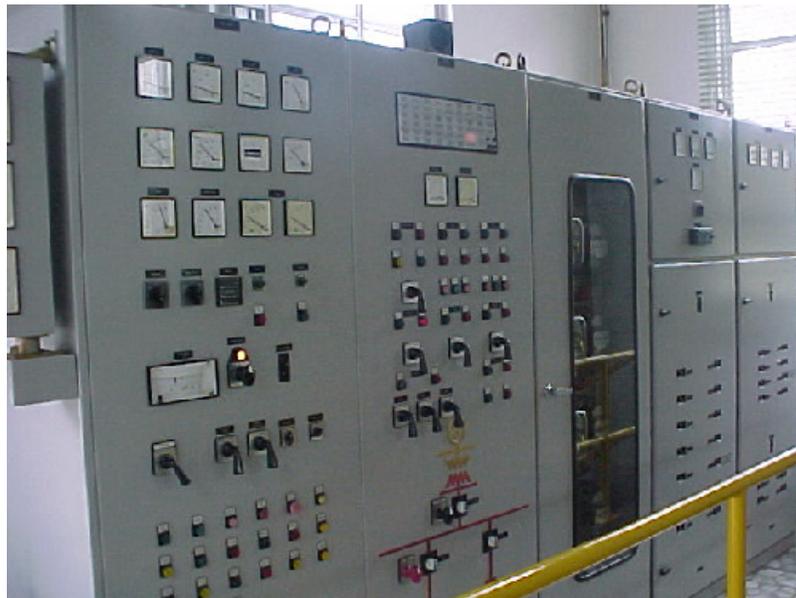


Figura 4.1 – Exemplo de Quadro de Comando e Proteção

4.3 Proteções Indicadas para o Transformador

A proteção dos transformadores, como ocorre também para diversos outros equipamentos elétricos, utiliza um conjunto típico de relés de proteção, que operam segundo vários esquemas. Tais esquemas dependem da sensibilidade, velocidade e problemas de coordenação entre os vários outros grupos de relés instalados em suas imediações físicas e elétricas, as quais estão rigidamente atreladas às condições de seletividade impostas.

Em geral, os transformadores não costumam apresentar elevados índices de falhas, porém, quando estas surgem, inevitavelmente levam a desligamentos, forçados ou não, implicando em substituições, paralisações, manobras, riscos e manutenções corretivas. A fim de evitar tais implicações, existem umas séries de recomendações operacionais a que o transformador está submetido, associado a um conjunto de relés de proteção.



Figura 4.2 – Exemplo de Transformador 750 kVA

4.3.1 Características das principais Funções de Proteção do Transformador

- **Relé indicador de temperatura de óleo (26)**

Utiliza-se de um sensor de temperatura instalado no ponto mais quente do transformador, normalmente próximo ao topo da carcaça. Esta temperatura reflete possíveis problemas de aquecimento provocado por sobrecarga ou por curto-circuito no pacote magnético. Possui contatos ajustáveis para as funções de desligamento e alarme.

• **Relé indicador de temperatura dos enrolamentos (49)**

Funciona através de um dispositivo de imagem térmica, o qual permite inferir a temperatura dos enrolamentos através de informações da temperatura do óleo e da corrente na fase, provendo desta forma, uma proteção de sobrecarga.

• **Relé de sobrecorrente de fase e neutro (50-51)**

São relés de sobrecorrente instantâneos e temporizados, aplicados tanto a fases como ao neutro do transformador, provendo proteção contra defeitos externos, bem como fornecer uma proteção de retaguarda no caso de falha do releamento primário do transformador. A unidade 50 deve ser insensível às correntes de *inrush* do transformador e, no caso de transformadores com conexão triângulo-estrela, são instalados apenas do lado de alta tensão, protegendo cerca de 80% do enrolamento.

• **Relé de falhas incipientes (63)**

É também um relé de sobrepressão, denominado relé Buchholz. Atua por dois princípios de funcionamento distintos, um através da detecção do acúmulo de gás, provendo alarme, e através da súbita variação do nível de óleo ou gás, provendo desligamento bastante rápido. É normalmente instalado entre o tanque e o reservatório de óleo.

• **Relé de sobrepressão interna (63P)**

Esta proteção é capaz de detectar a formação de gás produzido por defeito entre espiras dos enrolamentos, provendo uma proteção de alta velocidade, uma vez que é a

proteção primária do transformador. Para transformadores com potência acima de 5 MVA esta proteção é substituída pelo relé diferencial.

- **Relé indicador de nível de óleo do conservador (71)**

Este equipamento monitora o nível do óleo, sinalizando através de contatos, os valores máximo e mínimo de óleo. É utilizado normalmente apenas para prover alarme, podendo eventualmente ser empregado para desligamento no caso de nível mínimo.

Estes relés analisados fazem parte de um releamento próprio do transformador, denominado releamento primário. A seguir serão apresentados um releamento denominado secundário, por utilizarem-se de secundários de TCs e TPs e por oferecerem uma função de retaguarda em relação aos relés primários.

- **Relé diferencial (87)**

Fornece uma proteção seletiva de alta velocidade para defeitos fase-fase, fase-terra e curtos entre espiras de um mesmo enrolamento, dentro da zona de proteção estabelecida pelos limites da malha diferencial. Possui um alto grau de sensibilidade, determinado pelo *slope* e pela corrente mínima de operação.

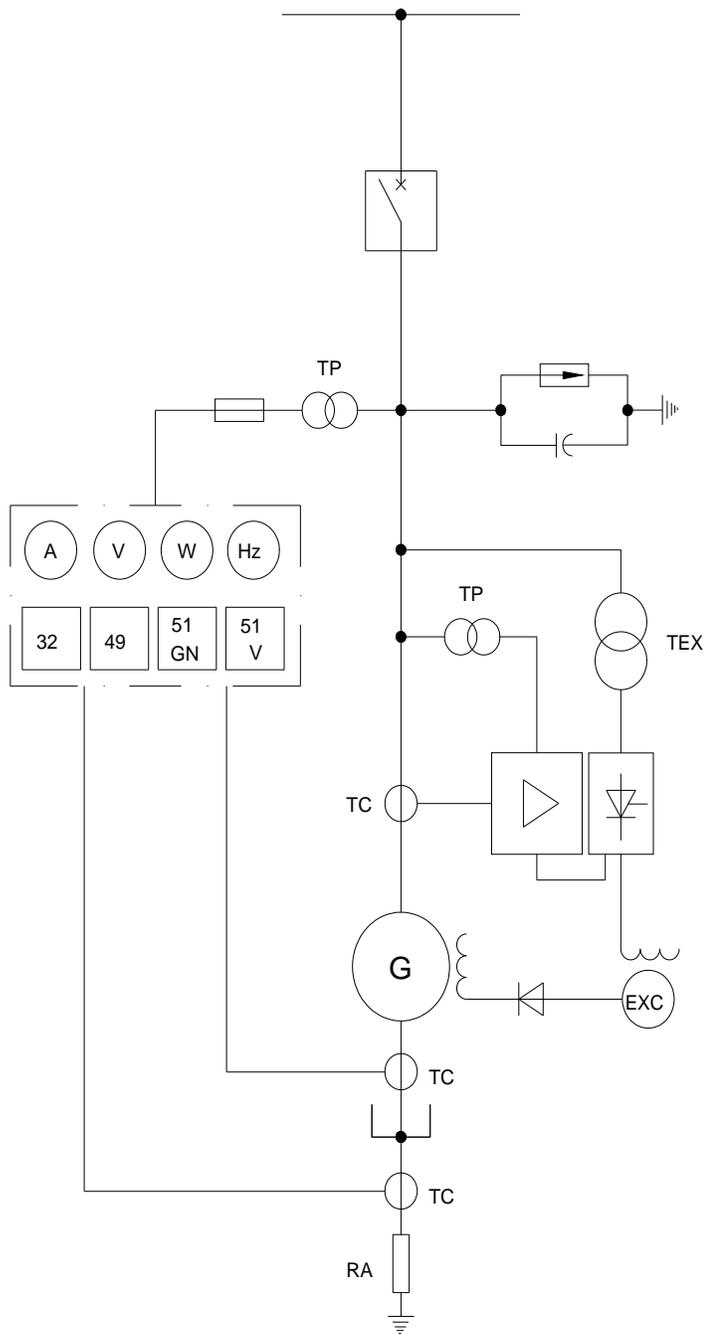


Figura 4.3 – Proteções Mínimas para Usinas com Gerador até 2MVA

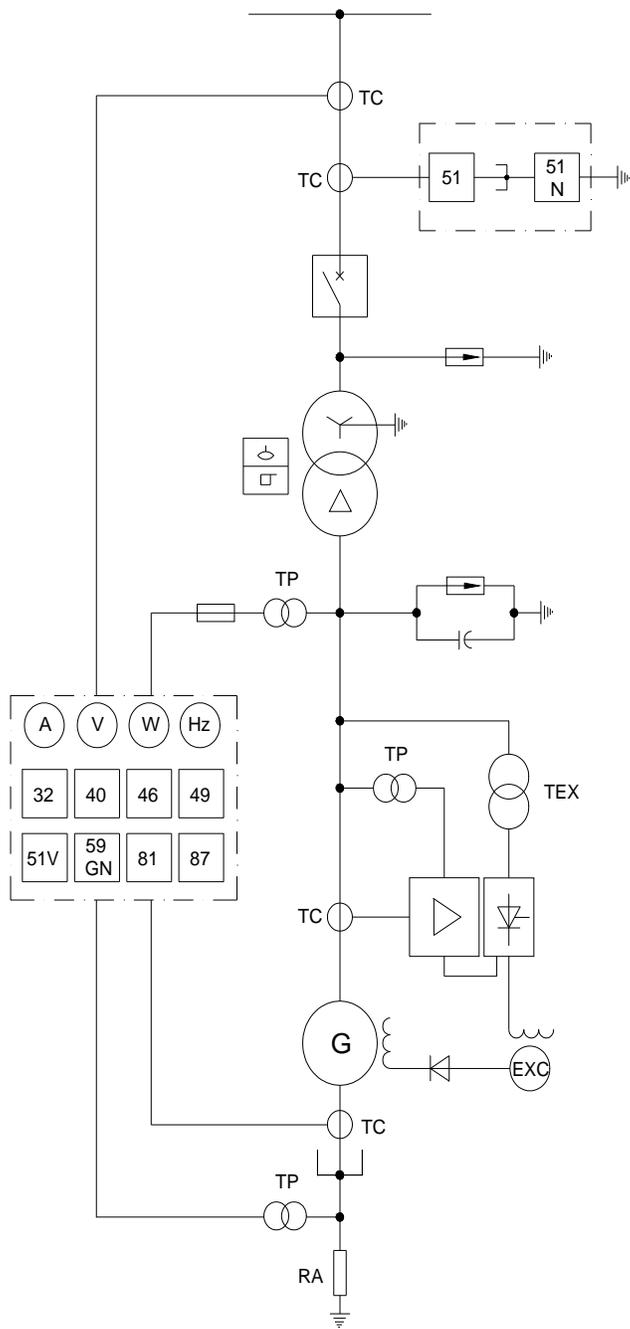


Figura 4.4 – Proteções Mínimas para Usinas com Gerador até 10MVA

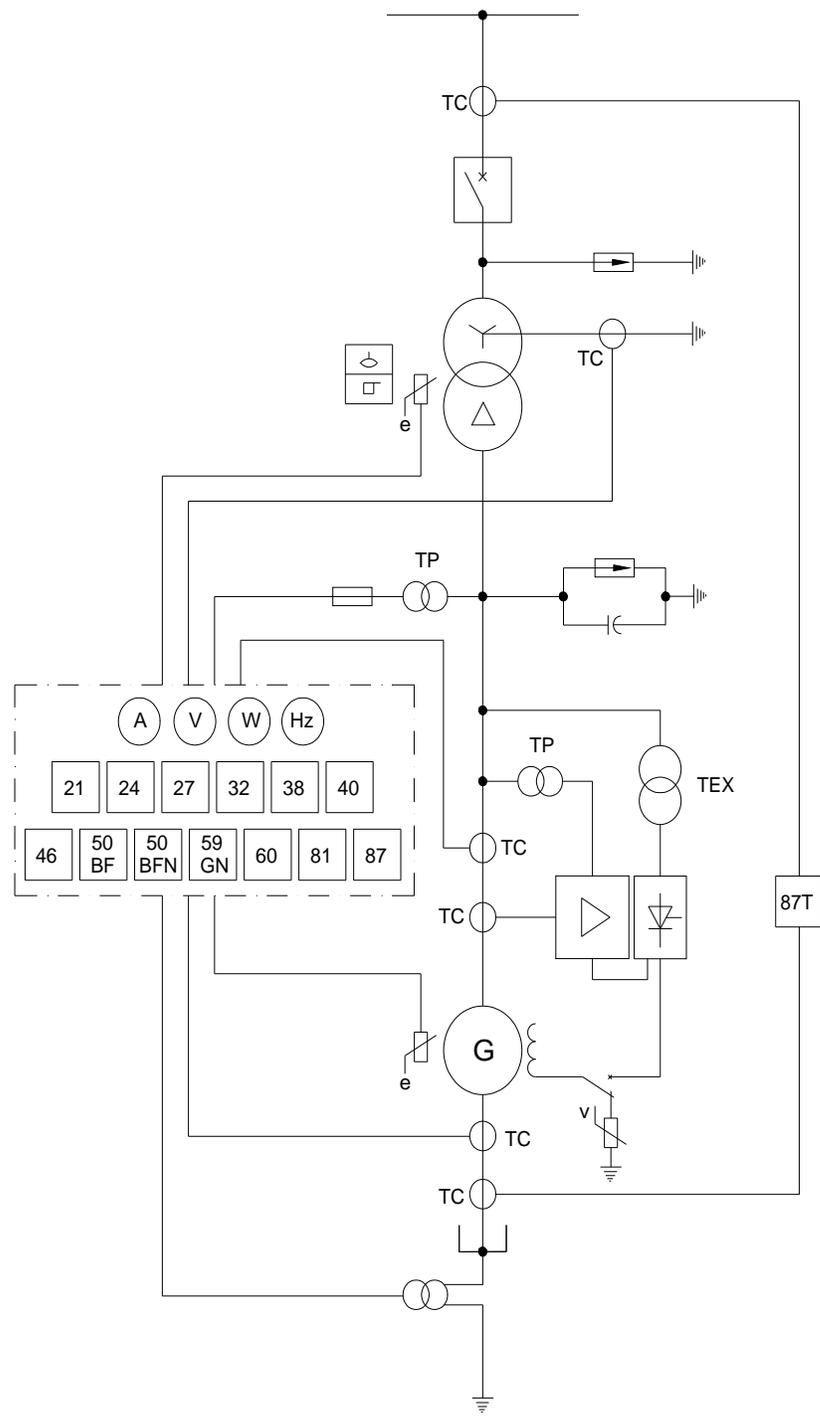


Figura 4.5 – Proteções Mínimas para Usinas com Gerador acima de 10MVA

Atenção especial deve ser dada à proteção de sobretensões de origem transitória (atmosférica ou de manobra), e ao aterramento do neutro do GE através de resistor para limitar correntes de falta à terra no estator a valores compatíveis com a operação do sistema de proteção e sobrecorrente, de modo a evitar danos ao núcleo do estator e minimizar sobretensões transitórias durante a ocorrência do curto-circuito à terra. O sistema de aterramento deverá ser coordenado coma proteção de surtos dos equipamentos de modo que a isolação do GE e dos equipamentos associados sejam efetivamente protegidos [2].

4.4 Equipamentos de proteção contra sobretensões (pára-raios)

Os pára-raios tem como finalidade proteger os equipamentos elétricos contra sobretensões transitórias elevadas, limitando sua duração, bem como limitar as correntes subseqüentes das sobretensões. Os pára-raios são sensíveis a sobretensões acima de sua tensão nominal (a 60 Hz). Para proceder à especificação de materiais e equipamentos, é necessário conhecer os dados elétricos em cada ponto da instalação, bem como as características do sistema. Uma característica particularmente interessante de ser conhecido para se especificar, corretamente , um pára-raios é o tipo de aterramento do neutro do transformador de força da subestação de distribuição, o que caracterizará a tensão máxima de operação do sistema. Dependendo da configuração do sistema de distribuição, o transformador pode estar conectado em estrela não aterrada ou triângulo (sistema a três fios), ou em estrela aterrada, efetivamente, ou com impedância inserida (sistema a três fios), ou ainda em estrela aterrado e neutro multiterrado (sistema a quatro fios). Para cada tipo de configuração é necessário que se especifique, adequadamente o pára-raios que por sua vez podem ser classificados, segundo a sua utilização, em três tipos: **linha**, **distribuição** (para proteção de equipamentos) e **subestação** [35].

Basicamente, os pára-raios são constituídos de:

- Corpo de porcelana – Constituído de porcelana de alta resistência mecânica e dielétrica, no qual estão alojados os principais elementos ativos do pára-raios.
- Resistores não lineares – São blocos cerâmicos feitos de material refratário, química e eletricamente estáveis. Esse material é capaz de conduzir altas correntes de descarga com

baixas tensões residuais. Entretanto, o resistor não linear oferece uma alta impedância à corrente subsequente. São formados de carboneto de silício, que apresenta um coeficiente de temperatura negativo, isto é, sua condutibilidade aumenta com a temperatura. Também existem resistores de óxido de zinco.

- Desligador automático – É composto de um elemento resistivo colocado em série com uma cápsula explosiva protegida por um corpo de baquelite. O desligador automático é projetado para não operar com a corrente de descarga e a corrente subsequente. Também serve como indicador de defeito do pára-raios.
- Centelhador série – é constituído de um ou mais espaçamentos entre eletrodos, dispostos em série com os resistores não lineares, e cuja finalidade é assegurar, sob qualquer condições, uma característica de disrupção regular com uma rápida extinção da corrente subsequente.
- Protetor contra sobrepressão – É um dispositivo destinado a aliviar a pressão interna devida a falhas ocasionais do pára-raios e cuja ação permite escape dos gases antes que haja rompimento da porcelana.



Figura 4.6 – Entrada de Energia com Dispositivos de Proteção e Distribuição

Na especificação de um pára-raio é necessário que se indiquem, no mínimo, os seguintes elementos:

- Tensão nominal eficaz, em kV.
- Freqüência nominal.
- Máxima tensão disruptiva de impulso sob frente de onda, em kV.
- Máxima tensão residual de descarga, com ondas de 8 x 20 μ s, em kV.
- Máxima tensão disruptiva, à freqüência industrial, em kV.
- Corrente de descarga, em A.
- Tipo (distribuição ou estação).

As tabelas abaixo fornecem, respectivamente, os elementos de orientação para a escolha dos pára-raios em função da tensão máxima de operação do sistema e as principais características elétricas.

Tabela 4.2 - Escolha dos Pára-Raios segundo o tipo de aterramento do transformador

Tensão nominal do pára-raios (kV)	Sistema ? ou ? a três fios (kV)	Sistema ? - três fios com neutro efetivamente aterrado no transformador de alimentação (kV)	Sistema ? - quatro fios com neutro multiterrado (kV)
3	3	3,60	4,50
6	6	7,20	9,00
9	9	11,00	12,80
12	12	15,00	18,00
15	15	18,00	18,00
27	27	32,00	36,5
39	39	47,00	-
Nominal	Tensão Máxima do Sistema		

Tabela 4.3 - Características dos Pára-Raios

Tensão nominal (kV eficaz)	Tensão disruptiva à frequência industrial (kV eficaz)	Máxima tensão disruptiva a impulso atmosférico sob onda normalizada (kV de crista)	Máxima tensão de descarga com onda de 8 x 20 μ s (kV de crista)		Máxima tensão disruptiva por manobra (kV de crista)
			5.000 A	10.000 A	
3	4,4	21	18,0	13,0	8,25
6	9,0	40	31,0	22,6	15,50
9	13,5	58	46,0	32,5	23,50
12	18,0	70	54,0	43,0	31,00
15	22,5	80	64,0	54,0	39,00
27	40,5	126	99,0	97,0	70,00
39	58,5	-	141,0	141,0	101,00

A máxima tensão de falta à terra é estabelecida por critérios de “poder de escoamento” que o pára-raios deve suportar. Para médias tensões (< 45 kV), podemos considerar o valor de 5 kA, como sendo o poder de escoamento suficiente. Em subestações, em ponto de linha, ou em setores de linha particularmente exposta ou em instalações de alta tensão (> 45 kV) recomenda-se a utilização de pára-raios com poder de escoamento de 10 kA.

Exemplo: Pára-raios do tipo distribuição, a resistor não linear, com desligador automático, tensão nominal de 12 kV, corrente de descarga nominal 5.000A, máxima tensão disruptiva a impulso atmosférico de 70 kV, máxima tensão residual de descarga de 54 kV e máxima tensão disruptiva à frequência industrial de 18 kV.

4.5 Aterramento

Toda instalação elétrica de alta e baixa tensão, para funcionar com desempenho satisfatório e ser suficientemente segura contra riscos acidentais fatais, deve possuir um sistema de aterramento dimensionado adequadamente para as condições de cada projeto [36].

Na aplicação da metodologia pode-se empregar duas formas usuais, através do cálculo da malha de terra que é utilizado mais intensamente em subestações de potência e o cálculo

do aterramento com eletrodos verticais, para malhas de terra dedicadas a pequenas subestações do tipo distribuição.

Os sistemas de aterramento visam de maneira geral, basicamente:

- 1) Segurança de atuação da proteção.
- 2) Proteção das instalações contra descargas atmosféricas.
- 3) proteção do indivíduo contra contatos com partes metálicas da instalação energizadas acidentalmente.
- 4) Uniformização do potencial em toda área de projeto, prevenindo contra lesões perigosas que possam surgir durante uma falta fase a terra.

Dentro dessa concepção geral, definimos ainda dois tipos de aterramento:

? O aterramento funcional, que consiste na ligação a terra de um dos condutores do sistema, geralmente neutro, e está relacionado com o funcionamento correto, seguro e confiável da instalação.

? O aterramento de proteção, que consiste na ligação a terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, visando a proteção contra choques elétricos por contatos indiretos.

Dentro de determinadas condições pode-se ter, numa instalação, um aterramento (combinado) funcional e de proteção. Os aterramentos, como já mencionados, devem assegurar, de modo eficaz, as necessidades de segurança e de funcionamento de uma instalação elétrica, constituindo-se num dos pontos mais importante de seu projeto e de sua montagem.

O aterramento de proteção tem por objetivos:

- 1) Limitar o potencial entre massas, entre massas e elementos condutores estranhos à instalação e entre ambos e a terra a um valor suficientemente seguro sob condições normais e anormais de funcionamento.
- 2) Proporcionar às correntes de falta para terra um caminho de retorno de baixa impedância.

Por sua vez, o aterramento funcional, isto é, a ligação à terra de um dos condutores vivos do sistema (o neutro em geral), proporciona principalmente:

- 1) Definição e estabilização da tensão da instalação em relação à terra durante o funcionamento.
- 2) Limitação de sobretensões devidas manobras, descargas atmosféricas e a contatos acidentais com linhas de tensão mais elevadas.

Ainda quanto ao aterramento funcional, os sistemas podem ser classificados e:

- ? diretamente aterrados.
- ? aterrados através de impedância (resistor ou reator).
- ? não aterrados.

4.6 Aterramento do neutro do gerador

Os geradores devem ser adequados para ligação em estrela, fornecidos com terminais acessíveis para ligação do ponto neutro à terra. O aterramento do neutro do gerador está diretamente relacionado com a proteção do gerador contra os efeitos nocivos das faltas para terra. Os métodos mais comuns para o aterramento do neutro dos geradores são os relacionados a seguir [6].

4.6.1 Métodos Para aterramento do neutro do Gerador.

- **Aterramento de baixa resistência com resistor no neutro.**

Este método é mais adequado para o caso em que os geradores estão ligados diretamente ao sistema, sem transformadores; o resistor é dimensionado para limitar a corrente que circula no neutro do gerador, no caso de uma falta para terra no sistema, a um valor suficiente para sensibilizar os relés de terra do sistema, conforme Figura 4.5.

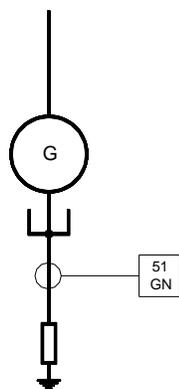


Figura 4.7 - Aterramento de Baixa Resistência com Resistor no Neutro

• **Aterramento de alta resistência com resistor no neutro.**

Este método é utilizado tanto para geradores ligados diretamente ao sistema quanto para sistemas unitários. O neutro do gerador é ligado à terra através de um resistor com um transformador de potencial em paralelo. O resistor é dimensionado para limitar a corrente de falta fase-terra para valores da ordem de 5 a 25 A, conforme Figura 4.6

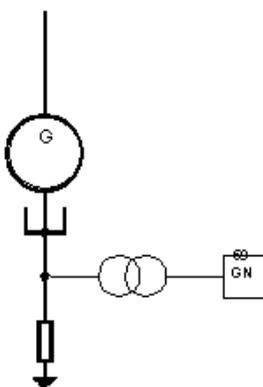


Figura 4.8 - Aterramento de Alta Resistência com Resistor no Neutro

• **Aterramento com transformador de distribuição.**

Este método é muito utilizado nos sistemas de geração unitários. O neutro do gerador é ligado à terra através de um transformador monofásico de distribuição com um resistor

secundário, limitando a corrente da falta fase-terra nos terminais do gerador para valores da ordem de 5 a 25 A, conforme Figura 4.7.

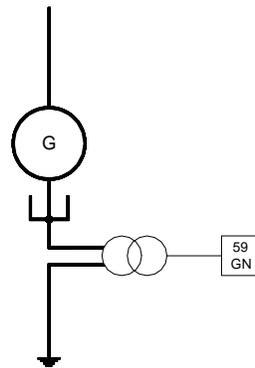


Figura 4.9 - Aterramento com Transformador de Distribuição

Capítulo 5

Serviços Auxiliares

5.1 Introdução

A segurança e continuidade da produção de uma central dependem fortemente da confiabilidade do suprimento de energia aos serviços auxiliares. Estes, por sua vez, dependem de um sistema de alimentação eficiente e continuado, tanto em corrente contínua como em corrente alternada, mesmo em condições de parada total ou interrupção de fornecimento externo. As condições para partida, operação e parada de uma central passa necessariamente, pelo bom funcionamento destes serviços [7].

Esta energia é entregue aos diversos pontos de consumo dentro da central por um sistema interno de distribuição que pode ser radial ou em anel. Normalmente este sistema é projetado em anel, mas opera na sua forma radial, por meio da configuração de chaves localizadas em pontos estratégicos, permitindo a alimentação de um mesmo ponto através de vários caminhos, aumentando a confiabilidade do sistema.

Os sistemas auxiliares são responsáveis pela alimentação de circuitos fundamentais para o bom funcionamento dos principais componentes da central, dentre os quais pode-se citar: refrigeração de geradores e transformadores, sistema de ar comprimido, unidades de óleo hidráulico, refrigeração de óleo de mancais, circuitos de comando e controle de sistemas térmicos e elétricos, sistema de excitação, etc.

Tais sistemas são alimentados em corrente alternada e em corrente contínua. Como, em corrente alternada, as cargas são basicamente motoras, iluminações, resistências de aquecimento e equipamentos de uso geral, o nível de tensão é de 220 ou 380V. Em corrente contínua, as cargas mais comuns são os circuitos de comando e proteção, transdutores de sinais, partida inicial do sistema de excitação, dentre outras. Sendo assim é comum adotar-se dois níveis de tensão, 24 e 125V.

5.2 Corrente Alternada (AC)

O fornecimento de tensão em corrente alternada necessária aos sistemas auxiliares normalmente é derivado de uma ou duas fontes de alta tensão, visando assegurar a confiabilidade da operação. A tensão de alimentação dos auxiliares em corrente alternada deve ser compatível com o tamanho da usina e a potência das cargas a serem alimentadas.

Deve ser considerada também a utilização de motores com tensão nominal padronizada, de fácil aquisição no mercado, sem necessidade de encomenda especial no caso de reposição. É recomendada a utilização dos seguintes valores de tensão de alimentação [1 e 7].

- 220/127 Vca 60 Hz, sistema trifásico a quatro fios com neutro solidamente aterrado, para as usinas menores;
- 380/220 Vca 60 Hz, sistema trifásico a quatro fios com neutro solidamente aterrado, para usinas maiores que requeiram transformador para serviços auxiliares com potência nominal \geq 500 kVA.

Os transformadores para serviços auxiliares devem ser dimensionados para atender ao ciclo de carga mais desfavorável, nas diversas condições de operação, não ultrapassar os valores de queda de tensão admissível para continuidade de operação dos motores durante uma transferência automática e atender às condições de ponta de carga sem redução da vida útil. Para o dimensionamento, deve ser adotado o método de conversão do ciclo de carga real para o ciclo de carga equivalente, estabelecido pela Norma NBR 5416.

Se os transformadores para serviços auxiliares forem instalados dentro da casa de força, deverão ser do tipo seco, com isolamento sólido. Neste caso, devem ser utilizados transformadores de boa procedência, pois seu reparo, se for possível, é de execução difícil.

