

UHE BELO MONTE

10. SÍTIO BELO MONTE

10.1. CONCEPÇÃO GERAL DO PROJETO

Em termos gerais a disposição das estruturas que compõem o sitio Belo Monte não sofreram alterações significativas com relação ao arranjo estabelecido nos Estudos de Viabilidade. Deste modo, o arranjo atual compreende, além do circuito de geração propriamente dito, cujas laterais do canal de adução são fechadas por barragens de terra, o barramento de Santo Antonio disposto sobre o córrego de mesmo nome.

O circuito de adução é formado pela Tomada de Água, Conduitos Forçados, Casa de Força e Canal de Fuga. Estas estruturas estão locadas em posição similar ao estabelecido na Viabilidade.

10.2. SEQUÊNCIA CONSTRUTIVA DAS OBRAS DE ESCAVAÇÃO DO CIRCUITO DE GERAÇÃO

A Casa de Força Principal e Tomada de Água no Sítio Belo Monte serão construídas em duas etapas sendo que na primeira etapa se construirão dez unidades geradoras e na fase seguinte se concluirão as outras oito unidades restantes. De acordo com o cronograma geral de construção, o inicio da geração das dez primeiras unidades ocorrerá antes da conclusão total das estruturas civis do segundo grupo de oito unidades.

Inicialmente, as atividades de construção na área da Casa de Força e Tomada de Água se concentrarão nas escavações obrigatórias, em área que abranja as estruturas de concreto de modo a liberar com maior rapidez os serviços de concretagem. Para esta fase, a área prioritária de escavação estará completamente protegida pelo terreno natural, que propiciará uma proteção superior a 500 anos para cheias pelo rio Xingu.

Para a escavação do Canal de Fuga se executará durante o primeiro período de estiagem (Agosto a Novembro) uma ensecadeira no trecho mais a jusante do canal (parcialmente sobre a ilha aluvionar a jusante). Esta ensecadeira será coroada na elevação 5,0 o que proporciona uma proteção para vazões da ordem de 5.000 m³/s o que corresponde a uma proteção de cerca de 25 anos de recorrência para este período. Com esta proteção serão executadas as escavações em solo e rocha do trecho final do canal de fuga de modo a possibilitar a construção da ensecadeira de 2ª fase, já assente na elevação final do canal de fuga. A ensecadeira coroada na El. 11,50 proporcionará proteção contra cheias com 250 anos de recorrência. De acordo com o cronograma, a ensecadeira de 2ª fase poderá ser construída no segundo período seco.

Após a construção da ensecadeira de 2ª fase, as escavações do Canal de Fuga prosseguirão com as estruturas de concreto já protegidas.

Entre os dois conjuntos de unidades geradoras (da Unidade 1 a 10 e da Unidade 11 a 18) será deixado um septo de rocha, separando estes conjuntos. Com isso, é possível desvincular a construção dos dois conjuntos, ganhando-se flexibilidade no planejamento de construção e picos de obras de concreto. A jusante das unidades 11 a 18 (segundo conjunto de unidades da Casa de Força Principal) será construída uma

UHE BELO MONTE

ensecadeira para a proteção deste conjunto, fechando o trecho entre o septo rochoso e o talude direito hidráulico da escavação do canal de fuga. Esta ensecadeira será coroada na El. 11,50 propiciando também proteção para cheias com 250 anos de recorrência.

10.3. BARRAGEM DE SANTO ANTÔNIO E BARRAGENS DE FECHAMENTO

10.3.1 Barragem de Santo Antônio

A Barragem de Santo Antônio situa-se no vale do córrego de mesmo nome. A barragem apresenta a crista coroada na El. 100,00 com a cota mais baixa da fundação situando-se aproximadamente na El. 10,00, o que resulta numa estrutura com altura de 90 m. A crista possui uma largura de 7,5 m e extensão da ordem de 1.630 m.