Sendo assim, a seguir são apresentadas algumas filosofias mais comumente empregadas para atender este objetivo:

? Conexão aos terminais do gerador à tensão de geração

Faz uso de um transformador abaixador ligado diretamente aos terminais do gerador elétrico e garante elevado grau de segurança, contudo não pode ser usado para a partida, sendo

necessária a alimentação de um sistema externo. Nestas condições o nível de curto-circuito é muito elevado, sendo necessária a utilização de um transformador de alta impedância para limitar as correntes de falta. Neste arranjo, a tensão no barramento irá variar em função da filosofia de operação da central.

? Conexão dos terminais do gerador através de disjuntor

Neste caso, a partida é viabilizada pelo sistema externo, já que o paralelismo do gerador será efetuado pelo seu disjuntor. As desvantagens em relação à regulação de tensão e níveis de falta são similares ao esquema anterior. Em termos de custos, no entanto, esta alternativa é mais cara.

? Conexão a partir do sistema principal de alta tensão

Esse arranjo toma a tensão do próprio barramento principal, implicando em maiores gastos com a introdução de uma vão adicional à subestação, incluindo o transformador e o disjuntor.

? Fontes de geração auxiliares

Esses tipos de arranjos, embora apresentem custos adicionais em obras civis, elétricas e mecânicas, tornam-se alternativas bastante confiáveis por utilizar um grupo diesel-elétrico acionado em casos de emergência para partida ou parada de central. Geralmente o emprego de grupos geradores atende a duas situações básicas. O primeiro tipo de utilização refere-se às emergências: quando há uma interrupção da energia fornecida pela concessionária, independente da causa, o equipamento entra em funcionamento automaticamente, permitindo que o empreendimento continue a funcionar. Nesse caso, é comum o abastecimento somente de pontos vitais, como as áreas coletivas e de segurança. No segundo caso, a utilização vincula-se ao horário de ponta, das 17 às 20 horas, quando o consumo é maior e o custo da energia é alto. Nesse período, o equipamento entra em funcionamento, geralmente, para suprir parte da carga necessária para o abastecimento.

5.3 Corrente Contínua (CC)

O elevado grau de continuidade dos sistemas de corrente contínua não aterrados, combinado com a seleção criteriosa de equipamentos de boa qualidade e a simplicidade inerente aos sistemas de controle das pequenas centrais, conduz a um sistema de corrente contínua constituído por uma única bateria operando em paralelo com uma unidade retificadora [16]. Quando se julgar necessário uma maior confiabilidade deve-se adotar um sistema com dois carregadores de baterias para dois conjuntos de baterias e barramentos e dois retificadores. Quando a tensão em corrente contínua está disponível, as baterias ficam continuamente sendo carregadas, permitindo a sua posterior utilização. Sendo assim, não só o atendimento de cargas em corrente contínua fica garantido, mas também o atendimento de cargas prioritárias em corrente alternada, que poderá ser feito com o emprego de inversores. A tensão nominal de 125 Vcc tem demonstrado ser a mais adequada para este tipo de aplicação. Atualmente, praticamente todos os equipamentos que requerem alimentação em corrente contínua estão disponíveis para alimentação nesta tensão, o que possibilita a utilização de apenas um nível de tensão de corrente contínua na usina.

A operação seletiva dos dispositivos de proteção é fundamental para a operação do sistema de corrente contínua. Embora a utilização de um sistema isolado de terra permita a continuidade de operação para defeitos para terra envolvendo apenas um dos pólos, a probabilidade de ocorrência de um curto circuito sempre está presente. Os disjuntores para aplicação em corrente contínua disponíveis atualmente, no mercado, não possuem características adequadas que possibilitem ajustes para uma operação seletiva da proteção entre disjuntores. Devido a este fato, recomenda-se que os circuitos de corrente contínua sejam protegidos por fusíveis do tipo Diazed ou NH.

Normalmente o sistema se configura em barra seccionada, havendo em cada seção, um conjunto completo de fornecimento de corrente contínua. A proteção de sistemas auxiliares fica basicamente por conta da detecção de correntes de curto-circuito, através de unidades instantâneas e temporizadas (50/51), e detecção de subtensões (27), e ainda a possível utilização de outros dispositivos como verificador de sincronismo (25), relé de sobretemperatura do óleo (26), relé de retorno de potência (32), termostato (49), relé de sobretensão (59), detector de pressão (63) e relé de nível anormal (71) [29].

Para o dimensionamento adequado da bateria, deve ser elaborado um ciclo de descarga que atenda às condições mais desfavoráveis de operação durante uma falta de alimentação de corrente alternada para o retificador. O dimensionamento deve ser feito seguindo a metodologia proposta na Norma ANSI/IEEE Std 485.

- Exemplo de cálculo para banco de baterias

a) Cargas em corrente contínua

Aparelho	Horas de uso por dia (A)	Consumo do aparelho em Watts (B)	Total Watts hora/ dia (A x B)
Transmissão	0.5	12	6
SUBTOTAL 1			6

b) Cargas em corrente alternada

Aparelho	Horas de uso por dia (A)	Consumo do aparelho em Watts (B)	Total Watts hora/ dia (A x B)
TV a cores 14"	2	60	120
Acrescentar 15% para ter em conta o rendimento do inversor			18
SUBTOTAL 2			138
Procura total de energia em Watts-hora/dia (1 + 2)			144

A capacidade do banco de baterias é obtida com a fórmula:

$$\text{Cap.} = 1,66 \times \text{D}_{\text{tot}} \times \text{Aut.} \quad (4)$$

Em que:

1,66: fator de correção de bateria de acumuladores que leva em conta a profundidade de descarga admitida, o envelhecimento e um fator de temperatura.

D_{tot}: Procura total de energia da instalação em Ah/dia.

Isto se obtém dividindo os Wh/dia totais que surgem da folha de dimensionamento pela tensão do sistema.

Aut: n^o dias de autonomia.

Cap. Bat. = 1,66 x ((144 Wh/dia / 12 Volts) x 5 dias) = 99,6 Ah

Tomar-se-á o valor normatizado imediatamente superior ao que resulte deste cálculo e se armarão as combinações série-paralelo adequadas para cada caso.

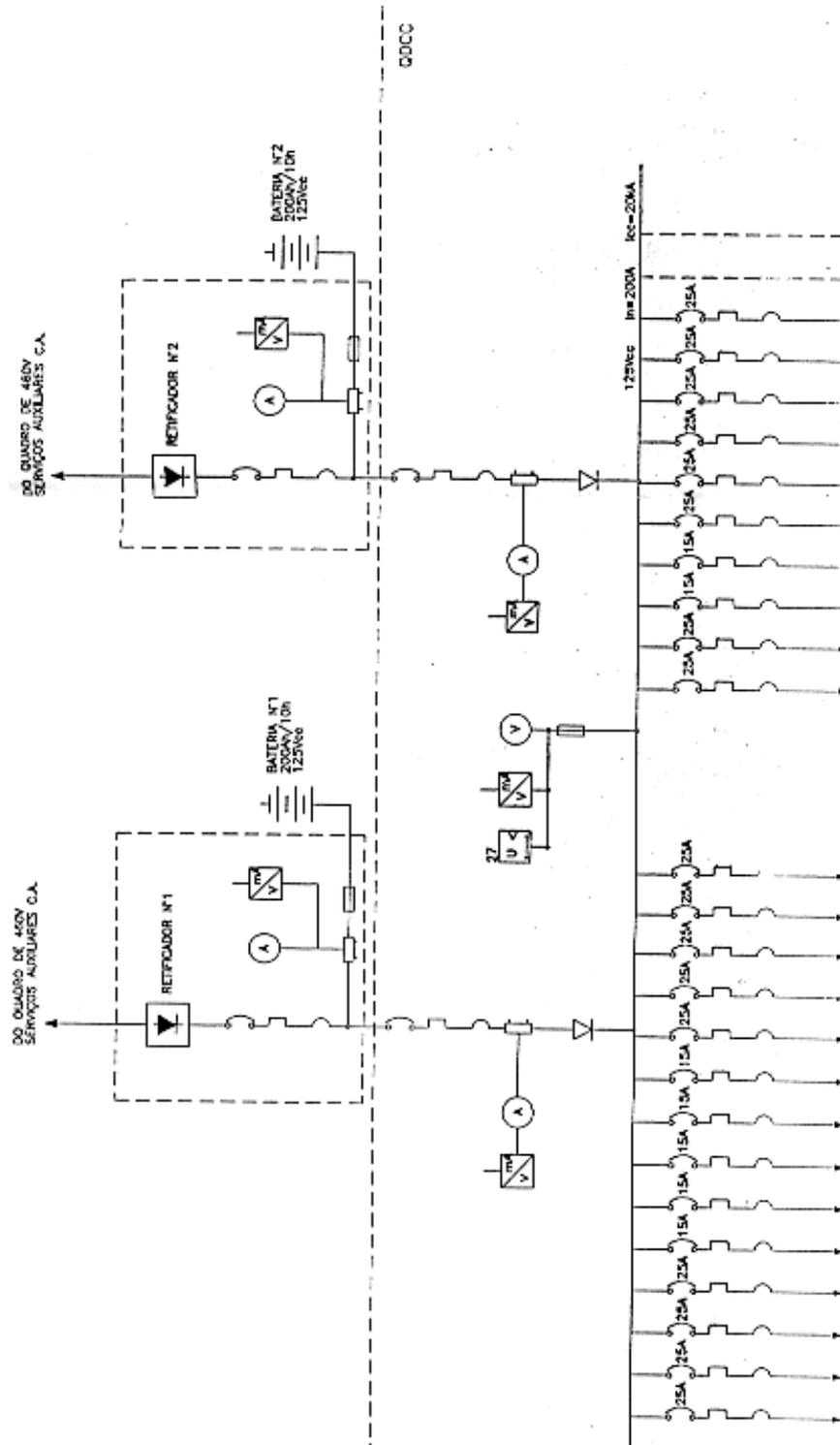


Figura 5.2 Geração - Serviços Auxiliares CC

Fonte: Projeto das Instalações da PCH São Gabriel da Cachoeira - Departamento de Engenharia da Energia - UNIFEI

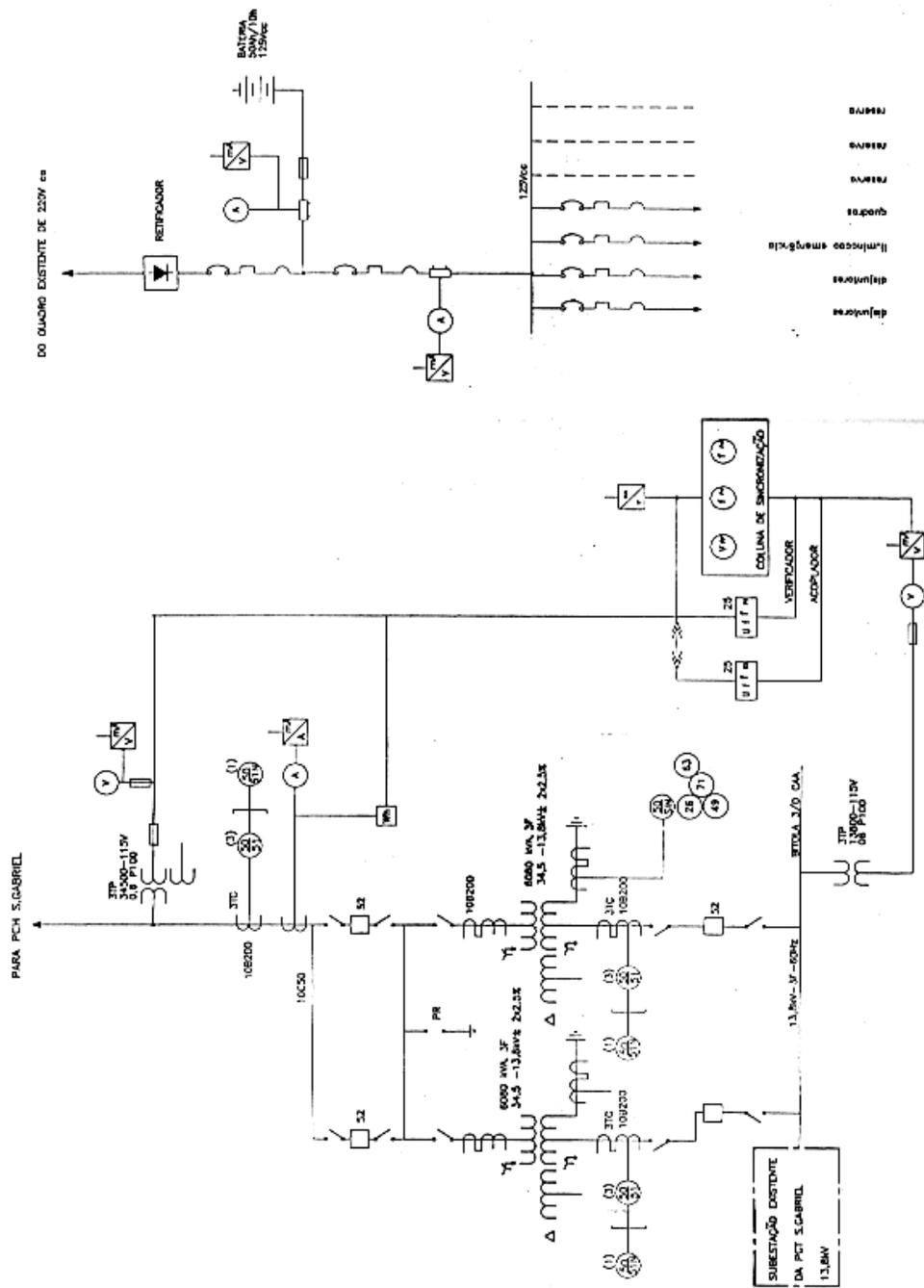


Figura 5.3 Subestação Abaixadora – Supervisão, Controle, Proteção e Auxiliar CC

Fonte: Projeto das Instalações da PCH São Gabriel da Cachoeira - Departamento de Engenharia da Energia - UNIFEI

5.4 Resfriamento de Geradores e Transformadores

São sistemas não menos importantes que implica, em alguns casos, na existência de um sistema de bombeamento de óleo para refrigeração; sistemas de bombas de drenagem, principalmente em casa de máquinas submersas e sistemas de controle de comportas stop-logs.

5.5 Gerador de Emergência

O gerador de emergência é um equipamento utilizado para suprir eventuais falhas no sistema de abastecimento de energia elétrica e seu dimensionamento esta condicionado ao número de circuitos ou cargas que, prioritariamente, devem manter alguns serviços básicos em funcionamento continuado até o restabelecimento, por completo, da “falta” que por ventura tenha provocado a sua entrada em funcionamento. Essas cargas preferenciais devem ser conectas a um barramento, permitindo o seu chaveamento (manual ou automática) entre o barramento principal e o barramento de emergência e normalmente respondem por cerca de 2 a 5 % da potência da central. Contudo, esses valores podem variam conforme o número de unidade instaladas e suas respectivas potências.

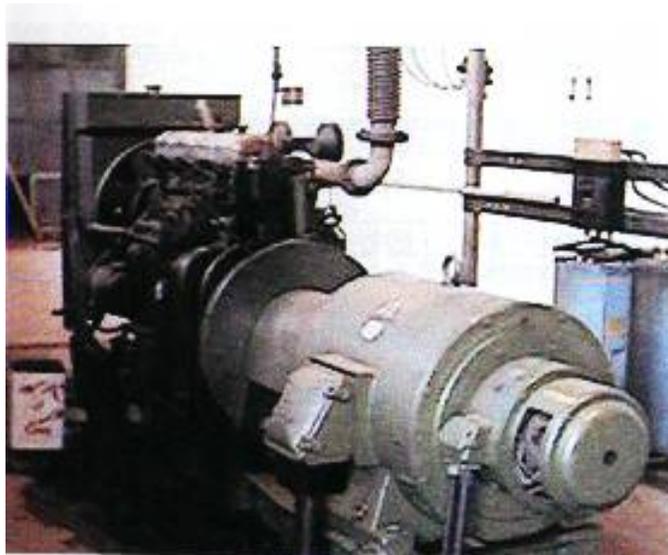


Figura 5.4 - Grupo Gerador Diesel

Capítulo 6

Supervisão e Automação de uma Pequena Central Hidrelétrica

6.1 Introdução

A definição do sistema de supervisão e controle de uma PCH é essencialmente uma decisão econômica. Basicamente devem ser analisadas e comparadas duas possibilidades: a operação convencional, por meio de operadores ou a automação ou semi-automação da usina.

No atual contexto tecnológico e econômico, a semi-automação ou automação das instalações das usinas apresentam as seguintes vantagens [12 e 34]:

- Redução dos custos operacionais.
- Ganhos de qualidade sobre o processo.
- Melhor utilização do pessoal.
- Maior agilidade operativa.
- Melhor utilização dos recursos disponíveis.
- Melhor produtividade.

No caso específico das pequenas centrais hidrelétricas, os investimentos recomendados no processo de automação ou semi-automação são balizados pelos custos operacionais destas instalações (basicamente mão de obra) e pelo custo da energia comercializada. Além disso, podem existir casos onde o emprego deste sistema não seja economicamente viável. Assim, as iniciativas nesta área apontam, quase sempre, para soluções técnicas adequadas, porém com custos reduzidos. A automação ou semi-automação de uma PCH normalmente envolve dois subsistemas, a saber [34 e 40]:

- Subsistema de controle da barragem ou reservatório.
- Subsistema de controle da casa de força e subestação.

Esta divisão é importante, já que o controle do reservatório envolve questões de segurança operativa da usina e de pessoas e propriedades a jusante.

6.2 Semi-Automação de PCH

Na semi-automação, geralmente as transições de estado até a sincronização da máquina na rede são realizadas pelo operador da usina. Após a sincronização, a tomada de carga prefixada pode ser realizada automaticamente pelo sistema de controle. O sistema propõe, ainda, a monitoração de algumas grandezas críticas, tais como, vibração, temperatura, velocidade, etc, através de sensores adequados, equipamentos de aquisição de dados e indicadores de painel.

No caso do uso do microcomputador, opcionalmente, pode ser feita a utilização de um sistema supervisorio simples, onde o comportamento das variáveis pode ser mostrado de maneira mais elaborada através do registro de eventos, gráficos de tendência, sistema de alarme, etc.

Apesar de algumas limitações, essa opção também traz vantagens. De posse de um sistema indicador do funcionamento do sistema, mais moderno, o trabalho do operador se torna mais confiável e eficiente, promovendo a diminuição do número de operações manuais na central.

Na central São Bernardo, das Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG) encontra-se instalado um sistema típico semi-automatizado, que pode ser enquadrado nesse contexto. Somente algumas grandezas principais do processo são monitoradas através de sensores e indicadores de painel do tipo display de 7 (sete) segmentos. Esses indicadores são capazes de armazenar e mostrar o valor normal da grandeza, o valor atual e um limite, que se atingido aciona um alarme sonoro. Existe, também, um quadro indicador com a designação dos alarmes com sinalizações luminosa, que facilita a identificação do alarme pelo operador. As grandezas monitoradas são [40]:

? Temperatura do estator.

? Temperatura dos mancais das máquinas.

? Velocidade do gerador.

Os tipos de alarmes indicados são:

? Alta temperatura dos mancais.

? Alta temperatura do óleo.

? Alta pressão do óleo.

? Falta no circuito dos relés.

? Falta no carregador de baterias.

? Falta de corrente contínua no painel de comando local da válvula de admissão.

? Falta de corrente contínua no painel de comando local da válvula de fechamento rápido do injetor (turbina pelton).

Nessa semi-automação geralmente são definidos dois procedimentos para a parada das unidades geradoras: parada de emergência, ativada por condições que coloquem em risco a integridade da máquina e a parada automática que é ativada por condições operacionais que permitam a parada sem rejeição de carga. A parada automática permite a retirada de operação da unidade geradora de forma suave, inicialmente reduzindo a carga da máquina, evitando golpes de aríete causados pelo fechamento brusco dos equipamentos hidráulicos.

6.3 Automação de PCH

Na automação, tanto a parada quanto a partida para a sincronização das máquinas são realizadas automaticamente pelo sistema de controle, independente da presença de operadores. Além disto, em sistemas totalmente automáticos, é possível a realização da otimização da geração considerando as vazões afluentes. Esta otimização pode ser feita pelo sistema de controle do reservatório, cujo objetivo é manter o nível do reservatório na faixa normal ou de equilíbrio, controlando o mesmo através do aumento ou diminuição da geração das máquinas [17].

Geralmente o sistema de controle do reservatório realiza a supervisão do nível do reservatório, as vazões vertida, afluente e turbinada, além de programar a geração das máquinas e o vertimento pelas comportas da barragem, de forma a atender às restrições

impostas pelos equipamentos (geração mínima por máquina) ou pela legislação (vazão sanitária). Em situações em que o nível do reservatório atinja limites de atenção, alerta ou emergência, o sistema de controle do reservatório pode acionar as comportas no sentido de reverter a cota para a faixa de operação normal. Essas variáveis podem ser informadas a um CLP localizado na casa de comando próxima à barragem, que será responsável pelo controle e acionamento **ON/OFF** da comporta. Utilizando-se um CLP, além das funções acima, ele estaria disponível para a realização de futuras aplicações nas imediações do reservatório, tais como o controle da limpeza da grade de proteção da comporta de superfície e o controle ininterrupto de energia, e o controle das comportas de superfície e de entrada de água dos condutos. Em situações de emergência, o sistema de automação deve prover o fornecimento ininterrupto de energia, para o controle automático do nível do reservatório, garantindo a disponibilidade do sistema de controle, que deve estar operante sob quaisquer condições, uma vez que as conseqüências de um mau funcionamento podem causar sérios danos. Da mesma maneira, o software do CLP da barragem deve ser auto-suficiente, tendo condições plenas de manter o controle em funcionamento, no caso de qualquer problema com os outros componentes do sistema ou seus sistemas de comunicação.

6.3.1 Funções Específicas dos Elementos Principais de um Sistema Automatizado de PCH

a) Controlador de Posição - CLP

? Controle de Comportas

? De setor.

? Volet.

? De entrada dos condutos.

? Indicações de painel.

? Intertravamentos.

? Comunicação com Supervisórios.

b) Regulador de Velocidade

? **Controle**

- ? Partida e parada dos geradores.
- ? Controle de velocidade Isócrono e com Aumento de velocidade.
- ? Controle de potência ativa gerada (kW) e nível do reservatório.

? **Proteção**

- ? Lógica de proteção de sobre-velocidade.
- ? Lógica de desligamento seguro em caso de falha.

c) Relés Digitais

- ? Proteção dos geradores;
- ? Proteção dos sistemas eletrônicos;
- ? Proteção dos transformadores;
- ? Proteção dos sistemas de transmissão;

6.3.2 Aspectos a Considerar sobre Sistemas de Automação

Até recentemente, os sistemas de automação com utilização das modernas tecnologias de comando digital encontravam aplicação apenas para as usinas de grande porte, envolvendo soluções complexas e equipamentos de custo relativamente elevado. A rápida evolução na área dos microprocessadores tornou disponíveis equipamentos de baixo custo com desempenho adequado para automação de pequenas centrais.

Esta realidade se reflete no fato dos grandes fabricantes estarem lançando sistemas de controle digital com características compatíveis com o porte das pequenas centrais a preço competitivo, com os automatismos com lógica convencional a relés.

A comparação econômica entre um sistema convencional e um sistema digital não deve ser feita apenas considerando-se os custos de aquisição inicial do equipamento. As vantagens dos sistemas digitais começam a ficar mais evidentes quando são levados em

consideração a sua baixa taxa de defeitos e o tempo necessário para reparo, sensivelmente menor, devido à utilização de rotinas de autocontrole e diagnóstico, facilitando a substituição de componentes defeituosos.

6.3.3 Vantagens dos Sistemas Digitais para Supervisão das Condições de Operação e Controle na Central Hidrelétrica.

O princípio de funcionamento dos sistemas de supervisão e controle digitais, consistem em traçar um diagnóstico das grandezas elétricas e mecânicas na central hidrelétrica. As vantagens mínimas proporcionadas com o emprego desse sistema de supervisão e controle digital são o seu reduzido custo de operação e manutenção, a confiabilidade, a repetibilidade das medidas, a transparência para a máquina e a reinicialização automática - watch- dog.

Outros aspectos operacionais, não menos importantes, também, devem ser considerados, tais como:

- **Precisão**

Os sistemas digitais como um todo, possuem a vantagem de possuir grande precisão na realização de medidas de grandezas analógicas. Utilizando filtros e conversores analógicos com grande resolução (de 10 a 16 bits), consegue-se a aquisição de sinais sem nenhum ruído ou interferência.

- **Confiabilidade**

Como se tratam de equipamentos que possuem partes mecânicas móveis ou excessivos contatos elétricos, não há desgastes no equipamento digital. Os custos e necessidades de manutenção ficam extremamente reduzidos. Ainda, devido à versatilidade do equipamento, não há necessidade de árdua manutenção preventiva. O próprio equipamento emite alertas em caso de falhas de funcionamento ou problemas de operação. Há ainda vantagens devido a não sofrerem influências externas como temperatura do ambiente, interferências eletromagnéticas,

etc. Os sistemas podem funcionar com diversas fontes de alimentação, garantindo perfeita operação mesmo em casos de emergência ou falta de energia através de baterias ou de sistemas backup de alimentação dos serviços da subestação. Todos esses fatores grifam a confiabilidade destes equipamentos perante os tradicionais equipamentos analógicos.

- **Manutenção**

Os sistemas digitais possuem pouca ou nenhuma necessidade de manutenção. Graças a rotinas internas de autodiagnóstico e checagem, os equipamentos podem emitir alarmes ou sinalização em caso de falhas, indicando os possíveis pontos de defeito, e os meios para reparo. Pode-se detectar facilmente a queima de um componente qualquer, falha no funcionamento dos transdutores ligados ao equipamento digital, etc.

- **Versatilidade**

Os sistemas analógicos tradicionais possuem determinada função e modo de operação. Ao se fazer, por exemplo, uma proteção diferencial de transformadores, há necessidade de se ligar os transformadores de corrente no primário e no secundário do transformador adequadamente, compensando eventuais rotações de fase ou tipos de ligação. No caso dos equipamentos digitais, esta preocupação não existe. No caso, uma vez conhecido o esquema de ligação do transformador que está sendo protegido, basta configurarmos o algoritmo do rele digital para compensar estas defasagens entre o primário e secundário por meio de aritmética adequada com os sinais adquiridos. Outro exemplo é o intertravamento de processos. No caso de se utilizar dispositivos como contactores e relés eletromagnéticos em uma complicada lógica, pode-se utilizar um simples PLC com programação adequada. Em caso de mudança no processo, não é necessário reconstituir toda a lógica de relés, basta reprogramarmos o PLC. Diferentemente dos equipamentos analógicos, os sistemas digitais são versáteis pois podem ser facilmente reconfigurados para se adaptarem às novas condições de uso. Outro fator relevante é a gama de funções que pode ser executada pelo dispositivo digital. Por exemplo, um mesmo equipamento de proteção diferencial de transformadores pode fazer ainda a proteção de sobrecorrente, monitoração de temperaturas do transformador, detecção de condições de “inrush” para evitar atuação indevida, etc.

- **Interoperabilidade**

Um dos recursos mais notáveis dos equipamentos digitais em subestações são suas capacidades de comunicação com os demais subsistemas da planta. Praticamente todos os dispositivos digitais na subestação possuem capacidade de operar em redes de comunicação utilizando um protocolo de transmissão qualquer. Desta maneira, um barramento de comunicação (rede) pode partir de um centro de operação e percorrer todo o pátio da subestação, conectando os dispositivos digitais de campo e transmitindo as informações coletadas a um sistema de controle e supervisão. Este é um fator importante para permitir a fácil automação da subestação. As informações digitais podem ser ainda facilmente armazenadas e eventualmente transmitidas a outros sistemas de operação. Consegue-se desta maneira, obter um panorama completo de diversas subestações em uma dada área.

- **Custos**

O custo dos equipamentos digitais frente os equipamentos analógicos ainda é grande. Entretanto, as diversas vantagens e a versatilidade dos sistemas digitais exaltam suas aplicações na prática. Os reduzidos custos de operação e manutenção são requisitos importantes na escolha de um equipamento digital frente a um equivalente analógico.

As figuras 6.1 e 6.2, abaixo, são exemplos de telas de um sistema de supervisão encontrado atualmente na usina Luis Dias – município de Itajubá/MG.

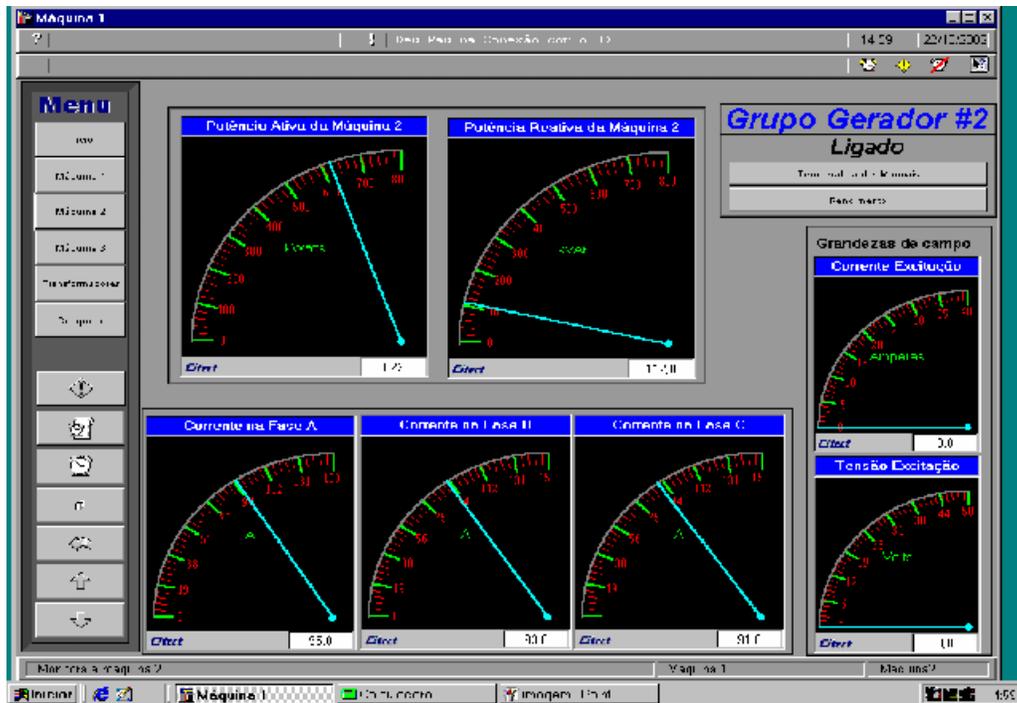


Figura 6.1 - Exemplo de Tela do Sistema Supervisório (a)

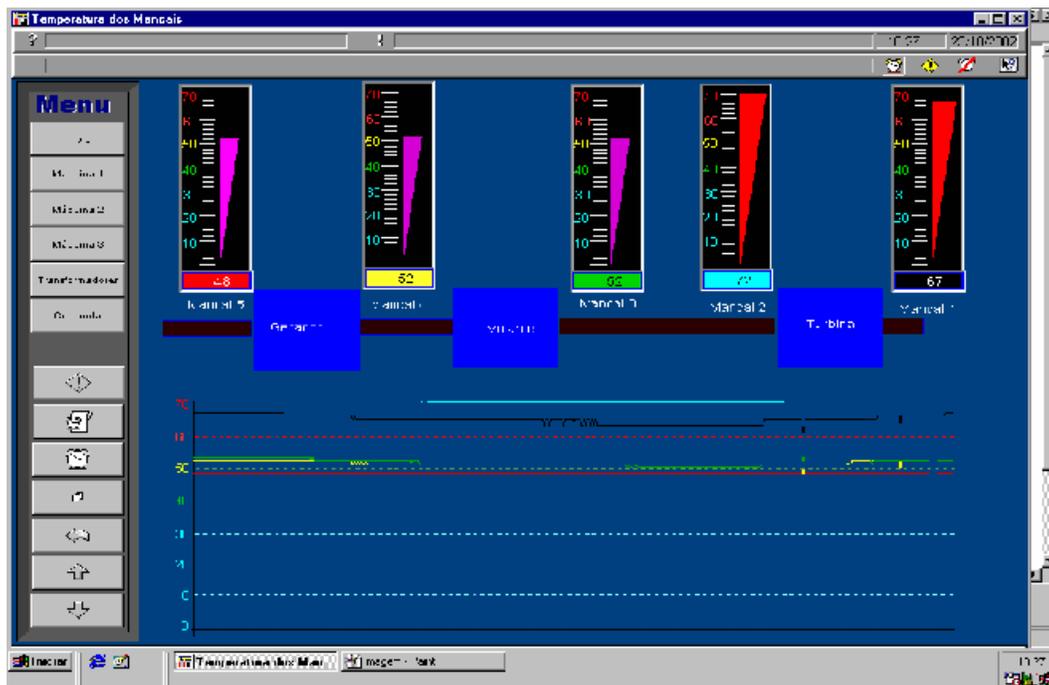


Figura 6.2 - Exemplo de Tela do Sistema Supervisório (b)

6.4 Nível de Monitoramento/Automação

A tabela abaixo propõe alguns requisitos mínimos que caracterizam um sistema de monitoramento ao nível das microcentrais, minicentrais e pequenas centrais hidrelétricas.

Tabela 6.1 - Requisitos Mínimos para um Sistema de Monitoramento

Nível (Monitoramento - AUTOMAÇÃO)			
Funções	Micro	Mini	PCH
Comando	x	x	x
Alarme	x	x	x
Controle dos vertedouros			x
Controle de tensão / potência ativa e reativa	x	x	x
Desligamento automático	x	x	x
Partida automática	x	x	x
Sincronização	x	x	x
Recepção de comandos remotos		x	x
Registro de seqüência de eventos		x	x
Supervisão (sinalização e medição)		x	x
Transmissão de dados		x	x
Monitoração do desempenho de transformadores e outros equipamentos	x	x	x
Auto-diagnose			x
Proteções	x	x	x
Cálculo de valores hidro energéticos			x
Oscilografia	x	x	x
Relatórios	x	x	x

Capítulo 7

Reguladores de Tensão e Velocidade

7.1 Regulador de Velocidade (RV)

A função original do regulador de velocidade é manter o grupo gerador em rotação constante a fim de que a frequência da tensão gerada seja mantida em seu valor nominal, atuando sobre a vazão da turbina hidráulica. Sendo a potência gerada função direta da vazão da turbina, o regulador de velocidade desempenha também papel fundamental de controle da potência ativa, notadamente quando o grupo gerador está operando em paralelo com a rede ou com outra máquina. Na prática, existem basicamente dois tipos de reguladores de velocidade [26, 27 e 31]:

a) RV isócrono

Tem a característica principal em regime permanente, manter uma velocidade de rotação constante e igual a velocidade de referência, apresentando, no entanto, péssimas características de estabilidade em regime transitório. Sua aplicação é fortemente indicada para controle em sistemas isolados, porém, suas características o tornam inadequado para trabalho com máquinas em paralelo, podendo acarretar problemas de estabilidade.

b) RV com estatismo permanente

A fim de permitir a operação do grupo gerador em paralelo, adiciona-se ao regulador de velocidade isócrono uma malha de realimentação. O preço que se paga por esta melhoria é uma pequena queda de velocidade na ocorrência de um impacto positivo de carga, ou um aumento, caso o impacto seja negativo. Esta variação de velocidade é chamada de “queda” ou “drop”.

O estatismo é definido pela variação percentual da velocidade quando da ocorrência de um impacto de carga igual à potência nominal do gerador elétrico. Desta forma, este novo

regulador passa a ser chamado de RV com queda de velocidade ou RV com estatismo permanente.

A escolha do tipo adequado do regulador de velocidade irá depender fundamentalmente do regime de operação previsto para a central hidrelétrica, se ela vai operar interligada a um grande sistema ou se a sua operação for isolada. Para o caso de operação isolada, utiliza-se o RV isócrono, invariavelmente.

Os RV podem ser encontrados com concepção hidromecânica, eletrônica analógica, digital ou microprocessado, sempre utilizando um servo-motor para atuação no distribuidor ou injetor, dependendo do tipo da turbina hidráulica. Os reguladores eletrônicos possuem a vantagem de oferecer a possibilidade de alteração e ajuste de seus parâmetros de maneira fácil, podendo incorporar diferentes funções e limites, principalmente microprocessados.

No caso de microcentrais com operação isolada, uma alternativa economicamente atraente é o uso de “reguladores de carga” em substituição aos RV convencionais. Este tipo de regulador controla a rotação da turbina hidráulica por intermédio da entrada e retirada de um conjunto de cargas auxiliares, denominado lastro de resistências. Este controle pode ser contínuo, com o emprego de tiristores ou discretos, quando se usa contactores.

Na maioria dos esquemas de reguladores de carga, a variação da velocidade é detectada a partir da variação da frequência da tensão gerada. Nesta condição a turbina trabalha com seu distribuidor ou injetor totalmente aberto e o lastro de resistência deverá ter potência igual a potência nominal do grupo gerador. Sendo assim, na ausência de cargas externas, o regulador conecta todo o lastro de resistências, evitando a operação com velocidades superiores a nominal. Por outro lado a medida que as cargas vão sendo ligadas, o regulador vai reduzindo o lastro, afim de que a rotação se mantenha constante, com isso, toda a potência gerada que excede a demanda é dissipada em um banco de resistências. Esta energia pode ser simplesmente perdida ou utilizada, como por exemplo, no aquecimento de água, na climatização para criação de animais, secagem de grãos ou outras finalidades.

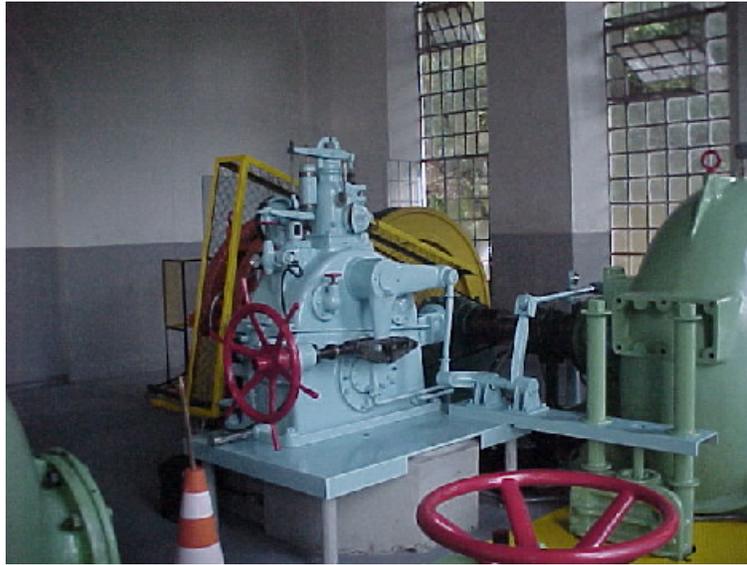


Figura 7.1 - Regulador de Velocidade Hidráulico



Figura 7.2 - Regulador de Velocidade Digital RVX
Fonte: Reivax

Funções Básicas

- Regulação automática de frequência/potência.

- Regulação manual para testes e manutenção.
- Limitador de abertura.
- Parada parcial sem rejeição de carga.
- Sequência automática da partida e parada.
- Supervisão de velocidade com relés de saída ajustáveis de 0 a 200% da velocidade nominal.
- Indicadores de posição do servomotor e de rotação.
- Aceleração ajustável na partida da turbina.
- Comandos remotos através contatos externos.
- Saídas por contatos para interface com circuitos de comando, alarme e proteção.

7.2 Regulador de Tensão

O comando para excitatriz, que faz variar a corrente de excitação fornecida ao rotor do alternador, é feito automaticamente pelo regulador automático de tensão, que fica localizado no quadro de comando do sistema [31 e 37].

Os reguladores de tensão têm como função principal manter a tensão da armadura em seu valor ajustado, atuando sobre a corrente de excitação do grupo gerador síncrono. São elementos fundamentais no controle da potência reativa gerada, principalmente quando se deseja obter uma repartição apropriada da potência entre grupos geradores conectadas a um mesmo barramento, por meio da alteração do ponto de regulação, ou para controlar a tensão em um ponto distante dos terminais do grupo gerador.

Há limites operativos que são função da corrente de excitação, tais como o limite de aquecimento dos enrolamentos do rotor, limites de sobreexcitação, de modo que os reguladores de tensão prevêm esquemas especiais de compensação e limitação da corrente de campo.

Uma característica que pode ser incorporada aos reguladores de tensão, principalmente aos de pequeno porte que operam em paralelo com um grande sistema, é o controle do fator de potência ao invés dos níveis de tensão. Nestes casos, como a tensão é controlada pelo

sistema, esta característica é desejável, garantindo sempre uma quantidade de potência proporcional à potência ativa gerada.

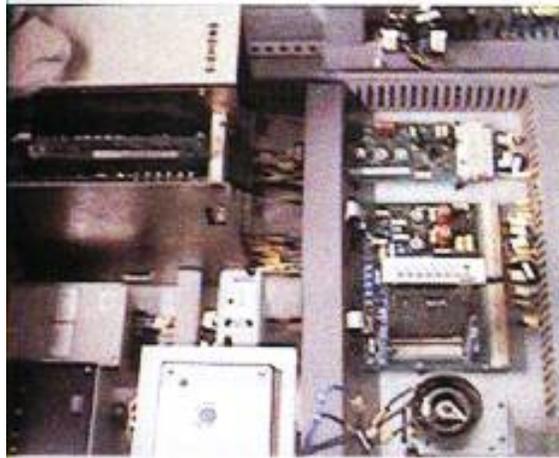


Figura 7.3 – Regulador de Tensão Eletrônico
Fonte: Siemens



Figura 7.4 - Regulador de Tensão Digital RTX
Fonte: Reivax

Funções Básicas

- Regulação automática de tensão/potência reativa.
- Regulação manual de tensão ou corrente de campo.
- Compensação de Corrente Reativa.
- Limitador de sobre-excitação.
- Limitador de sub-excitação.
- Ser capaz de fornecer potência de 9,2 KW , com tensão de 110 Vcc e corrente de 90 Amperes em Corrente Contínua.

7.3 Sistema de Excitação

O sistema de excitação é de fundamental importância para prover a alimentação em corrente contínua ao enrolamento de campo do gerador síncrono. A ele também são atribuídos os controles da tensão e da potência reativa gerada, além da manutenção da estabilidade em regime transitório, assim como fornecer condições favoráveis para a atuação da proteção. Tais sistemas podem ser classificados em sistemas de excitação rotativos ou estáticos. No passado os sistemas rotativos eram os mais utilizados e eram representados pelos geradores de corrente contínua, acoplados ao eixo do gerador principal. Atualmente o sistema rotativo de excitação *brushless* tem sido empregado em várias instalações[14 e 29].

Do ponto de vista construtivo, os sistemas de excitação são classificados como:

- Com excitatriz rotativa (excitação indireta).
- Sem excitatriz rotativa (excitação direta ou estática).

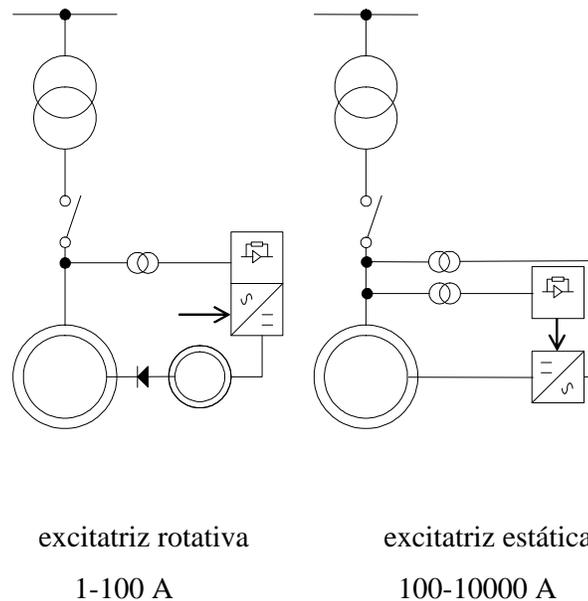


Figura 7.5 -. Sistemas de Excitação com Excitatriz Rotativa e/ou Estática.

Ao se escolher um sistema de excitação deve-se ter em mente as situações operacionais previstas e os distúrbios dinâmicos aos quais o gerador elétrico estará submetido, como por exemplo: partida de grandes motores de indução, rejeições de carga, sustentação de corrente de curto-circuito, perturbações da rede, etc. Sendo assim, os principais fatores de seleção são: capacidade de sustentação de correntes de curto-circuito, tempo de resposta, potência do gerador principal e da excitação, dentre outros.

Por se tratar de mais uma máquina rotativa inserida no sistema de controle, a relação de resposta do sistema fica um pouco majorada em relação ao sistema estático. A relação de resposta é definida pela taxa de crescimento média da tensão de excitação em vazio, pela tensão de excitação nominal. Tipicamente exige-se um aumento na tensão de saída de 100% a 200% em menos de 0,3 segundos, correspondendo a uma relação de resposta da ordem de 3,5.

Esta é uma vantagem do sistema estático em relação o sistema *brushless*. Porém, como desvantagem pode-se citar a necessidade do uso de conjuntos anéis-escovas, o que exige uma maior frequência de manutenção.

7.3.1 Excitação Rotativa

1) Excitatriz Rotativa com Comutação

São geradores de corrente contínua com excitação com excitação *shunt* ou *compound* acionadas pelo próprio eixo do gerador elétrico principal diretamente ou acopladas por correia, ou ainda, em alguns casos, acionadas por uma pequena turbina hidráulica própria. A energia gerada é levada ao campo do gerador elétrico por meios de anéis e escovas. Este sistema de excitação consome de 05 a 2% da potência do gerador elétrico principal tendo sido uma das primeiras soluções aplicadas para excitação de grandes geradores.

2) Excitatriz Rotativa sem Comutação

Esse tipo de excitação, também conhecida como *sistema brushless*, dispensa o emprego de anéis e escovas, já que nessa concepção a excitação é feita por um gerador elétrico de pólos fixos e com sua armadura montada no eixo do próprio gerador elétrico principal. Desta forma, a tensão induzida pode ser retificada e entregue diretamente ao circuito de campo e nesse caso os diodos giram conjuntamente com o eixo e o controle é feito por meio da excitação dos pólos fixos.

7.3.2 Excitação Estática

As excitatrizes estáticas podem utilizar a própria tensão e corrente da armadura do gerador elétrico principal para prover excitação. Estas grandezas alternadas são retificadas por meio de tiristores disparados convenientemente pelo regulador de tensão. A energia gerada é levada ao campo do gerador elétrico por meio de anéis e escovas.

Os sistemas de atuação mais modernos são baseados em pontes tiristorizadas, onde a mudança de estado é conseguida com a variação do ângulo de disparo dos tiristores, e esse controle é feito automaticamente. A interface entre o regulador de tensão e o excitador torna-se facilitada, pois o mesmo é eletronicamente controlado, facilitando a programação e a adequação dos sistemas de excitação às exigências do sistema elétrico. A excitação estática pode ser facilmente monitorada pelo sistema supervisor aumentando a confiabilidade do

sistema. As perdas são menores que as antigas excitatrizes e contam com uma resposta mais rápida a regulação da tensão. Além disso, apresentam-se como investimento de baixo custo [34].

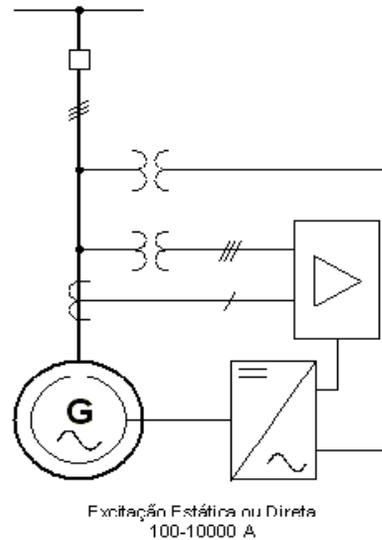


Figura 7.6 - Sistema de excitação Estática

De uma maneira geral, todos esses sistemas podem ser usados em microcentrais, PCH, médias centrais e GCH. A tendência, no entanto, é a utilização somente das excitatrizes estáticas e brushless.

7.4 Solução Otimizada para as Funções de regulação de uma PCH

Tabela 7.1 - Otimização dos Serviços Auxiliares

Sistemas Auxiliares			
	Micro	Mini	PCH
Regulador de Velocidade	x	x	x
• operação isolada (RV isócrona)	x	-	-
• operação em paralelo (estatismo permanente)	-	x	x
• hidromecânico	x	-	-

• eletrônico digital	-	X	X
• digital	-	-	X
• microprocessado	-	-	-
Regulador de carga	X	-	-
Regulador de tensão	X	X	X
Gerador de Emergência		X	X

7.5 Operação em Regime Permanente

A operação em regime permanente de um gerador síncrono consiste em se controlar a o valor eficaz e a freqüência da tensão gerada quando fora de sincronismo e no despacho das potências ativa e reativa quando interligado a um sistema elétrico.

Quando a operação é isolada, ou seja, fora de sincronismo, a freqüência da tensão gerada irá depender fundamentalmente da velocidade de rotação imposta pela máquina primária. O valor eficaz da tensão, no entanto, é uma função direta da corrente de excitação. Ambas rotação e excitação podem ser controladas pelo regulador de velocidade e regulador de tensão, respectivamente.

Quando a máquina opera em paralelo com um sistema elétrico, considerado em um primeiro momento como sendo um barramento infinito, a freqüência e o valor eficaz da tensão passam a ser definido pelo próprio sistema. Neste caso, os reguladores de velocidade e de tensão deixam de exercer as suas finalidades originais para controlar, respectivamente, os níveis de geração de potência ativa e potência reativa.

O quadro a seguir resume as principais funções dos reguladores em cada condição de operação:

Tabela 7.2 - Principais Funções dos reguladores RV e RT

	Em sincronismo	Fora de sincronismo
Regulador de velocidade	Potência Ativa	Velocidade, frequência da tensão gerada.
Regulador de tensão	Potência Reativa	Valor eficaz da tensão gerada.

7.5.1 Sincronizador

O sincronizador e controlador de carga constituem um equipamento baseado em microprocessador projetado para uso em geradores trifásicos AC equipados com reguladores de velocidade eletrônicos e reguladores de tensão automáticos.

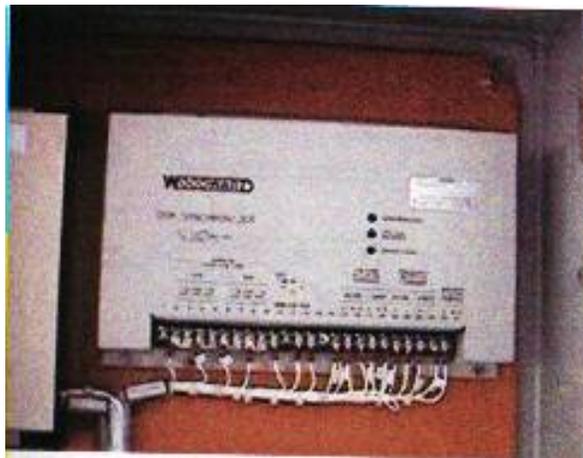


Figura 7.7 – Sincronizador Eletrônico conectado ao Regulador de Velocidade

O sincronizador fornece qualquer emparelhamento ou deslize de fase ou frequência, sincronizando automaticamente. Ele se comunica através de tecnologias de rede. Trabalha com o regulador de tensão automático, para emparelhar as tensões antes do paralelismo.

Alguns sincronizadores realizam outras funções além do sincronismo, podem ser sensores e controladores de carga, e opcionalmente um controle de reativo e fator de potência, tudo de forma integrada.

Capítulo 8

Custos - Metodologia, Composição e Cálculos

8.1 Metodologia

Para elaboração de estimativa de custos de equipamentos elétricos para uma PCH adota-se uma metodologia baseada no seguinte conceito básico [2, 14 e 40]:

1) Preços Unitários de Serviços

Os preços unitários a serem adotados para a estimativa de custos dos equipamentos deverão obrigatoriamente retratar as condições específicas do local do empreendimento, da época da implantação e das características próprias do projeto. Para tanto os preços deverão ser obtidos conforme recomendado em [6]:

- Equipamentos Permanentes (Geradores, Turbinas, Comportas, etc)

? Aquisição – Consulta a fabricantes ou fornecedores.

? Montagem – Consulta ao próprio fabricante ou composição de custo com levantamento dos preços de insumos através de pesquisas.

? Transporte – Consulta a empresas transportadoras, ao fabricante, ou composição de custo com levantamento dos preços de insumos através de pesquisas.

- Demais Equipamentos

? Equipamentos Elétricos – O custo total de aquisição poderá ser estimado como sendo **18%** do custo total da conta Turbina e Geradores [2 e 6].

? **Equipamentos Diversos** – O custo total de aquisição poderá ser estimado como sendo **6%** do custo total da conta Turbina e Geradores [2 e 6].

8.2 Estimativa Preliminar

No caso de dificuldade em se obter informações ou publicações que possibilitassem a elaboração de composições adequadas, a título de subsidio, será apresentado composições simplificadas como alternativa para obtenção de valores aproximados de preços unitários que poderão ser utilizados para obtenção de um orçamento que represente uma “Estimativa Preliminar”.

1) Gerador Elétrico (Síncrono)

O custo de aquisição de 01 (um) gerador deverá ser estimado a partir do cálculo do peso próprio [1 e 6], segundo a metodologia abaixo:

? Determinação do Peso do Grupo Gerador

Para PCH até 10 MVA

$$P_{\text{peso}} = 47,249 \cdot P_e^{0,977} \cdot n^{-0,372} \quad (\text{tonelada força - tf}) \quad (4)$$

ou

$$P_{\text{peso}} = 42863,57 \cdot P_e^{0,977} \cdot n^{-0,372} \quad (\text{kgf}) \quad (5)$$

onde:

n = rotação (rpm)

P = potência elétrica (MVA)

Aplicando-se a fórmula (6), e com base no peso do gerador elétrico obtido através das expressões acima e dos valores de k (abaixo), referidos a junho 2002, pôde-se elaborar um gráfico com as linhas de tendências de custos (com valores obtidos em R\$) para os geradores elétricos, onde são consideradas rotações de 1800, 1200, 900, 600, 514,3, 450, 400, 360, 257,1, 240, 225 e 200 rpm, um intervalo de potências variando de 0,1 a 13 MVA e, ainda, que as máquinas possuem acoplamento direto com eixo horizontal.

$$\text{Custo GE} = P_{\text{peso}} \cdot k_n \quad (n = 1,2,3) \quad (6)$$

- $k_1 = \text{US\$ } 8,45/\text{kg}$ ou $\text{R\$ } 25,35/\text{kg}$ para unidades de pequena potência, até 2 MVA, eixo horizontal.
- $k_2 = \text{US\$ } 10,95/\text{kg}$ ou $\text{R\$ } 32,85/\text{kg}$ para unidades com potência superior a 2 MVA, eixo horizontal.
- $k_3 = \text{US\$ } 8,82/\text{kg}$ ou $\text{R\$ } 26,48/\text{kg}$ para unidades com potência superior 10 MVA, eixo horizontal.

câmbio de referência: 1 US\$ = R\$ 3,00



Figura 8.1 – Gráfico com Tendências de Custos para Geradores Elétricos Síncronos

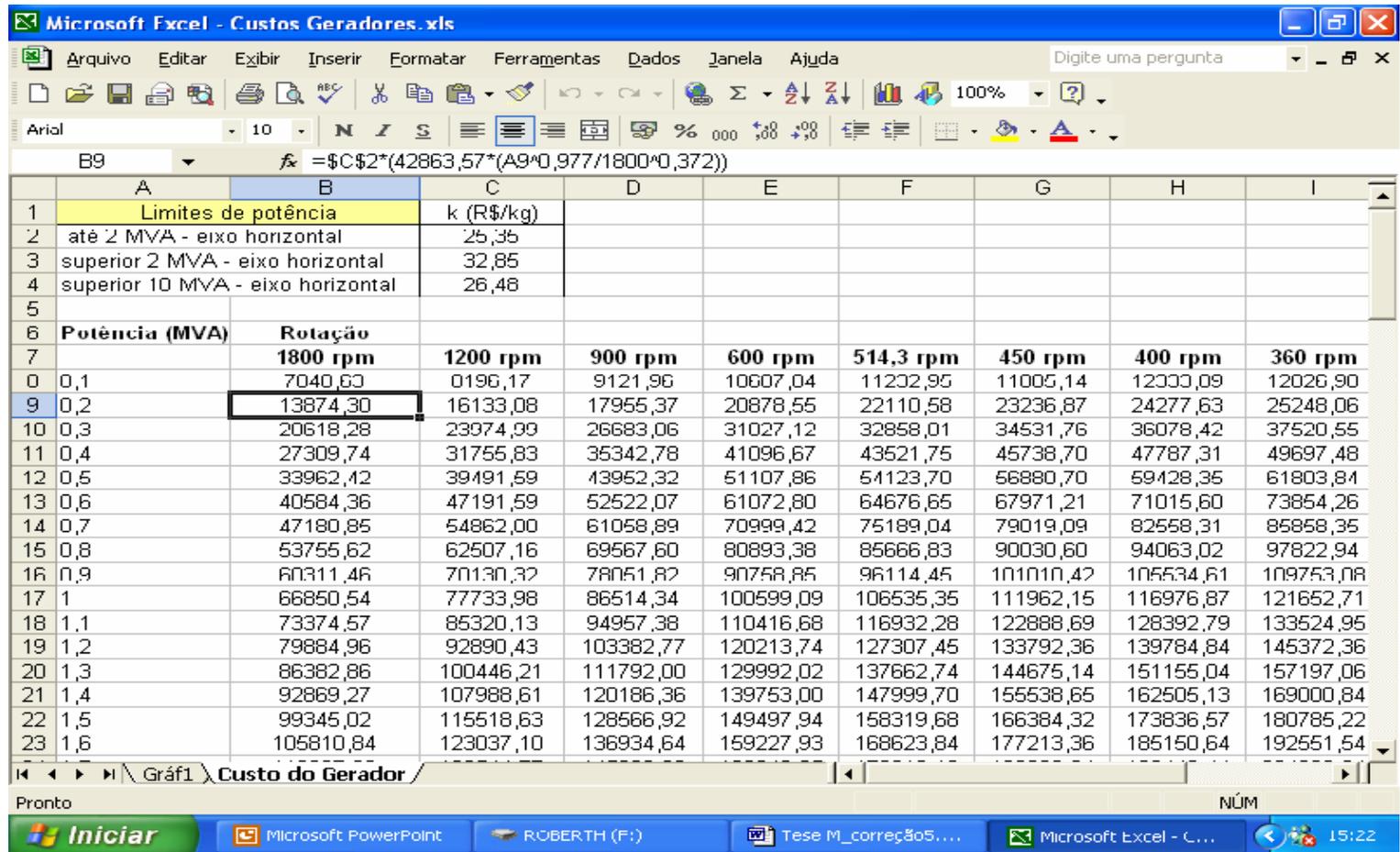


Figura 8.2 – Tela do Programa em Excel para Cálculo do Custo de Geradores Elétricos

2) Para os demais equipamentos, em todas as contas, deve ser incluído os valores relativos a impostos a serem pagos pelo proprietário, tais como diferenças de ICMS, ISS sobre mão-de-obra de montagem e, eventualmente, os valores relativos a IPI não incluído pelo fabricante ao fornecedor. Nas contas de custos para aquisição dos equipamentos apresentadas abaixo, esses valores deverão ser acrescidos, e em geral, chegam a totalizar **30%** do custo de aquisição.