As condições de fundação da Barragem de Santo Antônio exercem uma forte influência nas características na geometria dos taludes, assim como na necessidade de prever bermas de equilíbrio que garantam a adequada estabilidade da barragem. Na parte central, a fundação é formada por maciço terroso constituídos por solos coluvionares e residuais de migmatito, que resulta em fundação convencional de barragens.

Nas ombreiras, o material de fundação é constituído predominantemente por ritimitos e folhelhos, com a porção superior da ombreira esquerda constituída por maciços areníticos. Estes materiais encontrados nas ombreiras apresentam baixos parâmetros de resistência, resultando em maciço de fundação pouco resistentes, em condições pouco usuais para barragens com tal envergadura.

Tendo em conta as condições de fundação a Barragem de Santo Antonio apresenta duas seções transversais típicas.

Na região central, com cerca de 440 m de extensão, onde as condições de fundação são mais favoráveis, a seção da barragem é de enrocamento com núcleo central de solo argiloso. Os taludes de montante e de jusante são desprovidos de bermas e apresentam inclinações de 1,8H:1,0V e 2,1 H:1,0H, respectivamente. O núcleo central apresenta declividades de 0,25 H : 1,0 V, tanto no paramento a montante quanto no de jusante. A montante do núcleo dispõe-se uma camada de transição, entre este elemento e o espaldar de enrocamento e, a jusante, a barragem conta com três camadas entre o núcleo e o espaldar e um tapete horizontal, constituído por filtro arenoso e transições fina e média.

Nas ombreiras, onde as condições de fundação são desfavoráveis, a seção da barragem é homogênea, constando com sistema interno convencional de drenagem composto por filtro tipo chaminé interligado a um tapete drenante.

O talude de montante é contínuo, apresentando inclinação de 2,6 H:1,0 V. O talude de jusante apresenta inclinação de 2,2 H: 1,0 V, entre bermas de 4,0 m de largura, situadas a cada 10,0 m de altura da barragem.

Condicionada pelas características de baixa resistência da fundação nas ombreiras, além da declividade topográfica do terreno, para garantir a adequada estabilização da barragem, foi necessário prever a implementação de berma de equilíbrio a montante, na ombreira direita, composta por enrocamento com 50 m de largura de crista, e inclinação de 2,2 H:1,0 V, até encontrar a superfície de fundação.

UHE BELO MONTE

Da mesma forma, na ombreira esquerda esta berma apresenta crista com 30 m de largura, e inclinação de 4,0 H :1,0 V.

Uma solução similar mostrou-se também necessária para garantir a estabilidade na região de jusante da barragem. As soluções definidas para as ombreiras direita e esquerda apresentam-se ligeiramente diferentes em função das nuances topográficas, como a inclinação do terreno da fundação e formato do talvegue adjacente à área de implantação da barragem.

Assim sendo, para a estabilização do talude de jusante nas ombreiras foi necessário o emprego de uma berma de enrocamento com 90 m de largura e declividades de 8,0 H:1,0 V (ombreira esquerda) e 6,0 H:1,0 V (ombreira direita). Adicionalmente, na ombreira direita, será escavada uma trincheira, sob a berma de equilíbrio, com 5,0 m de largura na base (El. 15,65) e taludes de escavação com declividade de 2,5 H:1,0 V intercalados com bermas de 3,0 m de largura a cada 5,0 m de altura.

Tendo em vista a presença de maciço arenítico de alta permeabilidade na fundação da ombreira esquerda, está sendo prevista a instalação de tapete impermeável a montante da barragem, constituído por um sanduiche de solo com manta de polietileno de alta densidade. Observa-se que tal condicionante geológica só afeta a fundação da barragem na ombreira esquerda.

As águas provenientes do córrego Santo Antônio são desviadas para a galeria de desvio do dique 6C. Para tanto é executada uma ensecadeira a montante com crista na El. 46,70 e taludes de montante e jusante de 2,5 H:1,0 V e 1,3 H: 1,0 V respectivamente.