Cabe ressaltar que existem diversos incentivos fiscais a PCH.

? Custo do Regulador de Velocidade (CRV)

$$\text{CRV} = 8780,2 + 31,9 - 2,21 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 \quad (7)$$

CRV = Custo de aquisição de 1 (um) regulador de velocidade, em US\$.

P = Potência instalada por **máquina**, em kW.

? Quadros de Comando (CQC)

$$\text{QC} = 3,62 \cdot 10^{-3} + 22,1x P - 13244,8 \quad (8)$$

CQC = Custo dos quadros de comando, em US\$.

P = Potência **total** instalada , em kW.

? Subestações (CSE)

$$\text{CSE} = 0,02 \cdot P^2 + 18,8 \cdot P + 12894,6 \quad (9)$$

CSE = Custo da Subestação, em US\$.

P = Potência **total** instalada , em kW.

? Dispositivos de Proteção (CDP)

$$\text{CDP} = 6,54 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 + 4,3 \cdot P + 7543,7 \quad (10)$$

CDP = Custos dos Dispositivos de Proteção.

P = Potência **total** instalada , em kW.

Capítulo 9

Conclusões

9.1 Principais Considerações

O objetivo principal desse trabalho foi apresentar uma proposta de padronização para alguns dos principais componentes elétricos de uma Central, como geradores elétricos, reguladores de tensão e velocidade, sistemas de proteção de geradores e transformadores e sistemas auxiliares.

Nesse estudo, salienta-se as principais características de emprego desses componentes elétricos, de maneira a definir de uma forma prática, através do uso de tabelas, as melhores condições para aplicação desses componentes, atendendo ao critério de porte da central, ou seja, para pequenas centrais hidrelétricas.

Na execução desse trabalho, foram levantados também, pontos relevantes para implantação de um sistema semi-automatizado e automatizado. Estabeleceu-se um critério para otimização de alguns recursos necessários a um sistema de supervisão.

São apresentadas propostas para arranjos típicos de barramentos, com ênfase ao barramento simples de 13,8 kV comumente empregado em projetos de pequenas centrais hidrelétricas.

Cabe ressaltar que cada central possui características próprias. Por isso, o primeiro passo na aplicação da metodologia desenvolvida neste estudo, deve ser o conhecimento dessas características para então, iniciar a análise.

Ao se realizar um estudo de projeto para o emprego de componentes elétricos há necessidade em se prever todos os trabalhos necessários, e especificar com maior grau de precisão todos os dispositivos a serem instalados por se tratarem de elementos de grande importância, principalmente no que diz respeito ao aspecto proteção. Pode-se especificar o projeto da forma mais completa possível, porém é conveniente que o contrato seja suficientemente flexível para que possam ser incluídas alterações durante o curso da implantação do projeto. A padronização leva a ganhos econômicos para investidores.

Ao analisar referências bibliográficas é preciso tomar o devido cuidado, pois algumas propostas de especificação de componentes fazem uso de exemplos que podem particularizar, situações específicas.

O material aqui apresentado abrange boa parte das informações necessárias à especificação dos componentes propostos.

A metodologia sugerida neste estudo pode ser uma ferramenta eficiente e eficaz diante da diversidade de opções existentes.

O **apêndice A** apresenta um modelo de especificação para projetos elétricos abordando as **condições específicas** dos equipamentos elétricos e hidromecânicos. O **apêndice A.1**, por sua vez, traz exemplos de especificação de equipamentos e sistemas elétricos.

Como sugestão para futuros trabalhos relacionados a este assunto, sugere-se uma atualização dos componentes apresentados nesse estudo, conforme lançados no mercado, principalmente no que diz respeito aos componentes de proteção pois, atualmente, há uma preferência pelos equipamentos digitais aos analógicos por serem estes mais confiáveis.

Referências Bibliográficas

- [1] - Souza, Zulcy de; Santos, A.H.M.; Bortoni, E.C.; “**Centrais Hidrelétricas – Estudos Para Implantação**”. ELETROBRÁS. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 1999.
- [2] - ELETROBRÁS/D.N.A.E.E - “**Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas**” S/A – Rio de Janeiro - BR- 1982.
- [3] - ELETROBRÁS/D.N.A.E.E - “**Manual de Minicentrais Centrais Hidrelétricas**” S/A - Rio de Janeiro - BR- 1982.
- [4] - ELETROBRÁS/D.N.A.E.E - “**Manual de Micro Centrais Hidrelétricas**” S/A - Rio de Janeiro - BR- 1982.
- [5] - Souza, Zulcy de; Fuchs, Dário; H.M Santos, Afonso -“**Centrais Hidro e Termoelétricas**”
Editora Edgard Blücher Ltda.1983.
- [6] - ELETROBRÁS/D.N.A.E.E - “**Diretrizes Para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**”.
- [7] - Bortoni, E.C; Sousa; Sousa, Luiz Edival de - “**Automação de Sistemas Elétricos**” - Junho 2002. FUPAI – Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Industria
- [8] - Branco, C.; “**Técnica -Hidroelétrica**”. Editora São Paulo
- [9] - Souza, Zulcy de - **PCH de Baixa Queda** - Brasil
- [10] - Souza, Zulcy de - “**Número e Características de Grupo Geradores para Centrais Hidrelétricas**” - EFEI.

- [11] - Sousa, Wanderley I de; Nucci, Marco A. - **“Automação de Pequenas Centrais Hidrelétricas”** - Brasil
- [12] - Oliva, Wagner José; Avellar, Luiz H. Nobre; Carrocci, Luiz R.; Florença, José Carlos **“Caracterização dos Custos das PCH’s”** - Brasil
- [13] - Paul Schreiber, Gerhard - **“Usinas Hidrelétricas”** - Editora Edgard Blücher Ltda.1978.
- [14] - Souza, Zulcy de - **“Centrais Hidrelétricas – Dimensionamento de Componentes”** Editora Edgard Blücher Ltda.1992.
- [15] - **“Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos”**
São Paulo – Editora Edgard Blücher.1977.
- [16] - Júnior, João Saad - **“Integração da Supervisão, Controle e Proteção em Centrais Hidrelétricas”** - Revista Eletricidade Moderna, Seção automação página 113.
- [17] - **“Automação de Centrais, Subestações e Distribuições e Energia Elétrica”**
São Paulo - s.ed.1996.
- [18] - **“Acervo do Centro de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas”**
(CERPCH)
- [19] - **“Automação de pequenas Centrais Hidrelétricas”** – Anais do 3º congresso Latino Americano de Geração e transmissão de energia elétrica, Vol. 1, páginas 286 – 288 – Campos do Jordão SP – nov 1997.
- [20] - Fitzgerald, Kingsley, Kusko - Electric Machinery - International Student Edition
- [21] - Kosow, Irving I - **“Máquina Elétricas e Transformadores”** - Editora Globo
- [22] - Jurek, Estefan F. - **“Electrical Machines for Technicians and Technician Engineers”**

- [23] - M. Kamisky and V. Polchankin - **“Eletrical Machine Installation and Wiring Practice”**
- [24] - Kosow, Irving L. - **“Electric Machinery and Control”** - Editora - Prentice – Hall, INL.1964
- [25] - Hindmarsh, Jonh - **“Electrical Machines and their Applications”**
- [26] - Bento Jr, Mário; Esteve, Diego Albiach; Campanha, Ronaldo; Franco, Paulo de Tarso Telles - **“Modernização de Reguladores de Velocidade. Considerações sobre a substituição de Reguladores mecânicos por Digitais”**.
- [27] - Mazzoleni, José Claudio; Bento Jr, Mário; Izukawa, Jorge; Esteve, Diego Albiach - **“Regulador Compacto para Turbinas Hidráulicas”**.
- [28] - Schreiber, Gerhard Paul - **“Usinas Hidrelétricas”**
Editora Edgard Blücher Ltda.1978.
- [29] - **“Publicação sobre Sistema de Proteção”**
FUPAI - Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Industria.
- [30] - **“Publicação sobre Geradores Elétricos”**
FUPAI - Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Industria.
- [31] - **“Catálogo sobre Sistemas de Supervisão, Controle, Regulação de Tensão e Velocidade, da REIVAX”**.
- [32] - **“Manual de Instalação e Manutenção de Geradores Elétricos Linha “ S “ da WEG”**.
- [33] - Mendes, Eduardo Luis Barbosa - **“Reabilitação de Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos – Estudos de um Caso a PCH “Bicas do Meio”**.
Tese de Mestrado — Dezembro 1999.

- [34] - Abrahão, Eric Morais - “**Metodologia para Automação de Pequenas Centrais Hidrelétricas**” .
Tese de Mestrado –. Dezembro 1999.
- [35] - Filho, João Mamede - “**Instalações Elétricas Industriais**”
Livros Técnicos e Científicos Editora SA – LTC, Rio de Janeiro, RJ. 1997
- [36] - Eišpu, Yuri - “**Subestações de Porte Médio e Noções de Proteção**”
Apostila - 1970.
- [37] - Júdez, Gaudêncio Zoppetti - “**Centrais Hidrelétricas Montagem, Regulação e Ensaio**”. Editora Gustavo Gilli, S.A - 2ª Edição
- [38] - Moore, Arthur H.; Elonka, Stephen M. - “**Electrical System and Equipaments for Industry**”.
- [39] - L. Baptonov and V. Tarasov - “**Power Stations and Substations**”
- [40] - Bifulco, Jonh M. - “**How to Estimate Construction costs of Electrical Power Substations**”. Editora Van Nostrand Reinhold Company [VNB]
- [41] - D’ajuz, Ary; Resende, Fábio M.; Filho, Jorge Amon; Ferreira, Marco Pólo -
“**Equipamentos Elétricos – Especificações e Ampliação em Subestações de Alta Tensão**”
- [42] - Menezes, Amaury Alves - “**Subestações e pátio de Manobras de Usinas Elétricas**”
- [43] - Camargo, CC - “**Confiabilidade Aplicada a Sistemas de Potência Elétrica**”. Editora LTC/ ELETROBRÁS/ FEESC - 1984

Modelos de Especificação para Projeto Elétrico

Apêndice A

GERADORES E ACESSÓRIOS, TURBINAS, REGULADORES, VÁLVULAS E ACESSÓRIOS

CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

GERADORES E ACESSÓRIOS, TURBINAS, REGULADORES, VÁLVULAS E ACESSÓRIOS

ÍNDICE

1.1 INTRODUÇÃO

1.2 REQUISITOS GERAIS

- 1.2.1 Condições operativas
- 1.2.2 Limites operacionais
- 1.2.3 Cronograma
- 1.2.4 Testes de Comprovação de Potência
- 1.2.5 Montagem e Supervisão de Montagem

1.3 TURBINAS, REGULADORES, VÁLVULAS BORBOLETAS E ACESSÓRIOS

- 1.3.1 Escopo Fornecimento
- 1.3.2 Considerações Gerais
- 1.3.3 Características Básicas das Turbinas Hidráulicas
- 1.3.4 Projeto e Construção
- 1.3.5 Reguladores de Velocidade
- 1.3.6 Válvulas Borboletas
- 1.3.7 Acessórios/Instrumentação
- 1.3.8 Peças Sobressalentes
- 1.3.9 Ferramentas e Equipamentos Especiais
- 1.3.10 Óleo Lubrificante
- 1.3.11 Pintura
- 1.3.12 Testes e Inspeções na Fábrica

- 1.3.13 Desenhos e Documentos a Serem Fornecidos Pelo Proponente
- 1.3.14 Folha de Dados das Turbinas e Válvulas Borboletas

1.4 GERADORES E ACESSÓRIOS

- 1.4.1 Descrição do Gerador
- 1.4.2 Requisitos para o Gerador
- 1.4.3 Coordenação de Fornecimento Turbina-Gerador
- 1.4.4 Detalhes Construtivos
- 1.4.5 Sistema de Excitação
- 1.4.6 Regulador de Tensão
- 1.4.7 Mancais
- 1.4.8 Acessórios
- 1.4.9 Inspeção e Testes na Fábrica
- 1.4.10 Peças Sobressalentes
- 1.4.11 Ferramentas e Dispositivos Especiais
- 1.4.12 Documentos a serem Apresentados
- 1.4.13 Folha de Dados dos Geradores

1.5 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

1.1 INTRODUÇÃO

Turbinas e geradores dessas Especificações Técnicas serão adquiridos sob um único Contrato de Fornecimento. Será aceito consórcio entre Fabricantes distintos, porém, na Proposta deve ser declarado qual deles será o Líder. Nesse caso, ambos terão responsabilidades solidárias no cumprimento do Contrato. Portanto, as Especificações Técnicas de Turbina e Gerador deverão ser consideradas complementares e em nenhum momento, qualquer um dos membros do consórcio poderá declarar desconhecimento das duas Especificações.

Os Proponentes deverão estar cientes que, depois de adjudicado o Contrato, deverão se prontificar a colaborar com os demais Fornecimentos elétrico, mecânico e obras civis, no intuito de se obter uma integração adequada de todos os Fornecimentos, para que o cronograma de implantação do empreendimento seja alcançado e, no final, a CONTRATANTE receba a Usina Hidrelétrica em perfeitas condições de operação, atendendo aos atributos de confiabilidade, segurança, flexibilidades de operação e manutenção e economicidade.

O responsável pela integração desses fornecimentos será o Gerente do empreendimento, que deverá contar com a colaboração de todos os responsáveis por Fornecimento.

1.2 REQUISITOS GERAIS

Esta especificação abrange o projeto, a fabricação, os ensaios de fábrica, a entrega CIF na obra, a montagem, os testes e comissionamento de:

- 02 (duas) turbinas “FRANCIS” de 8250 kW de potência unitária, na queda líquida de 93,10 m, rotação de 600 rpm, EIXO HORIZONTAL.
- 02 (dois) sistemas de regulação de velocidade com respectivos acessórios.
- 02 (duas) válvulas borboletas de proteção na entrada da caixa espiral com respectivos acessórios e interligações com o sistema de regulação.
- 02 (dois) hidrogeradores de 8890 kVA , trifásicos, 60 Hz,cada um, sendo:

- 02 (dois) sistemas de excitação do tipo estática, consistindo de transformador trifásico a seco, cubículos de excitação incluindo regulador de tensão e cabos e potência interligando os cubículos de excitação, com transformador e anéis coletores.
- 02 (dois) sistemas de proteção contra surto de tensão.
- 02 (dois) cubículos de neutro para os geradores, com os dispositivos de aterramento.
- 02 (dois) sistemas de instrumentação e demais acessórios necessários à correta operação dos geradores.

1.2.1 Condições Operativas

O diagrama unifilar N° ACA-BS-05-700 apresenta a interligação dos geradores que operarão, de forma interligada com a CEMIG, através de uma LT de 138 kV, com 28 km, aproximadamente, além das cargas locais.

1.2.2 Limites de Fornecimento

Toda a fiação de componentes e acessórios deverá ser fornecida até caixas de bornes, inclusas no fornecimento e instaladas externamente ao gerador e a turbina ou nos respectivos equipamentos auxiliares.

- Água de resfriamento: ver desenho n. ACA-BS-05- 602
 - O sistema de água de resfriamento deverá ser fornecido até os respectivos flanges dos trocadores de calor.
- Ar comprimido: ver desenho n. ACA- BS- 05-601
 - Sistema de freio do gerador : deverá ser fornecido uma válvula solenóide na admissão de ar. O flange de acoplamento deverá ser a interface do fornecimento com o sistema de ar comprimido da Usina.
- Sistema de esgotamento e drenagem geral: ver desenho: ACA- BS- 05- 600

1.2.3 Cronograma

O Proponente deverá apresentar, em sua Proposta, o cronograma de fornecimento, destacando as atividades de Projeto, provisionamento de materiais, fabricação, transporte, montagem na obra, testes de comissionamento. Todas essas atividades fazem parte do escopo de fornecimento relativo à presente Especificação.

1.2.4 Testes de Comprovação de Potência

Ambas as unidades serão testadas na presença de um representante dos FORNECEDORES, para comprovação de potência garantida, onde a turbina deverá ser projetada para operar continuamente, a partir da máxima queda líquida de 93,40 m até a queda mínima de 91,50 m.

Estes testes serão baseados nas condições estipuladas pelo “IEC – 41- International Code for Field Acceptance Test of Hydraulic Turbines ” para testes de campo, última edição.

Todos os instrumentos de precisão, devidamente calibrados, necessários à realização de todos os testes, serão fornecidos na base de empréstimo pelos FORNECEDORES da turbina/gerador.

Os testes de comprovação de potência serão reduzidos sob as condições de queda que prevalecerem durante a realização dos testes. Estas quedas estarão dentro da faixa das quedas especificadas.

O proponente deverá indicar na sua proposta o preço para efetuar estes testes.

1.2.5 Montagem e Supervisão de Montagem

O PROPONENTE será responsável pela montagem dos equipamentos objeto destas especificações, obrigando-se, no mínimo, a:

- Ter organização técnica e administrativa para efetuar a montagem.
- Fornecer toda a mão de obra, materiais de consumo, eletrodos, alimentação, uniformes, ferramentas, equipamentos de montagem, e equipamentos de proteção individual e coletiva dos empregados, necessários à execução da montagem dos serviços contratados.

- Receber e armazenar todo o material necessário para a execução das obras e/ou serviços sob sua responsabilidade, providenciando sua inspeção, conferência e classificação. Os almoxarifados serão providenciados pelo CONSTRUTOR e gerenciados pelo FORNECEDOR. O PROPONENTE deverá indicar, na sua proposta, a área requerida pelo seu fornecimento.
- Transportar todo o material do almoxarifado ou de outros locais até o local das obras, bem como sua movimentação no local da instalação.
- Manter a guarda dos materiais, de seu fornecimento, sendo de sua responsabilidade a quebra ou extravio dos mesmos, durante o manuseio, transporte ou armazenamento dos mesmos.
- Transportar todo o pessoal necessário às obras e/ou serviços, desde seu alojamento até aos locais de trabalho, com retorno, observando as condições e normas de segurança e saúde do trabalhador.
- Responsabilizar-se pela locação das estruturas, com conferência dos alinhamentos, elevação, nivelamento, ângulos e pontos críticos do perfil topográfico conforme indicado no projeto. Essa locação deve se processar de forma racional e sem causar transtornos a terceiros.
- Manter, permanentemente, junto às obras, um ou mais supervisores, que deverão supervisionar as atividades de montagem, conforme for necessário para adequada instalação, operação inicial e testes do equipamento fornecido. Deverão instruir o pessoal da CONTRATANTE durante toda a fase de montagem do equipamento;

O PROPONENTE, através de seus supervisores, deverá cooperar com os demais FORNECEDORES até o ponto que for necessário para produzir uma instalação de boa qualidade, de conformidade com os requisitos do Programa de Construção, desenhos aprovados e Especificações. Os Supervisores do FORNECEDOR deverão participar, sob a coordenação geral da obra, da programação dos trabalhos de montagem na Obra.

1.3 TURBINAS , REGULADORES, VÁLVULAS BORBOLETAS E ACESSÓRIOS

1.3.1 Escopo de Fornecimento

O PROPONENTE deverá apresentar uma PROPOSTA para projeto, fabricação, ensaios na fábrica, transportes CIF obra, montagem e supervisão de montagem bem como ensaios na obra de duas turbinas hidráulicas tipo “FRANCIS”, com potência de 8250 kW na queda líquida de 93,10 m, de eixo HORIZONTAL, caixa espiral blindada em aço, semi-embutida no concreto na EL. 977,40, tubo de sucção, eixo, mancal de apoio tipo pedestal combinado com escora e todos os demais acessórios necessários ao bom funcionamento da unidade geradora, mesmo que omitidos nesta especificação.

O arranjo básico dos equipamentos e estruturas previstos para a casa de força poderá ser visto nos documentos anexos.

1.3.2 Considerações Gerais

As turbinas, objeto destas especificações, tem por finalidade de geração de energia elétrica, cuja concepção é descrita a seguir, bem como mostrado nos desenhos anexos:

- Turbina

* Tipo	Francis, rotor simples
* Queda de Projeto	93,10 m
* Vazão nominal	9,80 m ³ /s
* Rotação	600 rpm
* Potência Nominal	8250 kW
* Caixa Espiral	eixo horizontal, blindada em aço

1.3.3 Características Básicas das Turbinas

a) Potência

A 100% de abertura do distribuidor, a turbina fornecerá no mínimo, as seguintes potências, dentro dos limites de cavitação garantidos:

- Sob a queda líquida máxima de 93,40 m: com potência ligeiramente superior a nominal de 8250 kW, ou limitada em operação de sobrecarga, observando-se o nível de jusante mínimo operacional de 976,00 m, onde está sendo considerado o coeficiente de cavitação crítico.

- Sob a queda líquida nominal de 93,10 m: 8250 kW (potência nominal garantida)

A altura de implantação da turbina deverá permitir a sua operação contínua até as potências acima indicadas, bem como na potência reduzida até 50 % da potência nominal, sem qualquer restrição.

Não será admitido uma “potência nominal garantida” inferior a 8250 kW (sem tolerância) na queda de 93,10 m.

b) Variações de Queda

A turbina deverá ser projetada para operação satisfatória em toda a faixa de quedas e níveis citados nesta Cláusula.

- **Níveis de Montante**

Os níveis de água a montante previstos em projeto são:

- Nível máximo (enchente)1078,15 m
- Nível normal de operação1075,00 m
- Nível mínimo de operação1074,90 m

- **Níveis de Jusante**

- Nível com 1 unidade a plena carga 977,00 m
- Nível com 2 unidades a plena carga977,50 m
- Nível com recorrência 500 anosm
- O nível mínimo de jusante de operação não deverá ser inferior à cota 976,00 e o máximo

previsto na cota 981,00m.

• Queda Líquida

- Máximo	93,40 m
- Normal	93,10 m
- Projeto.....	93,10 m
- Mínima	91,50 m

c) Rotação das Turbinas

• Rotação Nominal

O sentido de rotação deverá ser horário, quando vista do tubo de sucção. A velocidade nominal (síncrona) da turbina deverá ser de 600 rpm.

O PROPONENTE poderá apresentar turbinas com rotação diferente daquela indicada acima. Entretanto, deverá comunicar tal fato o mais rápido possível ao PROJETISTA.

d) Altura de Implantação de Turbina. (setting da turbina)

O PROPONENTE deverá fixar a altura de implantação em função das características da turbina e condições dos níveis de água de jusante, bem como considerar quaisquer limitações impostas pelas estruturas existentes.

O valor da pressão barométrica local é de 9,20 mC.A. e o valor da pressão de vapor d'água é de 0,20 mC.A. à 20°C.

e) Garantias de Regulação

O PROPONENTE deverá apresentar na sua Proposta as garantias de regulação da turbina proposta.

A sobrepressão e sobrevelocidade máxima deverão ser definidas em função da configuração do conduto forçado. Preliminarmente deverá ser considerado o GD^2 de 29 t.m² no gerador.

f) Garantias de Rendimento

O PROPONENTE deverá indicar em sua PROPOSTA os rendimentos da turbina para os seguintes valores mencionados abaixo:

Será aplicada uma multa de R\$ (..... reais) para cada ponto percentual de não atendimento ao rendimento especificado na condição nominal, com queda líquida de 93,10 m.

- a) 100% da plena carga.
- b) 85% da plena carga.
- c) 75% da plena carga.
- d) 65% da plena carga.
- e) 50% da plena carga.

Os rendimentos hidráulicos das turbinas deverão ser verificados através de expressão matemática simples ou a partir de medições da vazão turbinada para cada abertura do distribuidor na queda disponível do local.

Os erros das medidas deverão ser considerados na calibração dos instrumentos e aferidos no comissionamento da unidade, para que seja confirmado entre as partes a margem de segurança na medida calculada dos rendimentos. Essa faixa de rendimentos deverá ser considerada para que seja possível a determinação e aplicação de multas contratuais.

O método de medida das vazões pode ser o método de ultra-som aplicado sobre as partes expostas do concreto forçado.

g) Garantias de Cavitação

O PROPONENTE deverá garantir o rotor da turbina contra a erosão excessiva causada pela cavitação por um período de, no mínimo, 8000 horas após a data de início de operação, uma vez que a turbina não tenha sido operada:

g1) mais de 10% (dez por cento) do tempo de operação durante o período de garantia com potência abaixo de 50%;

g2) mais de 50 horas, durante o período de garantia com potências superiores a potência nominal para as dadas condições de nível d'água a montante e a jusante.

g3) acima da potência máxima sob a queda líquida nominal.

O PROPONENTE deverá reparar às suas expensas, todos os danos excessivos causados pela cavitação, dentro do período de garantia, não cobrindo entretanto, a remoção do metal por erosão mecânica ou corrosão química. Será considerada como cavitação excessiva, uma remoção de material superior a $0,1.D^2$ gramas de metal por hora de funcionamento, sendo D o diâmetro máximo do rotor em metros. Se após os reparos efetuados, a turbina continuar cavitando, a PROPONENTE se compromete a substituir o rotor por outro que satisfaça as condições especificadas. As garantias de cavitação deverão incluir também a câmara do rotor.

1.3.4 Projeto e Construção

As turbinas deverão ser do tipo “FRANCIS” com eixo horizontal.

a) Rotor FRANCIS

O rotor da turbina será totalmente fundido em aço inoxidável de modo a resistir melhor aos desgastes por erosão e cavitação em faixas de operação com potência reduzida.

Será provido de anéis de desgaste substituíveis na cinta e na coroa com dureza maior que a dureza dos anéis fixos inferiores e superiores da tampa da turbina.

O rotor deverá ter perfil acabado conforme exigências hidráulicas, pelas normas do IEC. O rotor Francis será balanceado estaticamente na fábrica.

b) Eixo da turbina

Deverá ser em aço forjado, com flange externo para acoplamento ao eixo do gerador.

Deverá ser incluído um jogo de chavetas de acoplamento do eixo ao rotor Francis, bem como um jogo de elementos para acoplamento do eixo da turbina ao eixo do gerador,, composto de parafusos, porcas e travas, em aço inoxidável.

A elevação do acoplamento foi fixada preliminarmente na cota 978,50 m.

As velocidades críticas de flexão do eixo da unidade, não deverão ser inferiores aos valores abaixo indicados:

- Primeira velocidade crítica de flexão, gerador desexcitado: $1,25 \times$ velocidade disparo.
- Primeira velocidade crítica com excitação do gerador a vazio com $1,05 V_n$: $1,25 \times$ velocidade máxima na rejeição de plena carga.

O cálculo da velocidade crítica poderá ser elaborado em conjunto entre os fabricantes da turbina e do gerador, para evitar qualquer dúvida.

d) Vedações do Eixo

Deverá ser fornecido uma vedação de operação do tipo de ação radial ou axial constituída de:

anel deslizante em aço inoxidável aparafusada no flange do eixo da turbina, carcaça e anel coletor de água com parafusos em aço inoxidável.

A tubulação de água de refrigeração para vedação de serviço da turbina, deverá ser em aço inoxidável ou cobre com acessórios.

A água para a vedação deverá ser retirada do sistema de água de resfriamento da usina, com pressão de 3 bar, provida de filtro com tela de 0,5 mm. Caso a vedação necessite de grau de filtragem mais fina deverá ser providenciado pelo fabricante.

e) Mancal de apoio tipo pedestal da turbina

O mancal deverá ser autolubrificante, bi-partido, com pescador e casquilho em aço fundido com metal branco; anel suporte em aço soldado e tampa em aço soldado.

O resfriamento do óleo para o mancal guia deverá possuir trocador de calor tipo placa ou casco e tubos, com válvulas de isolamento e vedações.

Os trocadores de calor serão alimentados por água, a partir do sistema de água de resfriamento.

f) Distribuidor da Turbina

Todas as superfícies de deslizamento dos mancais das palhetas serão compostas por buchas autolubrificantes.

Devem ser fornecidos:

- Um jogo de palhetas diretrizes, em aço inoxidável fundido, com munhões integrados.
- Um jogo de mancais da palheta, com buchas e anel de escora em material autolubrificante e vedações.
- Um jogo de alavancas para as palhetas com buchas de bronze autolubrificantes para ligação das bielas, incluindo um sistema de elementos de segurança.
- Um jogo de chaves fim-de-curso para sinalização dos elementos de segurança atuados.
- Um jogo de bielas duplas, em aço, com pinos de aço inoxidável e mancais autolubrificantes.
- Um aro de regulação, construção soldada em chapas de aço, inteiriço, com buchas de bronze autolubrificantes para as bielas e servomotor.
- Um jogo de bielas com pinos, em aço, para ligar o servomotor ao aro de regulação.

- Um jogo de sapatas de bronze autolubrificantes para apoio e guia do aro de regulação.
- Um servomotor do distribuidor, dupla ação, ancorado na El 977,40 m . Cilindro em aço fundido e êmbolo em ferro fundido nodular, com anéis de segmento, tampas em chapa de aço e vedações, limitador de curso, estrangulamento final, válvulas de drenagem.
- Placas de ancoragem em aço, com parafusos de ancoragem e porcas.
- Travamento do distribuidor, composto de:
 - Um travamento automático, para travar o distribuidor na posição “fechada”.
 - Um dispositivo manual, para manter o distribuidor na posição aberto.
- Tubulação de óleo, em aço, para ligação do sistema de regulação ao servomotor do distribuidor.

g) Tampa da Turbina

Deverá ser fornecida:

- Uma tampa anelar, construção em chapas de aço soldadas, com parafusos, porcas e vedações.

Um jogo de vedações entre tampa externa e o pré-distribuidor, composto de anéis de borracha, segmentos em aço e parafusos de fixação.

h) Um revestimento do tubo de sucção

Deverá ser construído em chapas de aço. A extensão e dimensão do revestimento deverá levar em consideração a forma de concreto. Deverão ser incluídas as ancoragens necessárias.

i) Caixa espiral e Pré-distribuidor

Deverão ser fornecidos todos os materiais necessários para permitir uma perfeita integração das estruturas existentes em concreto com as partes mecânicas a serem fornecidas.

j) Peças embutidas no concreto de segundo estágio

No fornecimento deverão ser incluídos todas as peças necessárias a serem embutidas no concreto de segundo estágio.

1.3.5 Regulador de Velocidade

a) Descrição Geral

A abertura do distribuidor deverão ser controladas por um regulador automático de velocidades eletrônico-hidráulico, com sistema de comando digital. O PROPONENTE deverá apresentar na proposta uma descrição do sistema incluindo diagrama funcional.

b) Tipo do Regulador

O regulador será do tipo eletrônico digital com sistema óleo-hidráulico para atuação do distribuidor, devendo apresentar as seguintes características operacionais:

- Sistema Eletrônico Digital

O “Hardware” do regulador digital deverá ser constituído por módulos de Controle Lógico Programável (PLC's), transdutores e amplificadores de sinais, relés, e acessórios.

O PLC deverá ser constituído basicamente de:

- Módulo de fornecimento de energia.
- Módulo do processador e de memória.

- Módulo de entradas analógicas e digitais.
- Módulo de saídas analógicas e digitais.

O “Software” de regulação (programa do regulador) deverá ser armazenado em memórias fixas ou alimentadas por baterias internas, para manter o programa intacto durante falhas de alimentação do regulador. Os módulos de entradas e saídas deverão ser dimensionados de acordo com as funções específicas da instalação.

O regulador deverá possuir um sistema próprio de monitoramento de falhas do sinal além de possuir sinalização/saída de sinal de falha do regulador, sobrevelocidade, falha sinal velocidade, etc. Os sistemas de medição de rotação para regulação e sinalização deverão ser independentes.

Através dos comandos de entrada do regulador deverão ser executadas as seguintes operações:

1. Ajuste da velocidade (rotação); com indicação valor real/setpoint.
2. Ajuste da abertura/limitador; com indicação valor real/setpoint.
3. Comandos de partida e parada.
4. Comando local e remoto.
5. Comando manual/automático.
6. O Regulador deverá possuir duas fontes independentes de alimentação.
7. Níveis montante /jusante com indicação valores reais/setpoint.

No regulador da turbina deverá ser implantada a função de controle, através do limitador de abertura, do nível de montante da usina, de maneira que este seja mantido dentro de limites próximos e ajustáveis, imediatamente abaixo da crista da soleira vertente do canal adutor, de maneira que toda água que passa pela usina seja utilizada automaticamente com a melhor eficiência possível. Deverá ser possível ativar/desativar a função de controle de nível.

No regulador deverá ser implantada todas facilidades para permitir que futuramente sejam efetuadas todas as operações/sinalizações remotamente. Portanto os sinais deverão ser levados a uma régua de bornes.

Como opcional o PROPONENTE deverá apresentar a função de “Controle Manual de Emergência”. Esta função deverá permitir a operação da unidade em caso de falha do regulador.

- Tipos de Regulação

1. Regulação da Velocidade (Rotação):

O regulador de velocidade deverá ser do tipo PID (Proporcional-Integral-Derivativo) com parâmetros ajustáveis e comutação automática (ou manual) entre amortecimento para rede isolada/marcha em vazio e amortecimento para rede interligada.

2. Regulação de Abertura:

Na regulação de abertura o distribuidor deverá acompanhar diretamente o limitador de abertura, independente do regulador de velocidade.

Este regulador somente poderá ser selecionado com o disjuntor do gerador fechado e com a frequência da rede dentro de uma faixa ajustável. Se a frequência sair desta faixa, ocorrerá uma comutação automática para regulação de velocidade.

c) Fechamento de Emergência

Em caso de falha total do sistema de regulação, impedindo o fechamento normal do distribuidor, acarretando disparo da turbina, um dispositivo centrífugo de segurança comandará a parada de emergência da turbina e fechamento da válvula borboleta. Este dispositivo deverá ter atuação hidráulica direta na válvula distribuidora.

d) Unidade Hidráulica

Para a atuação do servomotor, o regulador deverá contar com uma central de geração e acumulação de pressão óleo-hidráulico, com duas bombas.

As bombas deverão ser do tipo de engrenagem ou de parafuso, devendo apresentar baixo nível de ruído.

Uma bomba permanecerá continuamente em operação e a outra deverá ser ligada quando a pressão cair abaixo de um valor pré-ajustado. O acumulador de pressão, com nitrogênio terá por objetivo complementar a vazão da bomba caso o distribuidor seja fechado com a velocidade máxima ou, em caso de emergência, fechar o distribuidor sem auxílio das bombas.

Este sistema eliminará o emprego de compressores e deverá permitir a partida da unidade sem sistemas auxiliares (“black-start”).

A pressão do sistema deverá ser supervisionada por pressostatos e limitada por uma válvula de alívio junto às bombas.

O fechamento rápido do distribuidor deverá ser feito através de válvulas direcionais com comando elétrico ou manual para casos de emergência.

A unidade hidráulica deverá ser fornecida completa com todos os dispositivos de controle de nível, temperatura do óleo, controle de fluxo, filtragem na linha de pressão e sucção das bombas, válvulas de isolamento, suspiro com filtro e válvula de drenagem.

e) Proteção

Um sistema completo de proteção deverá ser fornecido com proteção mecânica e elétrica de sobrevelocidade, falha do regulador, baixa pressão de óleo do regulador.

Caso o regulador não consiga fechar o distribuidor, os dispositivos de proteção deverão comandar o fechamento da válvula borboleta.

f) Painel do Regulador de Velocidade

O painel do regulador de velocidade deverá ser auto-sustentável, provido de portas com dobradiças, maçanetas e fechadura. Deverá ter grau de proteção IP51. Deverão ser previstos blocos terminais para ligação a equipamentos externos. Todas as entradas e saídas de sinais deverão ter proteção contra surtos.

A fiação deverá ser executada de modo que somente um condutor seja ligado a um terminal. Deverão ser previstos 10% de terminais de reserva (mínimo 10 unidades) do total utilizado.

O painel deverá ser provido de iluminação interna e resistência de aquecimento controlada automaticamente por termostato regulável.

O painel deverá ser fornecido com uma barra de aterramento de cobre, com dois conectores

do tipo de aparafusar, adequados a cabo de cobre cuja bitola será informada posteriormente.

1.3.6 Válvulas Borboletas de Proteção das Turbinas

As válvulas borboletas deverão ser fornecidas para proteção das turbinas, com diâmetros internos estimados em 1450 mm, com altura de queda bruta de 98 m. As válvulas borboletas serão movimentadas por cilindros hidráulicos e fechamento por meio e contra peso. O sistema de acionamento será interligado com o sistema de regulação da turbina. Em caso de falha ou emergência a válvula será fechada com tempo compatível para evitar sobre pressão demasiada com golpe de aríete no conduto forçado.

1.3.7 Acessórios/Instrumentação

a) Da Turbina

A turbina deverá possuir, no mínimo, os seguintes instrumentos:

- 1 (um) manômetro para indicação de pressão na entrada da caixa espiral.
- 1 (um) termômetro com dois contatos independentes para mancal de apoio - metal.
- 1 (um) termômetro com dois contatos independentes para mancal de apoio - óleo.
- 1 (um) RTD para o mancal de apoio - metal.
- 1 (um) RTD para o mancal de apoio- óleo.
- 1 (um) manômetro para o circuito de óleo do mancal.

- 1 (um) indicador de vazão para o circuito de óleo do mancal, com contatos elétricos.
- 1 (um) indicador de nível de óleo no mancal; (nível baixo).

b) Do Regulador/Servomotor

Os seguintes instrumentos relativos ao regulador de velocidade deverão ser fornecidos:

- Indicador de posição das palhetas.
- Indicação velocidade (real/setpoint). A velocidade (rotação) real deve ser indicada em “rpm”.
- Indicador de posição de limitação de abertura do distribuidor (real/setpoint).
- Indicador de posição de ajuste frequência (reat/setpoint).
- Indicador de nível jusante e montante (real/setpoint).

Faixas de medição dos indicadores de nível:

- A montante do barramento 0-5 m
- A jusante 0-5 m

A indicação do nível deverá ser à “elevação” (cota) em “metros”.

Um indicador de pressão e um detector de nível de óleo do regulador, bem como um termostato instalado na unidade hidráulica do regulador.

Para os indicadores de nível, o PROPONENTE deverá prever o fornecimento de todos os materiais necessários à instalação dos medidores.

Todos os dispositivos sensores relativos aos indicadores listados acima deverão ser previstos pelo PROPONENTE.

1.3.8 Peças Sobressalentes

O PROPONENTE cotará com preços unitários, todas as peças sobressalentes que ele julgar necessárias ao funcionamento normal da turbina, regulador e servomotor nos primeiros 2 (dois) e 5 (cinco) anos. No entanto, deverá incluir, no mínimo, as peças citadas nos itens seguintes.

O preço destas peças não deverá ser incluído no preço dos equipamentos.

O cliente decidirá quais e em que quantidades adquirirá estas peças.

a) Para a Turbina e Válvulas Borboletas

- 1 (um) jogo de peças de desgaste para a vedação do eixo (listar quais).
- 2 (duas) palhetas diretrizes.
- 1 (um) jogo completo de todas as vedações, exceto materiais perecíveis, tais como :
borrachas, juntas de papelão, gaxetas, etc.
- 1 (um) jogo completo de peças de segurança do distribuidor (peças de ruptura, ou similar, conforme projeto do distribuidor).
- 2 (duas) alavancas de acionamento das palhetas diretrizes.
- 2 (duas) bielas de ligação das alavancas ao anel de regulação.
- 1 (um) jogo de casquilho para o mancal de apoio.
- 1 (um) jogo de buchas autolubrificantes das palhetas diretrizes.

b) Para o Regulador/Servomotor

- 2 elementos filtrantes de cada tipo (linha comercial);
- 1 pressostato de cada tipo;
- 1 transdutor de posição de cada tipo;
- 1 sonda de captação de rotação completa;

Para o PLC:

- 1 unidade central de processamento;
- 1 módulo de cada tipo (entradas e saídas analógicas e digitais);
- 1 fonte de alimentação;
- 1 conversor AC/DC;
- 1 amplificador para comando da válvula proporcional;
- 2 relés auxiliares;
- 1 bobina para cada tipo;
- 3 conjuntos completos de fusíveis e lâmpadas;

c) Geral

- 1 peça de reserva (para cada 5 peças instaladas) de cada tipo dos seguintes itens:
 - chaves fim-de-curso, chaves de nível.
 - botoeiras, chaves de controle e relés.
 - contactores.
 - detectores de temperatura.

1.3.9 Ferramentas e Equipamentos Especiais

O FORNECEDOR deverá incluir, em seu Fornecimento, todos os equipamentos especiais e dispositivos auxiliares para levantamento e manuseio durante transporte e montagem, bem como ferramentas especiais necessárias à montagem e manutenção do equipamento. Deverá ser fornecido, também, um conjunto de chaves e ferramentas padronizadas, usuais para este tipo de equipamento, para montagem e manutenção. As ferramentas serão acondicionadas em caixas apropriadas e portáteis.

O PROPONENTE deverá incluir na sua proposta uma lista das ferramentas previstas.

O uso das ferramentas e dispositivos especiais deverá ser indicado no Manual de Operação e Manutenção.

1.3.10 Óleo Lubrificante

Todo o óleo lubrificante deverá ser fornecido para o primeiro enchimento até a entrada em operação comercial.

Um único tipo de óleo deverá ser usado nos sistemas da turbina e do regulador, bem como no gerador.

1.3.11 Pintura

a) Objetivo

Esta especificação aplica-se para todos os equipamentos.

b) Preparação das superfícies

Todas as superfícies expostas, antes de receberem proteção, serão decapadas por projeção de abrasivos (jateamento), conforme NORMA SIS 055900.

SA 2 preparação para contato com concreto

SA 2 ½ preparação para contato com ar

SA 8 2 ½ preparação para contato com água e óleo

c) Definição De Aplicações

ESQUEMA	APLICAÇÃO
A	- Superfícies em contato com ar
B	- Superfícies em contato com água
C	- Superfícies em contato com óleo

D	- Superfícies com proteção temporária
E	- Superfícies em contato com concreto
F	- Tubulações (parte externa)
G	- Tubulações (parte interna)
H	- Peças em aço inox ou bronze
I	- Componentes comerciais
J	- Painéis de controle - uso interno

d) Definição Dos Esquemas

ESQUEMA TIPO	PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE	BASE	ACABAMENTO
A	Limpeza com jato abrasivo SSPC-SP 10 Sa 2 ½	película seca 75 micra Primer epoxi poliamida, pigmentado com cromato de zinco cor: amarelo Espessura total	Epoxi poliamida Modificado com resina fenólica, semibrilho cor: a ser definido Padrão MUNSSELL espessura total película seca 75 micra
B	Limpeza com jato abrasivo SSPC-SP 10 Sa 2 ½	Epoxi - alcatrão de hulha, alta espessura, bicomponente, base cor: marrom Espessura película seca 200 micra	Epoxi - alcatrão hulha, alta espessura, bicomponente, acabamento cor: preto Espessura total película seca 200 micra
C	Limpeza com jato abrasivo SSPC-SP 10 Sa 3	Primer epoxiamina, bicomponente cor: vermelho Espessura total película seca 125 micra	Revestimento epoxiamina Bicomponente cor: branco Espessura total película seca 125 micra
D	Limpeza com solvente SSPC-SP 1	Verniz diluído	
E	Limpeza Mecânica SSPC-SP 6	Zinco autocurável, tipo silicato de etila	
F		NA FABRICA	NA OBRA
	Limpeza com jato abrasivo SSPC-SP 10 Sa 2 ½ Limpeza Mecânica SSPC-SP 2	Pintura de Base (ver esquema tipo A)	Ver esquema tipo A, porém utilizando as cores abaixo: Água - Verde Munsell - 2,5 G ¾ Óleo - Marrom Munsell 2,5 YR ¼

			Ar: Azul Munsell 2,5 PB ⁴ / ₁₀
G	Decapagem química SSP-SP 8	2 demãos de óleo decapante	
H	Não receberá nenhuma proteção anticorrosiva		
I	Seguirá o padrão do fabricante; porém com espessuras da película não inferior aquelas especificadas acima para as diversas aplicações.		
J	Conforme NBR 8755		

e) Soldas de Campo

Superfícies compreendidas em uma faixa de 150mm de um lado e do outro da junta a soldar no campo, será feita como segue:

- Jateamento ao padrão típico à superfície considerada.
- 01 (uma) camada de revestimento básico soldável, tipo silicato de etila de zinco.
- Espessura seca: 20 micrômetros aproximadamente.

Retoques na Obra:

Após soldagem, eliminar as escórias e respingos de solda e fazer os retoques que forem necessários, conforme o mesmo sistema utilizado

f) Observações Gerais

f.1 Condições de Pintura:

As pinturas serão feitas por pulverização com tinta ou rolo, conforme as regras do ofício, e conforme as condições de aplicação estipuladas nas fichas técnicas dos produtos.

f.2 Controle:

- Inspeção da camada úmida de cada demão.
- Inspeção da película seca total.

Espessura da película seca;

Número de pontos de medição em função da área pintada a controlar, deve ser:

- 10 a 20 pontos de medida para áreas até 20 m².
- 20 a 50 pontos de medida para áreas de 20 a 100 m².
- 50 a 100 pontos de medida para áreas acima de 100 m².

f.3 Substituição, Equivalência:

Os produtos indicados poderão ser substituídos por equivalentes de FORNECEDORES diferentes e/ou denominação diferente, mas com as propriedades e qualidades idênticas, salvo as modificações ou evoluções promovidas pelos FORNECEDORES dos produtos.

f.4 Reparos na Obra:

Deverão ser enviadas, juntamente com o equipamento as tintas suficiente para reparar até 10% da área pintada, além de necessário, para pintar as áreas após execução das soldas na obra. Prever tinta para retoque na obra em função da área pintada, entretanto, no mínimo 1 galão para cada tipo.

f.5 Equipamentos Comerciais:

Os equipamentos comerciais permanecem com o esquema e proteção de sua origem. Entretanto as espessuras das películas não devem ser inferiores aquelas especificadas para as diversas aplicações.

1.3.12 Testes e Inspeções na Fábrica

a) Testes na Fábrica

O PROPONENTE deve apresentar um programa de testes e inspeções a serem realizadas na fábrica.

1.3.13 Desenhos e Documentos a serem Fornecidos pelo PROPONENTE

O PROPONENTE deverá anexar, em todas as vias de sua proposta, os seguintes desenhos e documentos, considerados como o mínimo indispensável ao julgamento das propostas:

- a) Planta baixa e cortes, mostrando a turbina e regulador, com indicação de dimensões principais.
- b) Corte da turbina, mostrando rotor, pás diretrizes, revestimentos da tampa e tubo de sucção, mancais e demais componentes.
- c) Diagramas de bloco do regulador.
- d) Diagrama funcional da parte hidráulica do regulador.
- e) Curva de colina do protótipo mostrando: Queda, vazão, potência, rendimento, abertura do distribuidor e faixa de operação.

1.3.14 Folha de Dados das Turbinas e Válvulas Borboletas

Esta Folha de Dados deverá ser preenchida e apresentada junto com a proposta.

(*) dados que deverão ser garantidos

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	PROponente /DADOS	OBS.:
1.	TURBINA FRANCIS – EIXO HORIZONTAL			
1.1	GERAL Potência no eixo da turbina, com queda nominal líquida a plena carga	kw	(*)	

	Queda nominal líquida	m	(*)	
	Vazão a plena carga	m ³ /s	(*)	
	Rendimento máximo na queda líquida nominal qual a potência neste ponto	% Kw		
	Rendimento da turbina à plena carga e queda nominal líquida	%	(*)	
	Rendimento da turbina com 80% da plena carga e queda nominal líquida	%		
	Rendimento da turbina com 70% da plena carga e queda nominal líquida	%		
	Rendimento da turbina com 60% da plena carga e queda nominal líquida.	%		
	Rendimento da turbina com 50% da plena carga e queda nominal líquida.	%		
	Rotação nominal	rpm	(*)	
	Rotação de disparo máxima	rpm		
	Altura de implantação da linha de centro do distribuidor	m		
	Vazão de água de resfriamento para:			
	. vedação do eixo	l/s		
	. regulador	l/s		
	. mancais	l/s		
1.2	GARANTIAS DE REGULAÇÃO			
	Tempo de fechamento do distribuidor 100-0%	s		
	Tempo de abertura do distribuidor 0-100%	s		
1.3	COM REJEIÇÃO DA PLENA CARGA			
	Elevação da pressão no conduto forçado a montante da turbina (em porcentagem da pressão nominal)	%		
	Elevação da rotação (em porcentagem da rotação nominal)	%		
	Limitada a 50% acima do nominal			
	GD ² necessário total	kgm ²	(*)	
	GD ² do gerador considerado	kgm ²	(*)	

	GD ² do gerador considerado	kgm ²	(*)	
--	--	------------------	-----	--

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	PROPONENTE /DADOS	OBS.:
1.4	OS DADOS GARANTIDOS DO SISTEMA DE REGULAÇÃO DEVERÃO SER COMPATÍVEIS COM:			
	Comprimento do conduto forçado	m		
	Diâmetro interno do conduto forçado	mm		
	Espessura da chapa do conduto forçado	mm		
1.5	DIMENSÕES PRINCIPAIS E PESOS			
	a) Rotor			
	Diâmetro de saída do rotor			
	Altura do rotor			
	Material das pás			
	Peso (aproximado)	kN		
	Número de pás			
	b) Distribuidor			
	Diâmetro dos centros das palhetas	mm		
	Número de palhetas diretrizes			
	Altura livre do distribuidor	mm		
	Material das palhetas diretrizes			
	c) Pré-Distribuidor			
	Espessura máxima das pás fixas do pré-distribuidor	mm		
	Número de pás fixas do pré-distribuidor			
	d) Eixo			
	Diâmetro do eixo	mm		
	Comprimento do eixo	mm		
	Peso	kN		
	e) Tampa da turbina			
	Diâmetro da tampa externa	mm		

	Peso da Tampa externa	kN		
	f) Peso máximo a ser levantado durante montagem	kN		
	g)Peso total de uma turbina (aproximado)	kN		
	h) Altura mínima necessária do gancho da ponte rolante acima do piso durante a montagem	m		
1.6	REGULADOR DE VELOCIDADE			
	Capacidade de regulação	Nm	(*)	
	Faixa de ajuste do estatismo	%	(*)	
	Pressão máxima/míma do óleo	bar		
	Volume total do tanque de óleo	m ³		
	Volume total do tanque de nitrogênio	l		
	Peso total do tanque de óleo do regulador	kN		

1.4 GERADORES E ACESSÓRIOS

1.4.1 Descrição do Gerador

Deverá ser gerador síncrono, de pólos salientes com enrolamentos amortecedores, com eixo horizontal.

Estão previstos, dois mancais do tipo pedestal para apoio do gerador, um localizado do lado da turbina e o outro do lado oposto, além de um mancal da turbina, do tipo apoio combinado com escora, sendo esse último incluído no Escopo de Fornecimento da turbina.

O gerador deverá ser resfriado a ar, em circuito aberto, com a tomada de ar frio dentro da casa de força e a saída de ar quente para fora, a jusante da casa de força.

O Proponente deverá apresentar detalhes requeridos para a exaustão de ar e incluir no fornecimento os eventuais dutos de ar necessários.

1.4.2 Requisitos para o Gerador

a) Requisitos Mecânicos

Os geradores deverão ser compatíveis com as turbinas a serem fornecidas. As partes mecânicas deverão ser dimensionadas para aceitar a potência máxima, velocidade máxima de disparo, incluindo empuxo hidráulico da turbina oferecida. As velocidades críticas da unidade não deverão ser inferiores aos valores abaixo indicados:

- a) Primeira velocidade crítica, gerador desexcitado de $1,25 \times$ (velocidade disparo).
- b) Primeira velocidade crítica, excitação do gerador em vazio, com $1,05 V_n$ de $1,25$ velocidade máxima na rejeição de plena carga.

O cálculo da velocidade crítica do conjunto deverá ser apresentada em conjunto pelos fabricantes da turbina e do gerador.

b) Requisitos Elétricos

O gerador deverá ter as seguintes características:

b1) Regime Permanente

Os geradores deverão ser dimensionados com os dados abaixo:

- Potência em regime contínuo, com tensão, frequência e fator de potência nominais, com a sobrelevação de temperatura máxima permissível, do estator de 80 graus C e do rotor de 90 graus C, com a temperatura do ar quente, medida na saída do gerador de 40 graus C.....
8890 kVA.

- Tensão nominal, fase a fase (orientativa).....6,9 kV

- Faixa de tensão, dentro da qual, o gerador poderá operar continuamente em regime contínuo
..... $\pm 5\%$

- Fator de Potência nominal0,90 sobre excitado

- Frequência60 Hz

- Rotação síncrona.....600 rpm conforme dados da turbina

- Número de fases3

- Sentido de rotação visto da área de descargahorário

- Classe de isolamento dos enrolamentos do rotor e do estator..... F

obs: A tensão de 6,9 kV é orientativa para os demais itens do sistema elétrico. O Proponente é livre para apresentar a tensão que melhor atende ao atributo de economicidade.

A temperatura do enrolamento do estator deverá ser medida por termômetros de resistência (RTD), instalados nas ranhuras do estator e a temperatura do rotor pela mudança de resistência do enrolamento, ambas de acordo com as recomendações da Norma IEC 34-1.

O Proponente poderá fornecer, como alternativa, geradores resfriados a ar, em circuito fechado, com trocadores de calor do tipo ar-água, com a água em circuito aberto.

b2) Características Elétricas Permanentes

- Potência de sequência negativa, como percentagem da corrente nominal, conforme IEC34-1 cláusula 22.....12% (mínima)

- Fator de interferência telefônica (THF) conforme IEC 34-1 cláusula 281,5%

- Rendimento em regime contínuo definido pela cláusula II.2.4.1.b2 a ser determinado por testes efetuados conforme IEC34-2.....97,5% (mínimo)

b3) Características Elétricas Dinâmicas

As características elétricas dinâmicas deverão ser determinadas pelo fabricante, de tal modo que o gerador, junto com os equipamentos auxiliares, possam proporcionar o desempenho dinâmico requerido para a presente aplicação.

1.4.3 Coordenação de Fornecimento Turbina-Gerador

A solução do arranjo de mancais deverá ser apresentada em comum acordo entre os fabricantes da turbina e do gerador.

O acoplamento dos eixos da turbina e do gerador deverá ser de responsabilidade do Fabricante da turbina, em comum acordo com o Fabricante do gerador.

1.4.4 Detalhes Construtivos

Todos os detalhes construtivos deverão ser de acordo com a experiência do Fabricante para geradores do porte especificado.

O Proponente deverá apresentar uma descrição sucinta dos critérios construtivos da carcaça, núcleos do estator e rotor, enrolamentos do estator e do rotor, tampas, mancais, sistema de freio, sistema de aterramento, sistema de excitação, sistema de resfriamento e detalhes de transporte e montagem.

1.4.5 Sistema de Excitação

O gerador deverá ser provido de excitação estática. O sistema de excitação estática deverá ser composto por semicondutores arrançados em conexão para formação de ponte de 6 pulsos.

A energia para o sistema será tomado dos terminais do gerador. O sistema deve ser dimensionado de maneira tal que, com 30% da tensão nominal nos terminais do gerador, seja capaz de operar e seja possível obter corrente de campo suficiente para gerar corrente nominal no estator.

A energia para a excitação inicial do campo deve ser retirada dos circuitos de corrente contínua em 125Vcc. O Proponente deverá informar a máxima corrente requerida do sistema de corrente contínua e o tempo de duração.

Nas condições de excitação máxima, o carregamento dos retificadores deverá ficar, no máximo, em torno de 60% de sua capacidade nominal.

A tensão de pico inverso dos semicondutores deverá ser compatível com os transitórios de tensão previstos no secundário do transformador (a níveis de até 1 kV).

Os semicondutores deverão estar protegidos, no mínimo, pelos seguintes dispositivos:

- Disparo indevido por altos gradientes de tensão (du/dt) e de corrente (di/dt).
- Fusíveis de ação rápida.
- Sobreensões.
- Sobrecorrentes.

Os manuais informativos deverão ter detalhes técnicos suficientes a respeito da coordenação entre os níveis de proteção contra sobretensões e sobrecorrentes previstas.

O sistema de excitação estática deverá estar apto a manter a tensão no terminal do gerador na faixa + ou -0,5% da tensão de referência em regime permanente.

Qualquer que seja o arranjo, o controle deverá ser feito automaticamente, via microprocessadores, e a especificação e o grau de redundância do projeto deverão ser informados.

A queima de um ou mais fusíveis de proteção dos semicondutores das pontes principais deverá provocar alarme e/ou desligamento, se for o caso.

O sistema de produção de pulsos deverá ter a função de gerar pulsos para o gatilho dos semicondutores a partir da medição de sinal de controle enviado pelo regulador de tensão. Deverá prover, ainda, o sincronismo necessário entre os pulsos e a alimentação da ponte de semicondutores controlados. Deverá ser providenciada, no circuito de sincronização, uma compensação adequada para fazer com que o controle fique imune às variações da tensão de alimentação, dentro da faixa de alimentação do gerador de pulsos.