10.3.2 Barragem de Fechamento Esquerda

A Barragem de Fechamento Esquerda apresenta a crista coroada na El. 100,00 sendo que o ponto mais baixo da fundação situa-se aproximadamente na El. 25,00, nas proximidades do muro junto à tomada d'água, o que resulta numa altura da barragem da ordem de 74 m. A crista possui largura de 7,5 m com uma extensão da ordem de 1130 m. As condições de fundação da Barragem de Fechamento Esquerda são semelhantes as da Barragem de Santo Antônio existindo a predominância de condições de fundação desfavoráveis no fechamento junto à ombreira esquerda em decorrência de presença de maciços rochosos sedimentares, ritimitos e folhelhos. Deste modo esta barragem está concebida considerando as particularidades de cada trecho da fundação. Na extremidade direita onde existe o encosto da barragem com o trecho de barramento em concreto da tomada de água, a barragem é de enrocamento com núcleo de argila fundada sobre o maciço rochoso. Os taludes de montante e de jusante são desprovidos de bermas e apresentam declividades de 1,4 H:1,0 V. O núcleo central apresenta declividades de 0,25 H : 1,0 V tanto a montante quanto a jusante, transicionando este material até o espaldar de enrocamento com camadas de filtro e transições.

Na região central (cerca de 620 m), onde as condições de fundação são mais favoráveis, a barragem é de enrocamento com núcleo de argila. Os paramentos de montante e de jusante são desprovidos de bermas e apresentam declividades de 1,8 H:1,0 V e 2,1 H:1,0, respectivamente. O núcleo é central apresentando as mesmas declividades que a da seção junto ao encontro com a estrutura de concreto.

UHE BELO MONTE

Na ombreira esquerda, onde as condições de fundação são desfavoráveis, a barragem apresenta seção homogênea, dotada de sistema interno de drenagem constituído por filtro septo vertical interligado a um tapete drenante. O talude de montante é desprovido de bermas intermediárias e apresenta declividade de 2,6 H:1,0 V. O talude de jusante apresenta inclinação de 2,2 H:1,0 V, com bermas de 4,0 m espaçadas a cada 10,0 m de altura. Em função das condições de fundação a montante na ombreira, a barragem é provida com uma berma de estabilização de enrocamento com 50 m de largura e declividade de 2,2 H:1,0 V. Para a estabilização do paramento de jusante a barragem apresenta uma berma de enrocamento com 90 m de largura e declividades de 6,0 H :1,0. Adicionalmente, na ombreira, é escavada uma trincheira, sob a berma de equilíbrio, com 5,0 m de largura na base (cota mais baixa na El. 29,00) e taludes de escavação com declividade de 2,5 H:1,0 V intercalados com bermas de 3,0 m de largura a cada 5,0 m de altura.

10.3.3 Barragem de Fechamento Direita

A Barragem de Fechamento Direita apresenta a crista coroadada na El. 100,00 sendo que o nível mais baixo da fundação situa-se aproximadamente na El. 45,00, o que resulta numa altura da barragem da ordem de 54 m. A crista possui uma largura de 7,5 m com uma extensão da ordem de 780 m. As condições de fundação da Barragem de Fechamento Direita são semelhantes as dos outros barramentos desta região existindo a predominância de condições de fundação desfavoráveis na maior parte da fundação, em decorrência de presença de rochas sedimentares, ritimitos e folhelhos.

Apenas junto à interface com a estrutura de concreto a barragem apresenta fundação com características mais favoráveis. Nesta região, a seção no encontro com o trecho de barramento em concreto da tomada de água, é de espaldares em enrocamento com núcleo central de argila, fundada sobre maciço rochoso de migmatito. As características deste trecho são semelhantes ao apresentado na ombreira esquerda da Barragem de Santo Antônio.

Na ombreira direita, onde as condições de fundação são desfavoráveis, a seção da barragem é homogênea com sistema interno de drenagem, filtro septo vertical interligado a um tapete drenante. O talude de montante é desprovido de bermas intermediárias e apresenta declividade de 2,6 H:1,0 V. O talude de jusante apresenta declividade de 2,2 H: 1,0 V, intercalado com bermas de 4,0 m espaçadas a cada 10,0 m de altura. Em função das condições de fundação a montante na ombreira, a barragem é provida com uma berma de estabilização de enrocamento com 30 m de largura e inclinação de 4,0 H:1,0 V. Para a estabilização do talude de jusante a barragem apresenta uma extensa berma de enrocamento com 30 m de largura e declividades de 11,0 H :1,0, condicionada pela topografia levemente inclinada e a baixa resistência do material de fundação.

10.3.4 Análises de Estabilidade das Barragens de Santo Antônio e de Fechamento

Um resumo das condições de estabilidade das Barragens de Santo Antônio e as de fechamento Esquerda e Direta são apresentadas neste item.

Para dimensionamento das estruturas de barramento, foram realizadas análises de estabilidade ao escorregamento dos taludes pelo método de equilíbrio limite, com estudos de percolação e estabilidade empregando os programas de computador

UHE BELO MONTE

SEEP/W, e SLOPE/W, respectivamente, ambos desenvolvidos pela Geo-Slope do Canadá.

Os casos de carregamento considerados nas análises de estabilidades dos taludes foram os de Final de Construção, Rebaixamento Rápido do Reservatório e o de Regime Permanente:

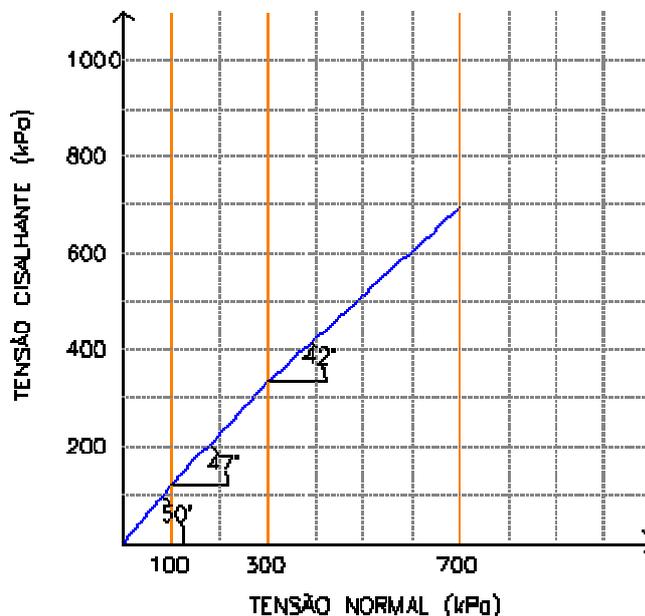
Apesar do reservatório ser operado em sistema de fio d'água, especificamente para o caso de rebaixamento foi considerada uma situação hipotética e pouco provável onde pudesse ocorrer o deplecionamento do Nível de Água do reservatório até a El. 80,00, correspondente a uma condição extrema caso houvesse um acidente com a ruptura de parte da barragem de Pimental.

Os parâmetros geotécnicos dos materiais são apresentados, de forma condensada na Tabela 10.1. No item 4.5 são mostrados os resultados dos ensaios realizados na fase de Viabilidade.

Tabela 10.1 – Parâmetros Geotécnicos dos Materiais

Material	γ_n (kN/m ³)	c' (KPa)	ϕ' (°)	k (cm/s)	kh/kv
Solo Compactado	18,5	20,0	29	$1,0 \times 10^{-05}$	10
Areia 3A	18,0	0	35	$1,0 \times 10^{-02}$	1
Transições	18,0	0	35	$5,0 \times 10^{-01}$	1
Enrocamento Compactado	21,0	Envoltória não linear de resistência – figura 8.1		Drenagem Livre	
Enrocamento – Bermas de Equilíbrio	21,0	0	45	Drenagem Livre	
Fundação – Solo Residual de Ritmito	20,5	0	11	$4,0 \times 10^{-04}$	4
Fundação – Solo de Alteração de Migmatito	19,5	10	27	$4,0 \times 10^{-05}$	4
Fundação – Ritmito	22,0	0	11	$4,0 \times 10^{-04}$	4
Fundação – Migmatito	26,5	370	54	$4,0 \times 10^{-05}$	4

Figura 10.1 – Envoltória de Resistência do Enrocamento



Com base nos critérios e parâmetros foram desenvolvidos os estudos de verificação de estabilidade dos taludes, cujos resultados encontram-se apresentados nas Tabelas 10.2, 10.3 e 10.4, onde constam os resultados, respectivamente das Barragens de Santo Antônio e as de Fechamento Esquerda e Direita.