Em qualquer condição, não deverá ser admitida a possibilidade de disparo indevido dos semicondutores, por transitórios na alimentação ou erro no circuito de lógica de pulsos.

Os circuitos de CA e de CC, após a ponte retificadora, devem ser providos com os devidos dispositivos de proteção, seja de sobrecorrente, seja de sobretensão. O dimensionamento destes dispositivos deve ser determinado e objeto de memória de cálculo, sujeito a aprovação, após a adjudicação do contrato.

Os limitadores de corrente máxima do campo e de subexcitação devem ser capazes de detectar situações de defeito e devem trazer o gerador a operar corretamente dentro de sua faixa de capacidade.

1.4.6 Regulador de Tensão

Deverá ser do tipo de ação contínua, sem zona morta, devidamente compensado e estabilizado, com ganho suficiente para manter a grandeza de saída referente do valor da tensão na faixa de regulação especificada para regime permanente de + ou -0,5%.

O regulador receberá informações de tensão e corrente diretamente de TP's e TC's disponíveis ao nível de tensão do gerador síncrono. A saída do regulador será enviada ao gerador de pulsos para controle do ângulo de disparo dos semicondutores controlados.

A referência de tensão deverá ser dada através de um potenciômetro digital, com comando local e remoto, indicação de posição em ambos os locais e faixa de ajuste de 90% a 110% da tensão nominal.

Deverá possuir limitador de corrente, sendo que a atuação dos limitadores se dará por controles próprios e ajustes independentes e de maneira a não inibir a dinâmica de controle, fazendo com que a grandeza sob interesse retorne ao valor desejado através de dinâmica própria. Deverá possuir, também, dispositivos que realizem continuamente tarefa de autodiagnóstico.

Deverá haver condição para reajuste de todos os parâmetros de controle, estando o sistema em operação normal.

Deverá dispor de compensadores de reativos com funcionamento com o estatismo permanente ou compensador de queda ajustado de 0 a 10%.

O regulador deve apresentar parâmetro de regulação selecionável para a tensão entre terminais do gerador, com a devida compensação de reativo, fator de potência, com tensão do terminal do gerador dentro de faixa pré-ajustada.

1.4.7 Mancais

O óleo dos mancais deve ser resfriado através de trocadores de calor óleo/água, instalados fora do mancal, com a utilização de moto-bombas.

Os trocadores poderão ser do tipo placa ou do tipo casca e tubo, com válvulas de isolamento e vedações.

Os trocadores de calor serão alimentados por água a partir do sistema de água de resfriamento, suprido pelo conduto forçado da unidade geradora.

1.4.8 Acessórios

Deverão ser fornecidos, no mínimo, os seguintes acessórios:

- Resistor de aquecimento, com termostato para controlar alimentação a 380V.
- Detectores de temperatura tipo Pt100: 02 por mancal.
- Termômetro com contatos para alarme e desligamento: 01 por mancal.
- Detectores de temperatura no enrolamento: 03 por fase.
- Indicador de nível com contatos de nível de óleo baixo: 01 por mancal.
- Sistema de freio, operação pneumática. O sistema de frenagem será alimentado a partir do reservatório de ar, do sistema de ar comprimido de serviço da Usina.
- Sistema de aterramento, com resistor, conforme mostrado no Diagrama Unifilar ACA-BS-05-700, para limitar a corrente de falta à terra, conforme a prática do Fabricante.
- Sensores e acionamentos requeridos à automatização dos sequenciamentos de partida e parada.

1.4.9 Inspeção e Testes na Fábrica

De acordo com o Plano de Inspeção e Testes previamente aprovado pelo Gerente do Empreendimento, alguns testes poderão ser acompanhados por representantes da CONTRATANTE, conforme programa de diligenciamento a ser proposto.

1.4.10 Peças Sobressalentes

O Proponente deverá apresentar uma Lista de Peças sobressalentes requeridas para 2 e 5 anos de operação, com os respectivos preços unitários. De posse dessa informação, a CONTRATANTE definirá o escopo referente a esse item, que será incluído por ocasião da assinatura do contrato.

1.4.11 Ferramentas e Dispositivos Especiais

O Proponente deverá listar as eventuais ferramentas e dispositivos especiais necessários às manutenções rotineiras dos geradores, com os respectivos preços unitários. Caberá, posteriormente, à CONTRATANTE, a definição da inclusão desse item no Contrato de Fornecimento.

1.4.12 Documentos a Serem Apresentados

O FORNECEDOR deverá apresentar para aprovação, memórias de cálculos, desenhos, manuais e programa de comissionamento.

Dez dias após a assinatura do Contrato, o FORNECEDOR deverá apresentar uma Lista de documentos a serem aprovados, com as respectivas datas de emissão.

O FORNECEDOR deverá se comprometer em fornecer todas as informações requeridas pelos projetos civil, mecânico e elétrico, em conformidade com o cronograma pré-estabelecido entre as diversas partes, sob a coordenação do Gerente do Empreendimento.

1.4.13 Folha de Dados do Gerador

O Proponente deverá explicitar como será comprovada a garantia.

(*) valor a ser garantido

ITEM	DESCRIÇÃO	UN.	QTD.	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
1.	GERADORES - fabricante - modelo - potência na nominal contínua - fator de potência	kVA		(*) (*)	
	- tensão nominal - classe de isolamento - grau de estanqueidade - velocidade síncrona nominal - sobrevelocidade de disparo - rendimento - número de pólos - tolerância de tensão a plena carga - tolerância de tensão a vazio	V rpm rpm %		(*) (*) (*) (*)	
	- faixa de ajuste de tensão - tipo de excitação			(*)	
	- esforços mecânicos na estrutura civil	kN			
	- capacidade do mancal do lado da turbina	kN			
	- capacidade do mancal do lado oposto a turbina	kN			

	<ul style="list-style-type: none"> - peso do rotor - peso total - tipo de mancais - gd^2 mínimo - entreferro - diâmetro do rotor - comprimento do rotor - normas de referência - corrente máxima contínua de excitação - tensão nominal de excitação 	<ul style="list-style-type: none"> kN kN t.m² m.m m m A V 			<ul style="list-style-type: none"> (*) (*) (*)
	<ul style="list-style-type: none"> - nível de ruído - corrente de excitação inicial de campo, a ser suprida pelos auxiliares de cc descrição sucinta de: - tensão de teto positiva, com o enrolamento de campo do gerador a 100 graus c - tempo de resposta inicial 	<ul style="list-style-type: none"> d.b A V S 			<ul style="list-style-type: none"> (*) (*)
	<p>Características do transformador de excitação:</p> <ul style="list-style-type: none"> - potência nominal - tensão nominal - número de fases - impedância - conexão - fabricante - tipo 				<ul style="list-style-type: none"> (*)
	<ul style="list-style-type: none"> - métodos construtivos - sistema de aterramento - sistema de frenagem - sistema de resfriamento - sistema de excitação - Catálogos do regulador e instrumentação - fluxograma de partida e parada 				

1.5 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Os FORNECEDORES dos grupos turbina-gerador poderão, em conjunto, propor soluções tecnológicas que resultem na redução de custo dos equipamentos em relação ao especificado.

As alternativas propostas serão estudadas pela CONTRATANTE com relação às implicações das modificações impostas pelos equipamentos nos custos das obras civis. Caso a solução apresentada pela PROPONENTE se mostrar atrativa, técnica e economicamente, esta deverá ser considerada no critério de julgamento das propostas.

As propostas de alternativas deverão considerar o fornecimento completo do conjunto turbina-gerador e respectivos acessórios, devendo ser apresentadas com o nível de detalhamento que permita sua comparação com a proposta básica para o fornecimento solicitado nestas Especificações.

EQUIPAMENTOS E SISTEMAS ELÉTRICOS

SEÇÃO A.1

EQUIPAMENTOS E SISTEMAS ELÉTRICOS

ÍNDICE

1.1 INTRODUÇÃO

1.2 REQUISITOS TÉCNICOS GERAIS

1.2.1 Escopo de Fornecimento

1.3 REQUISITOS OPERATIVOS

1.3.1 Generalidades

1.3.2 Modos de Operação

1.3.2.1 Geral

1.3.2.2 Automatismos

1.3.2.3 Funções de Controle

1.3.2.4 Sistemas de Monitoração e Controle Digital (SMCD)

1.4 NORMAS DE FABRICAÇÃO

1.5 REQUISITOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS

1.5.1 Conjunto de Manobra e MÉDIA TENSÃO

1.5.2 Painéis de Proteção e Controle

1.5.3 Disjuntores de 6,9kV

1.5.4 Sistema de Proteção

1.5.5 Transformadores Elevadores

1.5.5.1 Requisitos de Curto-Circuito

1.5.5.2 Níveis de Ruído Audível

1.5.5.3 Nível de Tensão de Rádio-Interferência

1.5.5.4 Ligações e Deslocamento Angular

1.5.6 Baterias e Carregadores

1.5.6.1 Característica Elétricas

1.5.6.2 Características Construtivas

1.5.7 Equipamentos da Subestação de 138 kV

1.5.7.1 Disjuntor de 138 kV

1.5.7.2 Seccionadora de 138 kV

1.5.7.3 Transformadores para Instrumentos

1.5.7.4 Pára-raios de 138 kV

1.5.7.5 Inspeção e Ensaio

1.6 PEÇAS SOBRESSALENTES

1.1 INTRODUÇÃO

Os Proponentes deverão estar cientes que, depois de adjudicado o Contrato, deverão se prontificar a colaborar com os demais fornecimentos de turbinas, geradores, demais equipamentos mecânicos obras civis, no intuito de se obter uma integração adequada de todos os Fornecimentos, para que o cronograma de implantação do empreendimento seja alcançado e, no final, a CONTRATANTE receba a Usina Hidrelétrica em perfeitas condições de operação, atendendo aos atributos de confiabilidade, segurança, flexibilidade de operação e manutenção e economicidade.

O responsável pela integração desses fornecimentos será o Gerente do Empreendimento, que deverá contar com a colaboração de todos os responsáveis pelo Fornecimento.

1.2 REQUISITOS TÉCNICOS GERAIS

1.2.1 Escopo de Fornecimento

Esta Especificação abrange o projeto, a fabricação, os ensaios de fábrica e no campo a entrega CIF na obra e supervisão de montagem dos equipamentos e sistemas relacionados a seguir.

ESCOPO DE FORNECIMENTO

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
1	Cubículo de 6,9kV para gerador, contendo - Um disjuntor a vácuo, 800 ^A , Icc 15kA para aplicação com gerador de 8890Kva, mecanismo de operação em 220Vca, e bobinas de abertura e fechamento em 125Vcc, 04 contatos NA e 04 NF; - Três transformadores de corrente, 800-5-5-5A, com dois núcleos 10B200, e um de medição 0.6C50, FT 1,0 e corrente 5 kA – 1s; - Um transformador de corrente, 800-5 A, 10B200, FT 1,0 e corrente 5kA-1s - Três transformadores de potencial 0,6P200, 6900/ $\sqrt{3}$ –115/ $\sqrt{3}$ -115/ $\sqrt{3}$. Serão fornecidos somente os TPs, para o cubículo do gerador número 1, que deverão ser conectados ao barramento de 6,9 kV.	02
2	Cubículo de 6,9kV para seccionadora do transformador elevador,	01

	contendo: - Chave seccionadora tripolar 6,9kV, 1600A, com dois contatos auxiliares NA e 2NF, operação manual, capacidade para fechar com corrente de magnetização do transformador, e com bobina para intertravamento elétrico em 125Vcc, corrente térmica 20kA – 1s.	
3	Cubículo de 6,9kV; para alimentação dos transformadores de serviços auxiliares, contendo: - Chave seccionadora tripolar sob carga, 200A, com fusíveis, com dois contatos NA e 2NF.	02
4	Transformador trifásico para serviços auxiliares, imerso em óleo, para instalação ao tempo, 300 kVA, 6900-380/220V	02
5	Transformador trifásico 17780kVA, ONAN/ONAF, 6,9-138kV \pm 2 x 2,5%, delta-estrela, com um transformador de corrente em cada bucha de fase e neutro, 200-5A, classe 10B200, com todos os acessórios conforme NBR-5356.	02
6	Pára-raios para sistema de 138kV com neutro solidamente aterrado.	03
7	Disjuntor de 136 kV, 200 ^A , Icc 20 kA, comando elétrico, com mecanismo de acionamento em 220Vca, 4 contatos NA, 4NF, bobinas de abertura e fechamento em 125Vcc. com seccionadora, contendo;	02
8	Seccionadora tripolar com lâmina de terra, comando elétrico, 200 ^A , 138Kv, com mecanismo de acionamento em 220Vca, 4 contatos NA, 4NF, circuito de controle em 125 Vcc.	01
9	Três transformadores de corrente, 200 – 5-5-5 ^A , 138 Kv, com dois núcleos de proteção 10B200 e um núcleo de medição 0,6C50	03
10	Três transformadores de potencial 0,6P200, 138000/ $\sqrt{3}$ -115/ $\sqrt{3}$ 3	
11	Painel de proteção e controle do gerador, com as seguintes funções: . indicação de: corrente, tensão, potência ativa/reactiva, frequência e temperatura do gerador; . proteção de: sincronismo (25), frequência (81), perda de campo (40), sobretensão (59), temperatura (49), sequência negativa (46), sobrecorrente com restrição de tensão (51V), sobrecorrente de terra (51G), diferencial de fase (87G), diferencial de terra (87GN) e diferencial do transformador (87T). Ver diagrama unifilar de proteção e medição ACA-BS-05-701	02
12	Sistema de monitoração e controle digital, constituído por uma unidade de controle central (UCC), instalada na sala de controle e unidades de aquisição e controle digital (UAC), instaladas junto ao processo, interligadas através de cabos de fibra ótica, em uma rede de comunicação, padrão ETHERNET, formando um sistema de controle totalmente distribuído.	01

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
13	Quadro de distribuição geral de CA (QDG), em 380/220V para serviços auxiliares de CA, conforme diagrama unifilar ACA-BS-05-702, com as funções de proteção e de indicação mostradas. Contem os seguintes disjuntores de caixa moldada: . 07 disjuntores de caixa moldada, um de 175 A, dois de 100 A; dois de 40 A, para alimentação dos quadros de distribuição e CCMs e um	01

	disjuntor de reserva; . 02 disjuntores de entrada, caixa moldada, 600 A, com transferência automática, sem paralelar as fontes de alimentação.	
14	Cinco Quadros de distribuição de corrente alternada, 380/220 V, com os disjuntores necessário às funções indicadas nos respectivos quadros, mostrados no diagrama unifilar ACA-BS-05-702	05
15	Um quadro de distribuição de luz (QDL), de corrente alternada, 220/127 V, com os disjuntores necessários aos circuitos de iluminação e tomadas, conforme mostrado no diagrama ACA-BS-05-702.	01
16	Quadro de distribuição geral (QDG) de 125Vcc, conforme desenho N° AC-BS-05-703 contendo: . 01 disjuntor bipolar de 100 A; . 05 disjuntores bipolares de 50 A, para alimentação dos quadros de distribuição e 01 disjuntor de reserva.	01
17	Quatro quadros de distribuição de corrente contínua de 125 V, com os disjuntores necessários para alimentação das cargas em 125 V, conforme diagrama unifilar ACA-BS-05-703.	04
18	Bateria chumbo ácido, 60 elementos, 320Ah/10 horas.	01
19	Carregador-retificador, entrada 380V, saída 50A-125V, para flutuar com a bateria acima.	02
20	Painel de proteção e controle da linha de transmissão em 138 kV contendo as seguintes funções: . indicação de corrente, tensão e potência; . proteção de acordo com os padrões CEMIG, para interligação ao seu sistema de transmissão. Ver diagrama ACA-BS-05-701	01

1.3 REQUISITOS OPERATIVOS

1.3.1 Generalidades

Os diagramas unificares N°s ACA-BS-05-700/701/702/703 apresentam, simplificada, os sistemas que integrarão os itens do presente fornecimento aos geradores da USINA, a serem adquiridos sob um outro Contrato.

A tensão do gerador de 6,9kV foi estabelecida, no momento, para definir os parâmetros do presente fornecimento. Entretanto, durante a fase pré-contratual, a tensão de geração poderá ser alterada para atender, eventualmente, à economicidade do projeto dos geradores. Nesse caso, os parâmetros elétricos do presente fornecimento deverão ser compatibilizados, com a premissa de que a classe de isolamento dos equipamentos propostos seja mantida, o mesmo acontecendo com as suportabilidades térmicas e dinâmicas dos equipamentos.

Os equipamentos elétricos de média e alta tensão, objeto destas especificações, foram dimensionados considerando o nível de curto circuito de 20 kA na subestação da usina.

O nível de curto-circuito na subestação de, onde a UHE de (NOME) se interliga ao sistema da, deverá ser confirmado antes da apresentação da proposta.

Os quantitativos estabelecidos nessas especificações devem ser entendidos como orientativos, cabendo ao Proponente incluir, de acordo com a sua experiência, todos os dispositivos necessários à correta operação, para atender as funções definidas.

O Proponente é livre para alojar os dispositivos dos diversos sistemas da maneira que melhor lhe convier, sem deixar de atender as facilidades requeridas pelas atividades de operação e manutenção, que estarão a critério de julgamento da CONTRATANTE.

Os desenhos N° ACA-BS-05-012 apresenta a disposição prevista para os itens desse fornecimento. É importante salientar que a área prevista para os equipamentos deverá ser restrita ao apresentado no referido desenho.

O fornecimento, objeto dessas especificações, deverá ser completo, com todos os dispositivos requeridos para as funções especificadas, mesmo que não tenham sido aqui discriminadas.

Após a adjudicação do contrato, será feito um Detalhamento Final do Fornecimento, sob a coordenação do Gerente do Empreendimento, que será responsável pela integração de todos os fornecimentos.

Nessa oportunidade, caso seja necessário, novas funções poderão ser incluídas no presente fornecimento. Para isso, o Proponente deverá fornecer a Planilha anexa de preços unitários, considerando o fornecimento dos dispositivos, materiais e mão-de-obra para instalação na fábrica.

1.3.2 Modos de Operação

1.3.2.1 GERAL

Os geradores serão ligados ao cubículo de média tensão, de 6,9 kV, através de cabos isolados, onde operam normalmente em paralelo.

O cubículo de média tensão é ligado ao transformador elevador trifásico de 6,9/138 kV, por meio de cabos isolados.

1.3.2.2 AUTOMATISMOS

As unidades geradoras serão adquiridas com os sensores necessários ao sequenciamento automático de partida e parada das mesmas. Esta UHE poderá ser operada, através dos seguintes níveis de controle:

Nível Central – a partir da sala de controle central;

Nível Local – a partir das unidades de aquisição e controle, localizadas juntos aos equipamentos controlados;

Nível Equipamento – a partir de cada equipamento.

Em condições normais de operação a usina será operada pelo sistema de monitoração e controle digital (SMCD), a partir dos equipamentos do Nível Central. Na sua falta a usina será operada a partir dos equipamentos do Nível Local.

O controle do Nível Equipamentos, só poderá ser efetuado "passo a passo", junto aos próprios equipamentos, em caso de teste ou de emergência.

A parada por proteção não deverá depender de posição de chave seletora.

O sistema de serviços auxiliares CA será dotado de uma transferência automática de fontes.

1.3.2.3 FUNÇÕES DE CONTROLE

No presente fornecimento deverão ser previstos dispositivos para atender às seguintes funções:

- Medição

As grandezas elétricas mostradas no unifilar ACA-BS-05-701 deverão ser disponibilizadas nos níveis central e local, através do sistema de monitoração e controle digital (SMCD). Outras funções mecânicas, do conjunto turbina e gerador, também deverão

ser disponibilizadas, quais sejam: pressão da caixa espiral, abertura do distribuidor e temperatura, conforme mostradas no diagrama de instrumentação da unidade e nos fluxogramas dos auxiliares mecânicos.

- Proteção e Controle

Deverá ser previsto para cada disjuntor, mostrado no unifilar ACA-BS-05-700 um circuito em 125 Vcc, faixa 100-137,5V, nos terminais dos equipamentos, para as funções de comando, intertravamento e bloqueio.

Todos os circuitos deverão ser supervisionados por relés detectores de tensão, com contatos para o sistema de alarme, instalados no final dos circuitos.

Para cada disjuntor, deverá ser fornecida uma chave seletora local-remoto, uma chave de controle (abrir-fechar) e sinaleiros de posição.

Os circuitos de abertura pelo sistema de proteção deverão ser independentes da posição das chaves seletoras.

O sistema de proteção e controle de cada unidade geradora, deverá prever relés de bloqueio com rearme manual, para os diversos modos de parada da unidade.

Devem ser considerados os seguintes modos de parada das unidades:

- Parada total com rejeição de carga.
- Parada total sem rejeição de carga.

Os circuitos de abertura dos disjuntores deverão ser supervisionados por relés, com contatos para alarme, no caso de interrupção dos mesmos.

Para a operação, “passo a passo”, da unidade, deverá ser previsto um mini-painel, do tipo basculante, com os instrumentos e chaves seletoras, necessários para sincronização manual, supervisionada pelo relé 25. Este mini-painel basculante deverá ser montado no painel de proteção e controle de cada unidade. As chaves para controle remoto dos disjuntores dos geradores, deverão ser montadas também neste painel.

A função de sincronização automática deverá ser realizada pelo sistema de monitoração e controle digital, a partir do Nível Central ou do Nível Local.

O disjuntor da LT só poderá ser fechado com os disjuntores dos geradores abertos, em caso de sincronização manual, na operação “passo a passo”.

Para sincronização automática este disjuntor poderá ser fechado com os disjuntores das unidades fechados ou abertos. A sincronização automática deverá ser feita comparando-se a tensão do gerador com a tensão da barra do cubículo de média tensão, ou entre a tensão desta mesma barra com a tensão da linha de transmissão.

Deverá ser previsto um circuito de controle para cada unidade geradora, atendendo às funções de partida e parada, com supervisão de tensão.

Deverá ser previsto um circuito de controle para as seccionadoras, com funções de intertravamento e sinalização.

Deverão ser previstas as funções de interface entre o sistema de proteção e controle com o sistema de monitoração e controle digital.

1.3.2.4 Sistema de Monitoração e Controle Digital (SMCD)

Deverá ser proposto um sistema de monitoração e controle, com tecnologia digital, utilizando microprocessadores, constituído por uma unidade de controle central (UCC), localizada na sala de controle central (Nível Central) e por unidades de aquisição e controle (UAC), instaladas junto ao processo (Nível Local), interligadas através de uma rede de comunicação, padrão ETHERNET de alta velocidade.

Deverá apresentar uma arquitetura completamente distribuída, constituída por módulos, onde os recursos de processamento e funções, são alocadas nas unidades de processo (UACs) e na unidade de operação (UCC).

As UACs tem as funções de controle e interfaceamento com o processo e a UCC tem a função de fazer a interface entre o operador e o processo, para supervisão e controle.

Estão previstos para esta UHE, as seguintes UAC's:

- Uma UAC para a unidade 1.

- Uma UAC para a unidade 2.
- Uma UAC para a subestação de manobra.
- Uma UAC para os serviços auxiliares.

O SMCD é constituído pela rede de comunicação e pelos seguintes níveis de controle:

O primeiro nível, junto ao processo, é constituído por unidades de aquisição e controle (UAC), responsáveis pela interface do SMCD com o processo e com outros dispositivos digitais dedicados. São totalmente independentes, física e funcional, dos demais módulos, de modo que continuarão em funcionamento mesmo na ausência da unidade de controle central (UCC).

Serão responsáveis pelas seguintes funções:

- Interface com o processo.
- Tratamento dos sinais de entrada.
- Tratamento dos sinais de saída.
- Autodiagnóstico.
- Intercâmbio de informações com o nível hierárquico superior.
- Comunicação com outros dispositivos digitais.
- Integração com a proteção dos equipamentos.
- Execução de cálculos.
- Processamento de alarmes.

Execução de automatismos, incluindo: controle de ajuste (set-point) da frequência de referência, da potência de referência, da tensão de referência, comando de equipamentos, partida, sincronização e carregamento da unidade, parada da unidade e outros automatismos que o FORNECEDOR julgue importante para a operação e manutenção da usina.

O segundo nível, na sala de controle central, é constituído pela Unidade de Controle Central (UCC), composta pelos seguintes módulos:

Módulo de operação, responsável pela interface homem-máquina (IHM), deve ser equipado com mouse, monitor de vídeo, teclado funcional e teclado alfa-numérico padrão e impressoras.

Deverão ser realizadas neste nível, as seguintes funções mínimas de operação, monitoração e configuração:

Em Terminal de Vídeo - apresentação de diagramas sinóticos em telas gráficas de alta resolução, estados dos equipamentos, valores de grandezas (tensão, corrente, potência, etc.), operação dos equipamentos do processo, monitoração e gerenciamento de alarmes, entrada manual de parâmetros de ajustes de valores de referência (set-point), gráficos de tendências históricas e instantâneos e diagnóstico de equipamentos do processo.

Em Impressora -eventos, alarmes, relatórios e cópias.

Módulo de controle, responsável pelas seguintes funções:

- Processar os algoritmos de controle da instalação, incluindo controle conjunto
- De potência ativa e reativa, controle de nível do reservatório e controle da vazão de água turbinada.
- Manter intercâmbio de informações com os demais módulos do SMCD.
- Enviar comandos ou ajustes de referência (set-point) para os equipamentos, através das UACs;
- Receber comandos ou ajustes de referência proveniente do módulo de operação ou do módulo de comunicação.
- Executar outros algoritmos de controle.

Deverá haver previsão para instalação futura, do módulo de comunicação, responsável pela comunicação do SMCD com outros sistemas de monitoração e controle, hierarquicamente superiores, através de MODEM e protocolos que atendam os requisitos da norma IEC 870, aplicáveis na ocasião, em sua última revisão.

- **Rede de Comunicação**

A rede de comunicação, padrão ETHERNET, será constituída por barramento de alta velocidade, formando um canal de comunicação rápido, seguro e confiável, entre os diversos módulos do SMCD.

A rede será constituída por meio de cabos em fibra ótica e realizará as seguintes funções:

- conexão física e lógica entre os módulos do SMCD.
- integração funcional entre os módulos.

O SMCD deverá ter referência de aplicação similar, contendo a configuração da usina, configuração do SMCD e certificado fornecido pelos clientes, anexados a proposta.

Deverão ser incluídos, no escopo, treinamento, testes na fábrica e no campo e colocação em operação (comissionamento).

Deverá ser incluído no fornecimento o “no break” para alimentação de todo o SMCD, para um período mínimo de 20 minutos, em caso de falta de energia na usina.

Deverão ser fornecidas todas as facilidades para interligação ao processo, como: régua de bornes, proteção contra surtos, relés de interposição e demais dispositivos requeridos pelo sistema ofertado.

1.4 NORMAS DE FABRICAÇÃO

Todos os equipamentos deverão ser projetados, fabricados e ensaiados em conformidade com as Normas pertinentes da ABNT ou qualquer outra norma internacionalmente aceita.

1.5 REQUISITOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS

1.5.1 Conjunto de Manobra de 6,9kV

- Geral

Os equipamentos elétricos, objeto deste fornecimento, deverão suportar, sem se danificar, todas as solicitações térmicas e dinâmicas devido às correntes de carga e de curto-circuito, em perfeita coordenação com o sistema de proteção.

O conjunto de manobra, contendo os equipamentos de 6,9kV, deverão ser construído e montado na Fábrica, e testado de acordo com as exigências da Norma NBR 6979 da ABNT.

- Características Construtivas

a) Geral

Os cubículos deverão ser construídos em chapas de aço carbono com espessura não inferior a 2,65 mm (chapa 12 USG) para a estrutura ou 1,9 mm (chapa 14 USG) para as repartições.

O raio de curvatura das dobras deverá ser inferior a 3 mm. A superfície de qualquer chapa, com todos os equipamentos instalados não deve apresentar desvios superiores a 2 mm em relação a um plano teórico. A estrutura dos cubículos deverá ser suficientemente rígida de forma a evitar a flambagem sob os esforços decorrentes da instalação dos equipamentos e manuseio para transporte e instalação.

Os cubículos deverão ser providos de meios para alívio de sobrepressão interna, no caso de arco interno e não deverão se deformar por sobrepressão em decorrência destes arcos, de tal forma a não acarretar perigo aos operadores nas suas proximidades.

O grau de estanqueidade do conjunto deverá ser IP40, conforme a NBR 6146.

As portas dos cubículos deverão ser providas de dobradiças, fechos e maçanetas com fechadura de segurança.

Todas as portas devem ter abertura superior a 105 graus com batente na posição totalmente aberta.

Quando a porta estiver fechada, seu contorno não deve apresentar fendas superiores a 3 mm e desvio máximo de 2 mm. Mesmo com as portas abertas, não deverá ser possível tocar acidentalmente partes sob tensão.

Os cubículos serão instalados sobre o piso e assentados em bases de concreto nivelados, com desvio máximo em relação a um plano teórico de 5 mm, fixados com chumbadores. Todos os dispositivos necessários à correta fixação dos cubículos à sua base deverão ser fornecidos pelo Fabricante do conjunto de manobras e controle.