Tabela 10.2 – Resultados das Análises de Estabilidade da Barragem de Santo Antônio

Seção	Caso de carregamento	FS Mínimo	FS Obtido
Seção Homogênea Ombreira Direita	Regime permanente - Jusante	1,50	1,53
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,53
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,94
	Rebaixamento rápido - montante	>1,01	1,01
Seção Terra-Enrocamento Região Central	Regime permanente - Jusante	1,50	1,69
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,90
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,98
	Rebaixamento rápido - montante	1,01	1,77
Seção Homogênea Ombreira Esquerda	Regime permanente - Jusante	1,50	1,50
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,45
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,94
	Rebaixamento rápido - montante	>1,01	1,01

Tabela 10.3 – Resultados das Análises de Estabilidade da Barragem Lateral Esquerda

Seção	Caso de carregamento	FS Mínimo	FS Obtido
Seção Terra-Enrocamento	Regime permanente - Jusante	1,50	1,64
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,68
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	2,04
	Rebaixamento rápido - montante	1,01	1,49
Seção Homogênea Ombreira Esquerda	Regime permanente - Jusante	1,50	1,50
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,78
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,67
	Rebaixamento rápido - montante	>1,01	1,10

Tabela 10.4 – Resultados das Análises de Estabilidade da Barragem Lateral Direita

Seção	Caso de Carregamento	FS Mínimo	FS Obtido
Seção Homogênea	Regime permanente - Jusante	1,50	1,52
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,62
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,49
	Rebaixamento rápido - montante	>1,01	1,01

Os detalhes dos projetos das Barragens de Santo Antônio, e das barragens de fechamento Esquerda e Direita, são apresentados nos desenhos BEL-B-BM-DE-BTE-100-0001 a 0004 e BEL-B-BM-DE-BTE-100-0006 e 0007.

10.4. TOMADA DE ÁGUA E MUROS

A Tomada de Água possui dezoito blocos dispostos ao longo do alinhamento do eixo do barramento, de forma que dez blocos se agrupam na esquerda hidráulica e os oito restantes à direita. Esses dois grupos são separados por dois blocos de gravidade, fechando o barramento. A ligação entre a Tomada d'Água e as barragens de terra e enrocamento é feita através de dois muros de fechamento, laterais a esta estrutura.

O conjunto formado pela Tomada d'Água, pelos muros centrais e pelos muros laterais de fechamento, possui uma extensão total de 819 m e é coroado na elevação 100,00.

Os dezoito blocos da Tomada de Água possuem uma largura de 33,0 m e são separados entre si por juntas de contração.

Cada um dos blocos possui emboques de adução de água de seção retangular, que derivam as águas aos condutos forçados. Entre a seção retangular do traçado hidráulico e os condutos forçados há um trecho de transição de retangular para circular, em concreto. O traçado hidráulico e as aberturas foram dimensionados para uma vazão nominal de 775 m³/s por emboque.

UHE BELO MONTE

A seção da entrada onde serão instaladas as grades será dividida em três aberturas por bloco, separadas entre si por dois pilares, tendo cada uma das aberturas seção retangular de 6,30 m de largura por 28,0 m de altura. Essa seção hidráulica se reduz gradualmente até a região da comporta vagão, mantendo o fluxo sempre em compressão.

Na Tomada d'água, serão instaladas dezoito comportas vagão, de emergência, com acionamento hidráulico por cilindros hidráulicos. Para a inspeção e a manutenção destas comportas será empregada uma comporta ensecadeira, a ser instalada na ranhura prevista a montante da comporta vagão. Estas comportas terão sua soleira na El. 64,5 m.

A movimentação da comporta ensecadeira e das grades metálicas, bem como a manutenção das comportas vagão, será acionada por um pórtico rolante com capacidade de 1600 kN (gancho principal) e 700 kN (gancho auxiliar), tendo o caminho de rolamento uma extensão aproximada de 640 m.

Até a El. 60,5 m os blocos da Tomada de Água e os de Gravidade serão construídos num misto de concreto convencional e compactado com rolo (CCR), com paramento montante vertical. Acima dessa elevação os blocos já serão totalmente confeccionados com concreto convencional armado

A jusante 6,2 m do paramento vertical, na elevação 47,0, é prevista uma galeria de drenagem para implantação de um sistema de alívio de subpressões por intermédio de uma cortina de drenagem interligando a galeria a um túnel de drenagem com o piso na elevação 15,15 m. Sob o piso do túnel também é prevista uma cortina de drenagem com 10 m de profundidade. A água de infiltração captada pelos drenos será escoada para jusante, através de dois túneis de acesso que se desembocam na parede rochosa de escavação, a montante da Casa de Força, na El. 13,8 m.

A partir da El. 62,90 m, o paramento do bloco da Tomada de Água passa de vertical a inclinado, com 8,5° com a vertical.

Foi desenvolvida uma análise de estabilidade segundo os Critérios de Projeto Civil para Usinas Hidrelétricas, desenvolvidos pela Eletrobrás. Os valores dos coeficientes de segurança encontrados estão apresentados no quadro resumo abaixo:

Carregamentos	FS Tombamento	FS Deslizamento	FS Flutuação
Caso Normal	1,51 > 1,5	2,62 > 1*	3,41 > 1,3
Caso Excepcional Sismo	1,30 > 1,2	2,08 > 1*	3,31 > 1,1
Caso Excepcional Galerias Inoperantes	1,39 > 1,2	3,03 > 1*	2,46 > 1,1

* Os fatores de minoração de resistência ao atrito e a coesão são os definidos pelos Critérios de Projeto Civil (item 7.4.1).

Para os casos normal e excepcional de sismo, toda a área da fundação é comprimida. Para o caso excepcional com galerias inoperantes, há abertura de junta a montante que se estabiliza numa extensão de 5 m < 6,8 m (alinhamento da cortina de drenagem). A tensão máxima compressiva encontrada foi de 1,2MPa.

UHE BELO MONTE

Os dois blocos de gravidade posicionados entre os grupos da Tomada de Água têm largura de 25,1 m cada e seção transversal semelhante aos da Tomada d'Água.

Os muros laterais direito e esquerdo que fecham as estruturas de concreto da barragem e tem a função de servir de abraço às barragens de terra/enrocamento. Estes muros são blocos de gravidade constituídos por concreto compactado a rolo (CCR) até a El.63,00 e acima desta cota unicamente por concreto convencional.

10.5. CASA DE FORÇA

As unidades geradoras, de montagem e de descarga da usina de Belo Monte são do tipo abrigada. A Casa de Força (CF) é composta por dezoito unidades geradoras, cada uma com 33,0 m de largura. Possui cinco unidades de Área de Montagem (AM), com 33,0 m cada, e duas unidades de Área de Descarga (AD), com 20,7 m de largura cada. Essas unidades são dispostas em dois grupos separados: Na esquerda hidráulica estão agrupadas dez unidades geradoras CFs, uma unidade AD e quatro unidades AMs. Na direita, estão agrupadas oito unidades geradoras CFs, uma AM e uma AD. Esses grupos são separados por um septo rochoso de 50,2 m de largura, que se estende ao longo do canal de fuga, dividindo-o em dois canais.