O acesso de cabos deverá ser feito pela parte inferior. Facilidades para conexão dos cabos de força deverão ser fornecidas. Multi-condutores por fase poderão ser utilizados.

Os invólucros e outras partes metálicas, exceto partes vivas, deverão ser convenientemente interligadas ao sistema de aterramento. Para tal, deverão ser previstas barras de cobre para aterramento dos cubículos, com dimensões mínimas de 6 mm por 25 mm ao longo da parte inferior dos mesmos e aparafusadas ao invólucro, de modo a assegurar um bom contato elétrico. Nas extremidades de cada seção da barra de terra, deverão ser fornecidos conectores apropriados para cabos de cobre de 25 a 70 mm².

Os equipamentos, instrumentos e dispositivos de controle deverão ser arranjados de modo a facilitar a leitura, a operação, a manutenção e manter a boa estética.

Não serão aceitos furos, irregularidades ou solda nas partes visíveis dos cubículos. O acesso a qualquer componente deverá ser possível sem necessidade de remover qualquer aparelho ou acessório.

Os cabos deverão estar de acordo com as normas NBR 6880 e NBR 7289 e 7290 e demais normas aplicáveis, devendo a seção transversal ser de, no mínimo, 1,5 mm² nos circuitos de controle e 2,5 mm² nos circuitos secundários de transformadores de corrente. A tensão nominal de isolamento da fiação de controle deverá ser 750V e suportar, no mínimo, 2,5 kV - 60Hz durante um minuto. Deverão ter, no mínimo, encordoamento classe 2 para a fiação geral e classe 4 quando for necessária a passagem da parte fixa do painel para partes móveis.

b) Fiação

A fiação deverá ser alojada em canaletas. Onde não for possível, os fios e cabos deverão ser agrupados em chicotes compactos, adequadamente amarrados e suportados, estendidos em linha reta tanto quanto possível, horizontal e verticalmente, com curvas em ângulo reto de pequeno raio, porém nunca inferior ao raio mínimo de qualquer cabo integrante do chicote.

Não será admitida nenhuma emenda de cabos entre os terminais dos equipamentos e as régua de terminais. Todos os condutores deverão ser identificados de acordo com os terminais a serem conectados.

As conexões com os equipamentos ou com os blocos de terminais deverão ser executadas com terminais pré-isolados. Não serão permitidas duas ou mais conexões por terminal nos blocos de terminais, devendo ser utilizados conectores separados interligados por meio de ponte interna e não no local para conexão dos condutores.

Não serão aceitos terminais nos quais os parafusos de fixação entrem em contato direto com os condutores, nem terminais que prendam os condutores por pressão de molas. Todos os condutores ligados ao secundário de transformadores de corrente deverão ser levados a terminais que disponham de facilidades para curto-circuitar e aterrar, com segurança, os referidos circuitos, durante operação normal do sistema.

Em cada régua de bornes, os condutores deverão ser agrupados por nível de tensão, sendo os conjuntos de bornes de mesmo nível separados por barreira separadora.

Em cada bloco de terminais deverão ser previstos conectores de reserva com um mínimo de 20%, porém nunca menos que 5 unidades. Os blocos terminais para interligações externa deverão ser de poliamida 6,6 (nylon) adequados às seções dos cabos dos respectivos circuitos, próprios para 600V e identificados de maneira clara e indelével com o tempo.

c) Plaquetas de Identificação

As plaquetas de identificação dos equipamentos deverão ter seus dizeres aprovados previamente.

d) Barramentos

Os barramentos deverão ser de cobre eletrolítico com seção adequada aos valores de corrente nominal e curto-circuito aplicável a cada caso. Devem ser isolados com fitas termo-contráteis.

e) Elevação de Temperatura

A elevação de temperatura do ar no interior dos cubículos, com todos os equipamentos energizados na potência nominal, não deve exceder a 15°C a uma distância máxima de 20 mm de qualquer equipamento. Recomenda-se não prever dissipação superior a 120 W/m² de superfície externa do cubículo.

f) Pintura

O PROPONENTE deverá anexar à sua proposta o seu processo padronizado para tratamento de chapas e pinturas. Deverão ser consideradas as definições da NBR 11398.

g) Acessórios

Todos os cubículos deverão ser dotados de resistências anticondensação controladas por termostatos ajustáveis de 10 a 32°C. Deverão ser dotados de tomadas monofásicas e lâmpadas incandescentes comandadas por chaves fins-de-curso de portas.

1.5.2 Painéis de Proteção e Controle

Os painéis deverão ser modulares e conter em suas portas frontais, botões manoplas, visores dos instrumentos digitais ou analógicos e lâmpadas, que forem julgadas necessárias para a operação da unidade “passo a passo”.

Os cubículos deverão alojar os dispositivos necessários a implementação de todas as suas funções.

1.5.3 Disjuntores de 6,9kV

Os disjuntores das máquinas deverão ser tripolares, a vácuo ou SF6, intercambiáveis para instalação em cubículos metálicos, extraíveis e adequados à aplicação. Não serão aceitos disjuntores a óleo.

Deverão ser projetados, fabricados e ensaiados conforme a última edição da norma NBR 7118.

Os disjuntores deverão ter as seguintes características nominais:

- Tensão nominal	6,9 kV
- Nível de isolamento	7,2kV
- Frequência nominal	60 Hz
- Corrente nominal mínima	800A
- Corrente nominal de interrupção simétrica mínima	15 kA
- Corrente de curta duração	15kA

O mecanismo de operação deverá ser do tipo energia acumulada a mola com disparo livre mecânica e eletricamente.

O mecanismo deverá acionar os três pólos simultaneamente, devendo a energia acumulada nas molas suficiente para executar uma sequência completa “O-CO”.

O mecanismo de operação deverá ser provido com dispositivos antibombeamento e disparadores de fechamento e abertura.

O motor de carga da mola de fechamento deverá ser alimentado em 380 Vca. Para o caso de falta de tensão auxiliar, o mecanismo deverá ser provido de meio para carregar manualmente a mola de fechamento.

Deverão ser dotados com dispositivos de extração, com posições em operação, em teste, extraída e removida, devidamente sinalizadas.

O dispositivo de extração deverá ser dotado de intertravamento mecânico que impeçam movimentar o disjuntor no cubículo com os contatos principais fechados.

Não deverá ser possível fechar os disjuntores das unidades geradoras sem se satisfazer as condições de intertravamento elétrico.

Os acessórios mínimos de cada disjuntor deverão ser:

- Indicação mecânica de posição (Aberto/fechado).
- Indicação de mola carregada.
- Chaves de contatos auxiliares.

- Carrinho e dispositivos necessários à extração do disjuntor (1 jogo para cada tipo de disjuntor).

1.5.4 Sistema de Proteção

a) Generalidades

As funções de proteção podem ser feitas por meio de relés estáticos ou digitais. Independentemente do tipo, deverão apresentar as seguintes características:

Adequados para montagem semi-embutida em painéis metálicos. As conexões elétricas (terminais) deverão ser executadas na parte traseira.

Tropicalizados e resistentes à corrosão, com características garantidas de funcionamento à temperatura ambiente de 5 a 55 graus Celsius e com umidade relativa de 95%. Deverão ser testados de acordo com norma pertinente da ABNT ou com a IEC 68-30.2.

Montados em caixa com parte frontal removível e transparente. Com a tampa inserida, deverão apresentar grau de proteção mínimo IP43, conforme a ABNT NBR 6164.

Extraíveis e dotados de plugue adequado a isolar e permitir testes nos mesmos.

A operação individual de cada função, deverá ser sinalizada por bandeirola ou led de rearme manual.

Deverá ser dotado de indicação da presença de tensão auxiliar interna por meio de led, onde aplicável.

Os relés deverão ser providos de, além de contato para desligamento, um contato separado para cada função. Caso seja necessário a instalação de relés auxiliares para fornecer estes contatos livres, estes não deverão apresentar atraso superior a 3 ms em relação ao contato principal de desligamento. Estes contatos auxiliares deverão apresentar a característica de uso para alarme.

Os contatos dos relés, para as funções de desligamento e alarmes, deverão ter capacidade de acordo com a presente aplicação. O tempo de vibração deverá ser inferior a 2 ms.

Os componentes de ajustes dos parâmetros, tais como potenciômetros e chaves, deverão ser instalados na parte frontal. Os ajustes referentes à lógica e seleção de faixa das

grandezas, por exemplo tensão auxiliar, os quais normalmente não são sujeitos a alterações, podem permanecer na parte interna do relé. No entanto deverão ser acessíveis com a extração do relé e claramente identificadas.

O teste do relé deverá permitir a verificação dos ajustes e da operação com o relé instalado na caixa e removido, junto com cada tipo de relé deverá ser fornecido um plugue de testes, onde aplicável.

Caso seja adotado o sistema do relé estático digital além das características acima deve apresentar as seguintes:

- Auto-supervisão e monitoramento.
- Comunicação remota dos dados de falta para o registro de eventos.
- Sinalização local de operação e de supervisão.
- Indicação por meio de visor, de todas os valores analógicos atuais das grandezas de entrada, tais como correntes, tensões e outros, bem como os seus valores compostos, tais como: ângulo ou fator de potência entre as grandezas, e outros.
- Contatos livres de potencial indicando individualmente as ocorrências dos seguintes eventos: operação do Relé, falha do Relé; memória de oscilografia cheia, falta nos fusíveis.
- Contatos livres de potenciais para os dois circuitos de desligamento do disjuntor e para iniciar o sistema de falha de disjuntor.

O sistema de proteção será constituída das funções apresentadas no diagrama Unifilar ACA-BS-05-701.

As funções de proteção podem ser desempenhadas por relés segregados ou por relés multifunções.

A alimentação de corrente contínua para o sistema de proteção terá origem no sistema de corrente contínua, e na entrada do cubículo deverão ser previstos fusíveis com características adequadas a proteger os circuitos alimentados. No ponto mais remoto dos circuitos de proteção deve ser previsto um relé detector de tensão CC no circuito.

Para cada tipo de parada da unidade geradora, com e sem rejeição de carga, serão providos relés de bloqueio com rearme manual. Esses tem como função abrir o disjuntor da

máquina, fechar o distribuidor e retirar a excitação da unidade. Qualquer sinal de desligamento deve ser sinalizado individualmente, seja pelos relés bandeirolos seja pelo sistema de alarmes.

b) Características Principais das Funções de Proteção

- Proteção diferencial do gerador, para proteção contra defeitos entre fases (87G)

Ajuste da corrente mínima de atuação entre 5 e 20% da corrente nominal e com tempo de operação inferior a 30 ms para corrente de 4 vezes o valor de ajuste. Provido com sistema de estabilização para compensar desequilíbrios dos TC's e a componente contínua.

- Proteção contra perda de excitação (40)

Esta proteção deve ter capacidade de detectar elevada corrente indutiva requerida pelo gerador em função de reduzida ou mesmo nula corrente de excitação, e de emitir comando de desligar a unidade. O alto valor de potência indutiva deve, em primeira instância, provocar alarme e atuar no regulador de excitação no sentido de sanar o problema, se após tempo ajustável entre 1 e 20 segundos ainda persistir o alto valor de potência reativa ou a tensão nos terminais do gerador atingir valor ajustável entre 60 e 90% da nominal, esta proteção emite sinal de desligamento da unidade. Ocorrendo deslizamento da unidade esta proteção emite sinal de desligamento após o 5º deslizamento.

- Sobrecorrente com restrição de tensão (51V)

Esta proteção de sobrecorrente trifásico com tempo dependente da corrente e inversamente a tensão, deve apresentar os seguintes ajustes:

Corrente de operação com 100% Vn.....	1 a 8 A
Fator de tempo.....	0,1 a 1 segundos
Fator de tensão com 25% de Vn.....	4

O fator de tensão 4 significa que o tempo de operação com 25% da tensão nominal é igual a t/4 do valor de operação com mesmo valor de corrente e com 100% de tensão.

- Sobretensão (59)

Proteção de sobretensão trifásica, contendo uma função temporizada e outra instantânea, com os seguintes ajustes:

Tensão..... 80 a 150% de V_n

Tempo (função temporizada).....1 a 10 segundos

O sinal de desligamento ocorre somente com atuação das três unidades de medição e após tempo ajustado, para a função temporizada.

- Sobrefrequência (81)

Proteção, com ligação entre fases e com dois valores de ajuste de frequência, de tempo independente com seguintes valores de ajustes:

Frequência60 a 80 Hz

Tempo1 a 30 segundos

As unidades detectoras de frequência devem operar corretamente na faixa de tensão entre 20 e 120% de tensão nominal.

- Sequência Negativa

Esta proteção com capacidade de detectar corrente de sequência negativa, numa primeira etapa dá alarme, e numa segunda, desligamento da unidade.

As faixas de ajuste das unidades são:

Para alarme:

corrente de sequência negativa.....3 a 9%

tempo.....5 a 10 segundos

Para desligamento:

corrente de seqüência negativa.....5 a 15%
temporização com tempo dependente como fator $K = I^2 t$ igual a 40

• Diferencial do transformador elevador (87T)

A proteção será provida com meios para compensar o desequilíbrio das correntes secundárias, na faixa de 2,5 a 8,7, assim como a compensar o ângulo de fase da corrente.

O sistema de medição terá um elemento com restrição percentual e bloqueio ou restrição para harmônicos de ordem 2, e outro elemento instantâneo operado somente pela corrente diferencial, com as seguintes características principais:

- Elemento instantâneo

- Faixa de ajuste de corrente (I_a)..... 8 a 20 I_n

- Tempo de operação para $I \geq 3 I_a$ < 30 ms

- Elemento de restrição percentual

- Faixa de ajuste de corrente (I_a)..... 0,2 a 0,5 I_n

- Faixa de ajuste de percentual de restrição.....10 a 40%

- Restrição para 2 harmônico em relação a fundamental.....10 a 40%

- Tempo de operação para $I \geq 4 I_a$ < 50ms

• Sobrecorrente do neutro do transformador elevador (51N)

Esta proteção será aplicada na proteção do transformador elevador, contra faltas para a terra, externas ao gerador.

Faixa de ajuste de corrente.....0,1 a 1,0 I_n

Característica de tempo:.....muito inverso

- Proteção diferencial do gerador para defeitos entre fase e terra (87GN)

Esta proteção deve ser do tipo detecção de corrente, feita por meio de tensão aplicada numa alta impedância.

Esta proteção se aplica, se a contribuição do gerador, para defeito para terra nos seus terminais, for limitada a valores menores do que a sua corrente nominal.

Tipo diferencial de alta impedância

corrente nominal1 A

tempo de operação.....instantâneo

- **Relés auxiliares**

Geral

Os relés auxiliares devem atender às exigências da NBR 7100 e demais relevantes. A capacidade dos contatos deve ser compatível com os seguintes requisitos do circuito.

Corrente térmica

Corrente de curto circuito passante (com contato fechado) e de fechamento corrente de interrupção.

Os requisitos acima serão demonstrados por memória de cálculo da coordenação de sobrecorrente do circuito.

Os relés devem ser extraíveis, com montagem em base de sobrepor ou em racks (caixa), com nível de isolamento de 500V - série C - dos contatos para massa e entre si, e para a bobina. Os terminais, com parafusos imperdível, são adequados a receberem duas conexões de condutor de 1,5 mm² com terminal do tipo agulhas, garfo ou olhal.

A tensão de alimentação está compreendida entre 100V e 137,5Vcc, e nesta faixa a bobina deve operar corretamente, sem que implique em elevação média de temperatura superior a 80% do valor previsto para a classe de isolamento, seja com operação intermitente ou contínua.

• **Relés para uso geral**

Para a multiplicação dos contatos, segregação de circuitos e intertravamentos, onde o requisito de tempo não é primordial para a aplicação, serão usados relés auxiliares denominados de uso geral.

A fim de facilitar os testes estes relés são atuados mecanicamente pela parte frontal. Além dos requisitos gerais descritos no item atendem também as seguintes características:

- Tempo de operação.....< 60 ms
- Tempo máximo de repique.....6 ms
- Consumo máximo.....10W
- Quantidade mínima de contatos.....6
- Capacidade dos contatos.....1 A
- Classe de serviço.....contínua
- Vida mecânica mínima50. 000.000 operações
- Grau de proteção.....IP 40
- Caixa.....IP 30
- Terminais.....IP 10

• **Relés temporizados para uso geral**

Para a temporização em circuitos de alarme e sinalização devem ser usados relés temporizados que atendam as seguintes características.

- Faixa de ajuste de tempo..... conf. aplicação
- Precisão de escala..... $\pm 10\%$
- Receptibilidade..... $< \pm 1.5\%$
- Classe de serviço.....contínua
- Capacidades dos contatos1 A
- Vida mecânica mínima..... 50×10^6

- Quantidade de contatos.....2

Relés temporizados, em circuito de proteção, além de atender aos requisitos gerais, devem também atender aos seguintes requisitos:

- montagem em base de sobrepor ou em rack, sendo o Relé extraível.
- bandeirola de operação, onde requerido.
- faixa de ajuste de tempo, conforme aplicação.
- previsão de ajuste de escala..... $\pm 5\%$
- receptibilidade..... $<1.0\%$
- tempo de restabelecimento ou operação..... $<50\text{ms}$
- classe de serviço.....contínua
- vida mecânica..... 10×10^6
- capacidade dos contatos conforme.....1 A
- quantidade mínima dos contatos..... 2

• **Relés biestáveis**

Para aplicações onde os contatos auxiliares de um dispositivo de duas posições estáveis, tais como seccionadoras e disjuntores, válvulas, necessita ser multiplicados, a solução de relés biestáveis pode ser aplicada desde que atenda aos requisitos enumerados para os relés de uso geral e os demais abaixo:

- Quantidade mínima de contatos 7NA e 7NF.
- Se as bobinas consumirem mais de 7W, em série com as bobinas devem ser providos contatos de interrupção da corrente.
- A mudança de posição dos contatos somente pode ocorrer com a energização da bobina correspondente.

Esses relés também serão usados como Relé de bloqueio caso seja exigido o restabelecimento remoto.

• **Relés de bloqueios**

Para impedir, após a ocorrência de faltas, comandos e manobras de fechamento dos disjuntores e partida das unidades geradoras serão usados relés de bloqueio com rearme manual, no intuito de forçar o operador a tomar conhecimento do problema e só restabelecê-lo com as condições operativas satisfeitas.

Com o relé operado e o sinal de operação presente, o restabelecimento do relé deve ser impedido.

A utilização de relés auxiliares para multiplicar contatos destes relés não será aceita.

Em decorrência do alto valor de corrente requerido par operar estes relés, em série com a bobina de operação deve ser provido com contato de interrupção de corrente e em paralelo com a bobina supressora de surtos.

Além dos requisitos gerais devem atender aos seguintes requisitos:

- Tempo máximo de operação.....10 ms
- Quantidade mínima de contatos.....10NF e 4NA
- Vida mecânica.....10.000.000 de operações
- Grau de proteção..... IP 40
- Caixa.....IP 30
- Terminais.....IP 10

O limite de elevação de temperatura dos enrolamentos deverá levar em consideração a temperatura interna dos cubículos.

1.5.5 Transformadores Elevadores

- **Geral**

Os transformadores elevadores de potência deverão atender aos geradores em todos os seus pontos de operação, dentro das condições mais adversas de temperatura e insolação. O transformador deverá ter o primário ligado em delta, com tensão nominal compatível com a do gerador, o secundário deverá ser ligado em estrela, com o neutro solidamente aterrado.

O transformador deverá suportar sobrefluxos devidos a sobrevelocidades do gerador, por ocasião de rejeição de cargas pela unidade geradora. Na definição técnico-econômica do transformador, será considerada a contabilização das perdas.

O transformador deverá ser capaz de fornecer potência nominal, em qualquer derivação, com um radiador fora de serviço, sem que as elevações máximas de temperatura, acima da temperatura ambiente de 40°C, ultrapassem os seguintes limites em regime contínuo.

Média de cada enrolamento, medido pelo método da variação de resistência	65°C
Ponto mais quente dos enrolamentos	80°C
Óleo isolante, medido por termômetro, perto do topo do tanque	65°C
Partes metálicas em contato ou adjacentes à isolação	80°C

Os transformadores deverão ser projetados, fabricados e testados de acordo com as Normas pertinentes da ABNT ou IEC, levando-se em consideração a aplicação presente, principalmente quanto à capacidade de suportar sobrefluxos.

O transformador elevador deverá ter as seguintes características principais:

- **Tipo**

- ONAN/ONAF

- Potência nominal com ventilação forçada.....17780 kVA

- Tensão nominal do primário.....6,9.kV

- Tensão nominal do secundário.....138 kV

- Nível de Isolamento a 60 Hz, kV eficaz:

- primário	7,2 kV
- secundário	138 kV
- Neutro	7,2 kV

Tensão suportável nominal de impulso atmosférico dos enrolamentos:

- primário (crista): pleno.....	95 kV
- cortado.....	110 kV
- secundário (crista): pleno.....	50 kV
- cortado.....	750 kV
- neutro (crista).....	95 kV

Tensão suportável nominal a frequência industrial, um minuto, kV eficaz:

- primário.....	26 kV
- secundário.....	275 kV
- neutro.....	26 kV

1.5.5.1 Requisitos de Curto-Circuito

O transformador deverá ser capaz de suportar sem avarias as solicitações mecânicas e térmicas, causadas pelas correntes de curto-circuito externas, estabelecidas no item 5.5 da Norma NBR-5356 da ABNT.

1.5.5.2 Níveis de Ruído Audível

O nível de ruído audível produzido por um transformador, operando à tensão e à frequência nominais, deverá ser em conformidade com a tabela 22 da NBR 5356.

1.5.5.3 Nível de Tensão de Rádio - Interferência

O nível de rádio-interferência produzido por um transformador, energizado com 110% da tensão máxima do equipamento, não deverá ultrapassar a 2.500 micro volts.

1.5.5.4 Ligações e Deslocamento Angular

O transformador deverá ter seus enrolamentos primários e secundários ligados em triângulo estrela, com deslocamento angular YNd1.

- **Acessórios**

Transformador trifásico completo, provido de todos os acessórios relacionados na tabela 12, da Norma NBR-5356, da ABNT.

1.5.6 Baterias e Carregadores

a) Escopo do Fornecimento

O fornecimento compreende a entrega de 1 (um) conjunto de Baterias estacionárias e os carregadores-retificadores, completos, com todos os seus pertences e acessórios, incluindo ainda:

- Estantes para instalação do Banco de Baterias.
- Caixa de apetrechos contendo no mínimo o seguinte:
 - 1 (um) densímetro do tipo Seringa.
 - 1 (um) termômetro.
 - 1 (um) dispositivo apropriado para enchimento dos elementos (funil).
 - 1 (um) voltímetro portátil, digital, classe de exatidão 1%.

b) Desenhos e Dados a serem Apresentados com a Proposta

A proposta de fornecimento deverá conter, no mínimo, o seguinte:

- Especificação completa e detalhada do fornecimento, inclusive relação de acessórios.
- Alternativas à Especificação Técnica (se necessário).
- Termo de garantia.
- Desenhos de arranjo e dimensões principais.

1.5.6.1 Características Elétricas

- **Características do Sistema de Corrente Contínua**

O sistema de corrente contínua é composto de um conjunto de bateria de acumuladores e dois carregadores-retificadores , sendo um reserva do outro e que alimentam o barramento do quadro de distribuição geral de 125 Vcc. As características principais deste sistema são:

- ciclo de descarga 8 horas
- tempo de recarga.....10 horas
- tensão nominal.....125 V
- tensão máxima junto a carga137,5 V
- tensão mínima junto a carga.....100 V

- **Características das Baterias de Acumuladores**

O conjunto de baterias de acumuladores deverá ter as seguintes

características:

tipochumbo-ácida

Valores operacionais no barramento de operação:

- tensão nominal.....125 V

- tensão máxima.....	139,8 V
- tensão mínima.....	105 V
- capacidade nominal	320 Ah/10h
- número de elementos.....	60
- tensão final de descarga.....	1,75 V
- tensão de equalização.....	1,33 V

A capacidade nominal da bateria deve ser confirmada pelo FORNECEDOR, levando-se em consideração que o sistema de excitação inicial, de cada gerador, vai ser alimentado pelo sistema de corrente contínua.

As baterias de acumuladores deverão ser projetadas, fabricadas e ensaiadas, conforme a norma NBR-5350 e demais normas ABNT aplicáveis.

• **Características dos Carregadores-Retificadores**

O carregador-retificador deverá Ter as seguintes características:

- tensão nominal de entrada.....	380 Vca
- frequência nominal.....	60 Hz
- tensão nominal de saída.....	125 Vcc
- tempo de carregamento da bateria.....	10 horas
- capacidade.....	50 A
- controle de tensão.....	automático
- sistema de resfriamento.....	natural
- regime de serviço.....	contínuo
- rendimento.....	=> 85 %

Os carregadores-retificadores terão a função de manter a bateria de acumuladores em regime de flutuação e a operação de carga mais profunda.

Deverá ser do tipo estático, para serviço contínuo, deverão possuir elemento retificador de onda plena, de diodos de silício, modulados, removíveis, com regulação automática de tensão.

A tensão de saída do carregador, em regime de flutuação e em equalização, deverá manter-se na faixa de 1 % do valor ajustado, para variação da tensão e da frequência de entrada na faixa de 10 % e 2 %, respectivamente, e para variação de 100 % da carga nominal.

Os diodos deverão ser capazes de suportar, na sua temperatura normal de serviço e durante os períodos normais de corte, uma tensão de pico inverso igual a 2,5 vezes a tensão normal de operação. Os diodos deverão ser equipados com dissipadores de calor.

O carregador deverá ser fornecido com uma chave seletora de três posições, flutuação, equalização e manual. Em flutuação o carregador deverá manter a bateria em flutuação e fornecer a corrente de consumo das cargas, com correções de tensão e corrente, efetuadas automaticamente. Em equalização o carregador deverá efetuar a equalização no período de tempo desejado, retornando automaticamente ao regime de flutuação, no fim do período de equalização. Em manual, as operações de regulação de tensão de saída, poderão ser efetuadas pelo operador.

Deverá ser previsto proteção contra descarga da bateria através do retificador, em caso de ocorrência de falta de tensão de alimentação e retomada automática ao regime de carga, com o restabelecimento da tensão de alimentação. Deverão ser fornecidas proteções contra aplicação inadequada de polaridade da bateria e detector de falta para terra.

O Carregador deverá possuir limitador de corrente que deverá ser ajustável entre 10% e 110% da corrente nominal de saída. Além do ajuste da corrente de saída, deverá ter dispositivos para oferecer autoproteção em sobrecargas e faltas, indiferentes da tensão terminal. Deverá ser capaz de ser indefinidamente curto-circuitado, sem danos, indiferente às condições de entrada. Após a eliminação da falta ou sobrecorrente externa, deverão retornar automaticamente à operação.

Os carregadores-retificadores deverão ser projetados, fabricados e ensaiados, conforme a norma NBR-9112 e demais normas ABNT aplicáveis.

Os carregadores deverão ser protegidos contra surtos de tensão, na entrada de

CA e na saída de CC, e demais pontos de ligação externa, de acordo com norma ABNT pertinente.

1.5.6.2 Características Construtivas

- **Geral**

O fornecedor deverá mencionar em sua proposta, que garante as baterias contra as seguintes falhas:

- Escape de gases corrosivos.
- Explosão dos elementos.
- Vazamento de eletrólitos.
- Curto-circuito interno.

- **Baterias de Acumuladores**

Recipientes dos elementos – os recipientes dos elementos deverão:

- Ser de plástico transparente.
- Suportar continuamente a temperatura de 45°C no eletrólito.
- Ser resistente aos choques mecânicos provenientes do manuseio e transporte.
- Possuir marcação clara dos níveis máximo e mínimo do eletrólito.
- Possuir espaço de sedimentação suficiente para que não haja necessidade de se limpar os elementos durante sua vida normal.

- **Tampas dos recipientes – as tampas dos recipientes deverão:**

- Possuir dispositivo que permita o escapamento dos gases mas impeça a penetração de chama no interior do elemento (válvula anti-chama).

- Possuir um furo para introdução de densímetro, termômetro ou complementação do nível do eletrólito.
- Serem resistentes para sustentar o peso das placas e separadores.

- **Conexões e conectores**

O Banco de Baterias deverá ser acompanhado de um jogo completo de conexões para interligar os elementos, acrescido de 10% como reserva.

Os terminais dos cabos deverão ser retangulares, de ampla área de contato para interligar os elementos. Deverão ser adequados para resistir à ação do eletrólito.

A polaridade deverá ser indicada claramente e de forma permanente na parte superior, próxima aos terminais de cada elemento.

Todos os parafusos, porcas e conectores utilizados nas conexões deverão ser resistentes à ação do eletrólito.

- **Eletrólito**

O FORNECEDOR deverá prover eletrólito suficiente para o primeiro enchimento e ainda 5% de reserva. O eletrólito deverá satisfazer os seguintes requisitos:

- deverá ser de mistura de ácido sulfúrico com água destilada, adequado para o primeiro enchimento. O FORNECEDOR deverá indicar a densidade específica do eletrólito a 25°C e a densidade ao final da descarga;
- a pureza e a densidade específica do eletrólito com o elemento completamente carregado deverão ser indicadas pelo FORNECEDOR;
- eletrólito deverá ser fornecido e embalado em recipientes inquebráveis de 25 litros ou mais, com as anotações para transporte, conforme as normas pertinentes;
- os recipientes do eletrólito deverão ser claramente marcados com a densidade específica, referida a 25°C.

- **Estantes**

- Geral**

- As estantes deverão ser de aço, em dois níveis e duas fileiras. Os isoladores utilizados deverão assegurar uma resistência de isolamento, entre o Banco de Baterias e o solo, igual ou superior a 50.000 ohms.

- **Proteção anticorrosiva**

- A proteção anticorrosiva das estantes deverá atender os requisitos descritos nas normas NBR-7348 e MB-985 DA abnt.

- **Carregadores-Retificadores**

- Os componentes eletrônicos do dispositivo de regulação automática deverão ser montados em um único chassi com invólucro protetor facilmente removível.

- As ligações elétricas deverão do tipo plug-in.

- O carregador deverá ser montado em um cubículo constituído por chapas de aço soldadas, dotado de porta frontal. O cubículo deverá ser do tipo auto-sustentável, com saídas para os cabos externos pela parte inferior. Na porta do cubículo deverão ser instalados os instrumentos e dispositivos de controle e sinalização.

- O carregador deverá ser fornecido com disjuntor tipo caixa moldada, na entrada da alimentação de corrente alternada, limitadores de corrente com proteção contra transitórios.

- As características aplicáveis descritas para blocos terminais, cablagem, fiação e acessórios, aplicam-se ao carregador.

- Deverá ser instalado na parte inferior do cubículo, um conector de aterramento adequado a cabo de cobre bitola 1/0 AWG.

- Deverão ser instalados dispositivos de sinalização luminosa na parte frontal do cubículo, para falha nos circuitos de disparo dos tiristores e fusíveis interrompidos.

- O cubículo deverá ser equipado com os instrumentos de medição indicados no diagrama unifilar dos serviços auxiliares de corrente contínua ACA-BS-05-703.

- O cubículo deverá ser provido com uma placa de identificação, em aço inoxidável,

contendo no mínimo as seguintes informações:

- Nome do fabricante.
- Local e data de fabricação.
- Número de série.
- Tipo de carregador.
- Tensão nominal.
- Frequência nominal.
- Número do circuito de alimentação.
- Número de elementos e capacidade da bateria a qual está ligado.
- Faixa de ajuste da tensão de flutuação.
- Faixa de ajuste da tensão de equalização.
- Faixa de ajuste da corrente de saída, em percentagem da corrente nominal.
- Fator de ondulação máxima nos terminais de carga.

1.5.7 Equipamentos da Subestação de 138 kV

a) Escopo do Fornecimento

Estão incluídos no fornecimento os seguintes equipamentos para a subestação de 138 kV:

- Disjuntor.
- Chave seccionadora, com lâmina de terra.
- Transformadores para instrumentos.
- Pára-raios.

1.5.7.1 Disjuntor de 138 kV

a) Características Elétricas

O disjuntor de 138 kV deverá ter as seguintes características:

- Quantidade.....1
- Instalação.....ao tempo
- Tipo.....gás SF6
- Tensão do sistema.....138 kV
- Frequência..... 60 Hz
- Corrente nominal.....200 A
- Seqüência de operação.....CO-15 s-CO
- Capacidade de interrupção simétrica.....20 kA
- Capacidade de fechamento.....50 kA
- Corrente de curta duração.....20 kA

Tensão suportável a frequência industrial (1 min):

- fase-terra335 kV
- entrada-saída.....335 kV
- distância de abertura.....335 kV

Tensão suportável a impulso atmosférico (crista):

- fase-terra.....650 kV
- entrada-saída.....650 kV
- distância de abertura.....650 kV

• Características Construtivas

Geral

Os disjuntores deverão ser tripolares e seus contatos principais deverão ter capacidade térmica adequada a seqüência de operação especificada.

Deverão ser projetados e construídos de modo que, quando operando dentro das características nominais, a temperatura permaneça dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR-7118 da ABNT e suas buchas deverão satisfazer o estabelecido na norma NBR-5034, da ABNT.

• Mecanismo de Operação

O disjuntor deverá ser fornecido com o mecanismo de operação do tipo com energia acumulada a mola e comando único para os três pólos.

O motor de carregamento da mola deverá ser fornecido para operação em 380 VCA. O circuito do motor deverá ser alimentado por um disjuntor tripolar, com contato de alarme e protegido por um dispositivo de sobrecarga com contato de alarme. Um relé para falta de fase deverá ser fornecido com contato para alarme remoto.

O mecanismo de operação deverá executar uma seqüência de operação de abertura-fechamento-abertura sem carregamento da mola.

Deverão ser fornecidos dispositivos mecânicos para permitir o carregamento manual da mola e disparo manual do disjuntor.

• Quadro de Controle

Todos os equipamentos e dispositivos para controle do disjuntor incluindo bobina de abertura e fechamento, relés auxiliares, motor, etc., deverão ser fornecidos instalados em um quadro de controle.

O quadro de controle deverá ser fabricado em chapa de aço, a prova de tempo e estanque a poeira, provido de porta com dobradiças, maçanetas e fechadura.

O quadro de controle deverá ser provido com tampa removível, em sua parte inferior, para permitir a entrada de eletrodutos, para instalação dos cabos condutores da fiação externa.

As ligações para equipamentos ou dispositivos externos deverão ser feitas através de blocos terminais, que deverão ter capacidade para 30 A. Somente um condutor deverá ser ligado a cada terminal. Deverá ser previsto 20 % de terminais reserva.

A fiação interna deverá ser executada na fábrica, utilizando cabos flexíveis, de cobre estanhado, com isolamento para 600 V, seção mínima de 2,5 mm², para os circuitos de controle e seção mínima de 4 mm² para alimentação do motor.

Dois dispositivos luminosos para indicação de posição do disjuntor (aberto-fechado) deverão ser instalados no quadro de controle.

Os circuitos de controle do disjuntor deverão operar em 125 Vcc e serão alimentados por um disjuntor bipolar, com contato para alarme. Deverá ser instalado um relé de falta de tensão para alarme remoto. Deverá ser previsto dispositivo antibombeamento.

Deverão ser instalados no quadro de controle uma chave seletora “local-remoto”, bem como botoeira para operação local do disjuntor.

Deverão ser instalados no quadro de controle, um circuito para iluminação interna, tomada e resistência de aquecimento, controlada automaticamente por meio de termostato ajustável. Este circuito será alimentado através de disjuntor, na tensão de 127 Vca.

• Terminais e Conectores

As buchas terminais dos disjuntores deverão ser fornecidas com conectores, do tipo aparafusado, para conexão a tubo de alumínio de bitola a ser definida na época da assinatura do contrato.

Os terminais de aterramento deverão ser fornecidos com conectores do tipo aparafusado, para conexão a cabo de cobre com bitola 2AWG.

• Acessórios

O disjuntor deverá ser fornecido com no mínimo com os seguintes acessórios:

- Indicador de posição.
- Dispositivo para supervisão da pressão de SF6.

- Chave com contatos auxiliares com 3NA+CNF.
- Dispositivo para enchimento de SF6.
- Válvula de segurança.
- Estrutura suporte.

• **Placa de Identificação**

Deverá ser fornecida uma placa de identificação, em aço inoxidável, a ser instalada no quadro de controle do disjuntor, contendo no mínimo, as seguintes informações:

- Palavra “DISJUNTOR”.
- Nome do fabricante.
- Local e data de fabricação.
- Número de série.
- Tipo.
- Tensão nominal.
- Corrente nominal.
- Frequência nominal.
- Capacidade de interrupção nominal em curto-circuito.
- Tensão suportável de impulso atmosférico.
- Seqüência de operação.
- Tempo de interrupção.
- Tempo de fechamento.
- Peso total do disjuntor.

1.5.7. 2 Seccionadora de 138 kV

a) Características Elétricas

A chave seccionadora de 138 kV, com lâmina de terra, deverá ter as seguintes características:

- Quantidade.....1
- Instalação..... externa
- Tipo.....de abertura vertical
- Tipo de comando.....comando elétrico, tripolar
- Tensão nominal do sistema.....138 kV
- Frequência.....60 Hz
- Corrente nominal 200 A
- Corrente de curta duração..... 20 kA
- Nível básico de impulso..... 650 kV

b) Características Construtivas

• Geral

As chaves seccionadoras deverão ser tripolares, com comando a motor, para instalação ao tempo, abertura vertical, para montagem em estrutura de aço galvanizado, à quente, conforme os desenhos de planta e corte da subestação. A lâmina de terra deverá ser operada com comando manual.

Deverão ser projetadas para suportar os esforços mecânicos da corrente de curto-circuito especificada de 20 kA.

Os contatos deverão ser construídos, de modo que as elevações de temperatura especificadas na norma ABNT-6935, não sejam atingidas, com a chave conduzindo a corrente nominal em operação contínua.

Cada pólo da chave deverá ter uma base única para as duas colunas de isoladores.

A base deverá ser de aço galvanizado à quente e deverá incluir furação para fixação na estrutura suporte.

Deverão ser previstos, pelo menos, dois olhais de suspensão, colocados nas extremidades da chave e equidistantes do centro de gravidade do pólo completo

Os isoladores deverão atender as exigências da norma NBR-5032.

- **Mecanismo de Operação**

A chave seccionadora deverá Ter os três pólos rigidamente acoplados, para ser operado por um único mecanismo de operação.

O mecanismo de operação da chave seccionadora deverá ser acionado a motor. A lâmina de terra, a ser utilizada somente para manutenção, deverá ser acionada manualmente. Deverá possuir intertravamento mecânico, de modo que só poderá ser operada com a chave seccionadora aberta.

- **Terminais e Conectores**

Os terminais de linha deverão ser fornecidos com conectores, do tipo aparafusado, para conexão a tubo de alumínio de bitola a ser definida na época da assinatura do contrato.

Os terminais de aterramento da chave deverão ser fornecidos com conectores, do tipo aparafusado, para conexão a cabo de cobre com bitola 2 AWG.

O terminal da lâmina de terra deverá ser fornecido com conector para ligação a cabo de cobre, com bitola de até 35 mm².

- **Placa de Identificação**

A chave seccionadora deverá ser fornecida com uma placa de identificação em aço inoxidável, contendo, no mínimo as seguintes informações:

- A designação “CHAVE SECCIONADORA”.

- Nome do fabricante.
- Local e data de fabricação.
- Número de série.
- Tipo.
- Tensão nominal.
- Frequência nominal.
- Tensão suportável de impulso atmosférico.
- Tensão suportável a frequência industrial.
- Corrente nominal.
- Corrente suportável de curta duração.
- Peso total.

1.5.7.3 Transformadores para Instrumento

Os transformadores para instrumentos, cobertos por esta especificação, incluem os transformadores de corrente e os transformadores de potencial na tensão de 138 kV.

a) Características Elétricas

• Transformadores de corrente (TCs)

As características principais dos TCs são as seguintes:

- Quantidade..... 3
- Instalação..... externa
- Tensão nominal do sistema.....138 kV
- Frequência nominal.....60 Hz
- Corrente nominal..... 200-5 A

- Nível básico de impulso..... 650 kV

Número de núcleos:

- medição..... 1

- proteção..... 2

- Fator térmico.....1

Classe de exatidão:

- medição..... 0,6

- proteção.....10 %

Carga nominal:

- medição..... C50

- proteção.....B200

Corrente térmica..... 20 kA

Corrente dinâmica.....50.kA

A carga nominal dos TCs e a relação de transformação deverão ser confirmadas após a definição da tensão do gerador e do nível de curto-circuito na subestação de Liberdade de propriedade da CEMIG.

• **Transformadores de Potencial (TPs)**

As características principais dos TPs são as seguintes:

Quantidade.....3

Instalação..... externa

Tipo.....	indutivo
Tensão nominal do sistema.....	138 kV
Frequência.....	60 Hz
Nível básico de impulso.....	650 kV
Relação de tensão.....	1 38000/V3-115/V3 V
Número de enrolamentos.....	1
Classe de exatidão.....	0,6
Carga nominal.....	200 VA

• **Características Construtivas**

Geral

Os transformadores para instrumento deverão ser monofásicos, em óleo isolante, para instalação ao tempo.

As buchas deverão atender os requisitos da norma ABNT-NBR-5034.

Os transformadores deverão ser fornecidos com óleo mineral, em quantidade suficiente para o enchimento inicial.

Todos os terminais secundários dos transformadores deverão ser levados a blocos terminais devidamente identificados. Os blocos terminais deverão ser instalados dentro de uma caixa terminal, a prova de tempo e estanque a poeira. O tamanho da caixa deverá permitir a entrada de eletrodutos para fiação externa pela parte inferior.

Toda a fiação interna deverá ser executada na fábrica, utilizando fios flexíveis de cobre estanhado de bitola não inferior a 4,0 mm², com classe de isolamento de 600 V.

Os blocos terminais deverão Ter capacidade de 30 A, com classe de isolamento de 600 V.

Os transformadores deverão ser do tipo auto-sustentável e adequados para montagem apoiados pela base.

- **Terminais e conectores**

Os terminais de linha deverão ser fornecidos com conectores, do tipo aparafusado, para conexão a ‘tubo de alumínio de bitola a ser definida na época da assinatura do contrato.

Os terminais de aterramento deverão ser fornecidos com conectores do tipo aparafusado, para conexão a cabo de cobre de bitola 2 AWG.

- **Placas de identificação**

Cada transformador deverá ser fornecido com uma placa de identificação, em aço-inoxidável, contendo as seguintes as seguintes informações:

- **Transformador de corrente**

- A designação “TRANSFORMADOR DE CORRENTE”.
- Nome do fabricante.
- Local e data de fabricação.
- Número de série.
- Tipo.
- Corrente primária nominal.
- Corrente secundária nominal.
- Frequência nominal.
- Fator térmico.
- Tensão máxima.
- Níveis de isolamento.
- Classe de exatidão.
- Tipo de óleo.
- Volume de óleo.
- Peso total.

• **Transformador de potencial**

- A designação “TRANSFORMADOR DE POTENCIAL”.
- Nome do fabricante.
- Local e data de fabricação.
- Número de série.
- Tipo.
- Tensões primária ou secundária nominais.
- Relação de transformação.
- Tensão máxima.
- Níveis de isolamento.
- Frequência nominal.
- Grupo de ligações.
- Tipo de óleo.
- Volume de óleo.
- Classe de exatidão.
- Massa total..

1.5.7.4 Pára-raios de 138 kV

Estas especificações cobrem os principais requisitos técnicos para os Pára-raios de 138 kV da subestação.

a) Características Técnicas

As principais características são as seguintes:

- quantidade.....3
- instalação.....externa

- tipo.....estação
- tensão nominal do sistema.....138 kV
- tensão máxima (regime permanente) do sistema.....145 kV
- frequência.....60 Hz
- tensão nominal do Pára-raio.....121 kV

Máxima tensão residual, valor de crista (10/20 us):

- 5 kA.....430 kV
- 10 kA.....467 kV
- 20 kA.....502 kV

Níveis de isolamento da porcelana:

- impulso atmosférico.....650 kV
- contador de operações.....sim

a) Características Construtivas

Geral

O Pára-raios deverá ser moldado em invólucro de porcelana e deverá ser provido de flanges de montagem de metal, nas superfícies das extremidades da porcelana, a fim de vedar completamente o Pára-raios e permitir a conexão do invólucro em sua base ou tampa.

O Pára-raios deverá ser do tipo distribuição e adequado para montagem em estrutura de aço galvanizado.

As partes, peças e acessórios das unidades deverão ser idênticas para todo o conjunto, permitindo fácil troca.

Cada Pára-raios deverá ser equipado com um dispositivo de pressão, para limitar a pressão interna causada por correntes de descarga.

Os Pára-raios deverão ser fornecidos com contadores de descarga.

- **Terminais e Conectores**

O terminal de linha deverá ser fornecido com conectores do tipo aparafusado, para conexão a tubo de alumínio de bitola a ser definida na época da assinatura do contrato.

O terminal de terra deverá ser fornecido com conectores do tipo aparafusado, para conexão de cabo de cobre de bitola até 35 mm².

- **Placa de Identificação**

O Pára-raios deverá ser fornecido com placa de identificação de aço inoxidável, contendo no mínimo o seguinte:

- A palavra “PÁRA-RAIOS”.
- Nome do fabricante.
- Tipo.
- Número.
- Tensão de “reseat”.
- Valor máximo de tensão disruptiva a impulso.
- Valor mínimo de tensão disruptiva a frequência industrial.

1.5.7.5 Inspeção e Ensaios

- **Ensaio de fábrica**

O FORNECEDOR deverá apresentar a CONTRATANTE, até 45 dias após a realização dos ensaios, duas vias dos relatórios de ensaios de fábrica, incluindo no mínimo, as seguintes informações:

- Identificação completa do equipamento e seus componentes, incluindo tipo, número de série, valores nominais e referência do número do contrato.
- Descrição dos ensaios.
- Valores encontrados nos ensaios, curvas, memórias de cálculo e fórmulas empregadas para determinação dos resultados.
- Interpretação dos resultados.

Deverão ser realizados todos os ensaios de rotina especificados na norma ABNT-NBR-7118.

• **Ensaio de campo**

Serão realizados os ensaios para verificação se o equipamento sofreu qualquer dano ou alteração de suas características durante o transporte. Estes ensaios serão realizados com a supervisão técnica do FORNECEDOR, que deverá garantir que o equipamento está corretamente instalado e pronto para entrar em operação. Os resultados dos ensaios de campo deverá concordar com os ensaios de fábrica.

1.6 PEÇAS SOBRESSALENTES

O PROPONENTE deverá apresentar uma lista de peças sobressalentes requeridas para 2 e 5 anos de operação, com os respectivos preços unitários. A partir dessa lista, a CONTRATANTE definirá o escopo das peças sobressalentes, o qual será incluído na proposta na época da assinatura do contrato.

PLANILHA DE PREÇOS UNITÁRIOS DE DISPOSITIVOS
INSTALADOS PARA EVENTUAIS ACERTOS NO
DETALHAMENTO FINAL DE FORNECIMENTO

ITEM	DESCRIÇÃO	TIPO	PREÇO UNITÁRIO R\$ (MONTADO)
1	Amperímetro		
2	Voltímetro		
3	Transdutor de corrente		
4	Transdutor de tensão		
5	Transdutor de potência ativa		
6	Transdutor de fator de potência		
7	Transdutor de temperatura		
8	Relé de sincronismo		
9	Sincronizador automático		
10	Relé auxiliar, bobina 125 Vcc		
11	Relé auxiliar, bobina, 115,60 Hz		
12	Relé de bloqueio, com rearme manual		
13	Sinaleiro		
14	Diodo		
15	Chave de controle		
16	Chave seletora		
17	Botoeira		
18	Fusíveis Diazed		
19	Modulo de controle de motores fixos para potência de: - 10 CV - 20 CV - 5 CV		
20	Disjuntor em caixa moldada de 100 ^A		
21	Painel de controle, com acessórios para aquecimento, iluminação e tomadas.		
22	Painel de distribuição para 380V ou 125 Vcc, com acessório para aquecimento, iluminação e tomadas.		

DADOS E INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDOS NA PROPOSTA

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	PROPONENTE DADOS	OBS :
1	CUBÍCULO DE MÉDIA TENSÃO			
1.1	Cubículo			
	Número de cubículos			*
	Tipo de cubículo			
	Dimensões	mm		
	Capacidade de interrupção	kA		
	Fabricante			
	Tensão nominal	kV		*
	Tensão máxima	kV		*
	Corrente nominal	A		*
	Nível de isolamento	kV		*
	Tensão suportável de impulso atmosférico, pico	kV		*
	Tensão suportável a frequência industrial durante 1 min., eficaz	kV		*
	Corrente de curto-circuito	kA		*
1.2	Disjuntor			
	Tipo			
	Quantidade			
	Tensão nominal	kV		*
	Frequência	Hz		*
	Corrente nominal	A		*
	Corrente de curta duração, 1 s	A		*
	Corrente de sobrecarga	A		*
	Capacidade de interrupção	kA		*
2	TRANSFORMADOR ELEVADOR			
	Fabricante			
	Tipo			
	Potencial nominal com ventilação forçada	kVA		*
	Potência com ventilação natural	kVA		*
	Tensões nominais			
	- Primário	kV		*
	- Secundário	kV		*
	Derivações			
	- Primário	%		
	- Secundário	%		
	Nível de isolamento			
	- Primário	kV		*
	- Secundário	kV		*
	- Neutro	kV		*
	Corrente de excitação com 100% da tensão nominal	A		
	Perdas em vazio com 100% de Vn	kW		*

Perdas em carga a 75 graus C	kW		*
Impedância	%		*
Dimensões máximas			
- Comprimento	mm		
- Largura	mm		
- Altura	mm		
Massa			
- Parte ativa	Kg		
- Tanque e acessórios	Kg		
- Óleo	Kg		
- Total	Kg		
Ligação	-		
Fabricante	-		
Frequência	Hz		
Capacidade de sobrefluxo			

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	PROPONENTE DADOS	OBS.:
3	SERVIÇOS AUXILIARES CA			
	Transformadores			
	- Fabricante	-		
	- Quantidade	-		
	- Potência	kVA		*
	- Tensões nominais	kV		*
	- Tipo	-		
	- Impedância	%		*
	- NBI	kV		*
	Centro de carga			
	- Fabricante	-		
	- Tensão nominal	kV		*
	- Número de cubículos	-		
	- Número de entradas	-		
	- Número de saídas	-		
4	SERVIÇOS AUXILIARES CC			
	Bateria			
	- Fabricante	-		
	- Tipo	-		
	- Número de elementos	-		*
	- Capacidade nominal	[Ah]		*
	- Tensão nominal da bateria da bateria	V		*
	- Tensão de flutuação por elemento	V		*
	- Tensão final de descarga	V		*
	- Tensão de equalização	V		*
	- Quantidade	-		

	Carregadores - Retificador - Fabricante - Tipo - Corrente nominal de saída - Tensão nominal de entrada - Número de fases - Variação aceitável na tensão de alimentação - Distorção harmônica máxima aceitável - Tensão nominal de saída - Tempo de carregamento da bateria - Capacidade - Regime de serviço - Rendimento - Variação da tensão de saída - Variação da corrente de saída - Quantidade Centro de carga - Fabricante - Tensão nominal - Número de cubículos - Número de entradas - Número de saídas	- - A Vca % % Vcc H A % % - - - - -		* * * * * * * * * * * * * *
5	SISTEMA DE PROTEÇÃO			
	Gerador e Transformador			

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	PROPONENTE DADOS	OBS.:
	- Fabricante - Funções/tipo - Tecnologia - Descrição anexa - Fornecer um termo de garantia, para um período mínimo de 36 meses, a partir do início da operação comercial da unidade geradora, contra quaisquer defeitos de fabricação do sistema de proteção.	- - -		*
6	SISTEMA DE MONITORAÇÃO E CONTROLE DIGITAL			
	- Arquitetura do sistema - Equipamentos - Fabricante			

	<ul style="list-style-type: none"> - Descrição funcional - Descrição do Hardware - Descrição do Software - Sistema de Comunicação - Tipo - Fabricante - Descrição anexa - Catálogos anexos - Referências - Fornecer um termo de garantia, para um período mínimo de 36 meses, a partir do início da operação comercial da unidade geradora, contra quaisquer defeitos de fabricação do sistema de monitoração e controle digital <p>O Proponente deverá incluir outros dados que julgar importante na avaliação de sua Proposta</p>			*
7	DISJUNTOR DE 138 kV			
	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricante - Seqüência de operação - Máxima elevação de temperatura dos contatos principais acima da temperatura ambiente de 40 graus °C - Tempo de interrupção total - Tempo de fechamento - Número de operações de abertura permissíveis à corrente nominal, antes da inspeção e manutenção dos contatos principais 	Ciclo Ciclo		*
	<ul style="list-style-type: none"> - Número de operações de abertura permissíveis à corrente nominal de interrupção em 138 kV, antes da inspeção e manutenção dos contatos principais - Corrente nominal do motor em 380 Vca - Corrente da bobina de fechamento em 125 Vcc - Corrente da bobina de abertura em 125 Vcc - Capacidade permanente dos contatos da chave auxiliar em 125Vcc - Capacidade de abertura dos contatos da chave auxiliar em 125Vcc - Número de contatos da chave auxiliar - Massa total do disjuntor, incluindo o mecanismo de operação - Impacto do disjuntor em operação de 	A A A A A A KGF		

	<u>abertura e fechamento</u> - Descrição do disjuntor, mecanismo de operação, dispositivos e acessórios incluindo diagramas esquemáticos, construção, operação, montagem, desmontagem, etc. - Desenho de arranjo básico do disjuntor indicando dimensões, localização de todos os dispositivos e acessórios - Tensão nominal			*
--	---	--	--	---

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	PROPONENTE DADOS	OBS. :
	- Corrente nominal - Frequência nominal - Capacidade de interrupção nominal em curto-circuito: componente alternada (kV eficaz) - Capacidade de estabelecimento em curto-circuito na tensão nominal, em % da componente alternada da capacidade de interrupção em curto-circuito - Tensão suportável de impulso atmosférico, 1,2x50 us, onda plena (kV de crista) - Tensão suportável a frequência industrial durante 1 minuto (kV eficaz).			* * * * * *
8	CHAVE SECCIONADORA DE 138 kV			
	- Fabricante			
	-tipo - Máxima elevação de temperatura dos contatos principais, acima da temperatura ambiente de 4º graus C - Esforços mecânicos permissíveis nos terminais das chaves: . perpendicular aos isoladores (N); . torção (Nxm). - Capacidade permanente dos contatos da chave auxiliares em 125 Vcc - Capacidade de abertura dos contatos da chave auxiliar em 125Vcc - Número de contatos da chave auxiliar - Massa total da chave com e sem a lâmina de terra - Descrição completa da chave incluindo mecanismo de operação, montagem,	kg		

	<p>desmontagem, dispositivos e acessórios.</p> <p>-desenho de arranjo básico das chaves indicando dimensões, localização de todos os dispositivos.</p> <p>- Corrente nominal do motor em 380 Vca</p> <p>- Tensão nominal</p> <p>- Freqüência nominal</p> <p>- Corrente nominal</p> <p>- Corrente suportável de curta duração, 1s:</p> <p>. valor eficaz</p> <p>. valor de crista</p> <p>-Tensão suportável de impulso atmosférico, 1,2x50us, onda plena (crista) à terra entre contatos abertos</p> <p>- Tensão suportável à freqüência industrial durante 1 min (eficaz): à terra e entre pólos entre contatos abertos</p>	<p>A</p> <p>kV</p> <p>Hz</p> <p>A</p> <p>kV</p> <p>kA</p> <p>kV</p>		<p>*</p> <p>*</p> <p>*</p> <p>*</p> <p>*</p> <p>*</p>
9	TRANSFORMADORES DE CORRENTE			
	<p>- Fabricante</p> <p>- Tipo</p> <p>- Resistência ôhmica dos enrolamentos</p> <p>- Curva de excitação típica</p> <p>- Catálogo com descrição completa do equipamento a ser fornecido</p> <p>- Desenho identificando as dimensões, tipo de montagem, fixação e peso</p> <p>- Tensão máxima de operação</p>	<p>kV</p>		<p>*</p>

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	PROPONENTE DADOS	OBS. :
	<p>- Freqüência nominal</p> <p>- Corrente primária nominal</p> <p>- Relação de Transformação</p> <p>- Classe de exatidão</p> <p>-Tensão suportável de impulso atmosférico, 1,2x50 us (crista):</p> <p>. onda plena</p> <p>. onda cortada</p>	<p>A</p> <p>kV</p>		<p>*</p> <p>*</p> <p>*</p> <p>*</p>
10	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL			
	<p>- Fabricante</p> <p>- Tipo</p>			

	- Catálogo com descrição completa do equipamento a ser fornecido			
	- Desenho identificando as dimensões, tipo de montagem, fixação e peso - Tensão nominal do primário - Tensão máxima primária - Frequência nominal - Relação de transformação - Classe de exatidão Tensão suportável de impulso atmosférico 1,2x50 us (crista): . onda plena . onda cortada - Tensão a frequência industrial 1 min. (eficaz)	kV kV Hz kV kV		* * * * * *
11	PÁRA-RAIO			
	- Fabricante - Tipo - Catálogo com descrição completa do equipamento a ser fornecido - Desenho identificando as dimensões, tipo de montagem, fixação e peso - Tensão nominal do sistema - Tensão máxima do sistema - Máxima tensão residual(8/20 us), valor de crista: 5 Ka 10 Ka 15 kA - Corrente nominal de descarga (8/20 us) - Surto de manobra para 1 kA	kV kV kV kA kV		* * * * *
	- Onda esarpada (1-10 kA) - Descarga de alta corrente de curta duração - Capacidade de alívio de sobrepressão - Capacidade de dissipação de energia - Níveis de isolamento da porcelana: . impulso atmosférico tensão aplicada distância de escoamento - Níveis de isolamento da porcelana	kA kA kW.s/kV kV		* * * * *

(*) Valores garantidos

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.