No grupo das unidades da esquerda, uma AD e quatro AMs posicionam-se na margem esquerda do canal de fuga, tendo em frente ao pátio de manobras, com 176 m de largura e destinado a manobras e acesso de carretas e caminhões. Em frente ao pátio e a jusante da AM, localiza-se o Edifício de Controle da usina, com 75,30 m de largura e quatro pisos para utilização das áreas de serviços vinculadas. No térreo deste edifício, contígua à área de montagem, estão situadas as oficinas elétrica e mecânica, ferramentaria, almoxarifado, baterias, recepção e serviços de apoio. As salas de controle, engenharia, telecomunicações, painéis elétricos, administração, reuniões e pessoal em trânsito são distribuídas nos demais pisos. Todos os pisos são providos de sanitários e copa, elevador e escada. Na cobertura do prédio estão instaladas a sala de máquinas do elevador, ar condicionado, caixa d'água e barrilete.

Sob a unidade da AM adjacente à primeira unidade da CF localiza-se o poço de drenagem e esgotamento que irá servir à manutenção das dez unidades geradoras do grupo.

Oito unidades da CF, uma AM e uma AD compõem o segundo grupo (o grupo da direita hidráulica). O poço de drenagem e esgotamento desse conjunto posiciona-se no septo rochoso que separa os dois grupos e adjacente a primeira unidade do grupo. À montante das unidades da AM e AD, a direita do canal de fuga, está previsto também um pátio de manobras com 62 m de largura, destinado ao acesso a usina pelo lado direito.

Estão previstos três poços separadores de água e óleo para atender a drenagem da bacia dos transformadores da usina: dois posicionados nos pátios de manobras nas margens direita e esquerda hidráulica e um posicionado no septo rochoso que separa o canal.

Toda a área para acesso e circulação externa da usina encontra-se na El. 13,80 m. A travessia para as laterais do canal de fuga é feita tanto por montante quanto por jusante da edificação. O acesso jusante/montante se dará através dos corredores que

UHE BELO MONTE

correm lateralmente às Áreas de Descarga (esquerda e direita). No trecho montante da usina localizam-se os condutos forçados e os acessos ao túnel de drenagem.

Na área externa a jusante da edificação na EL.13,80 estão localizados os transformadores, a galeria da subestação SF6, as salas dos sistemas de ventilação e exaustão, as saídas de emergências e o caminho de rolamento do pórtico rolante para acionamento das comportas.

O acesso principal e controlado da usina será através do edifício de controle.

As entradas de equipamentos para a usina será feita pelas Áreas de Descarga, através de portões metálicos.

Dentro da edificação, todo o piso composto pelas Áreas de Descarga, Montagem e os pisos dos geradores na Casa de Força estão nivelados na El. 13,8 m. As unidades possuem três galerias a jusante, sendo duas galerias mecânicas e uma elétrica, localizadas respectivamente nas elevações -12,70, -4,30, e 4,10. A cada duas unidades geradoras são previstas saídas de emergência, central de ventilação e sala de filtro de ventilação.

Para cada unidade de Casa de Força é prevista circulação vertical para acesso aos pisos inferiores - galerias elétrica e mecânica - e visita ao poço da turbina, caixa espiral e tubo de sucção.

Foi desenvolvida uma análise de estabilidade do bloco. Como todos os blocos são confinados a montante pela parede de escavação rochosa, estes ficam submetidos apenas a empuxo hidráulico no sentido jusante-montante, sem condição portanto de sofrer deformações rotacionais ou deslocamentos. Dessa forma são apresentados apenas os coeficientes de segurança a flutuação encontrados. Além dos casos normal e excepcionais de sismo e enchente fez-se uma análise do bloco para o caso construtivo, sem o concreto de segundo estágio e submetido a pressões hidráulicas no nível normal. Os valores encontram-se no quadro resumo abaixo:

Carregamentos	FS Flutuação
Caso Normal	1,67 > 1,3
Caso Excepcional Sismo	1,62 > 1,1
Caso Excepcional Enchente	1,43 > 1,1
Caso Construtivo	2,5 > 1,2

Para todos os casos analisados não há junta trativa na fundação. A máxima tensão comprimida encontrada foi de 0,42 MPa (caso CCC)

10.6. EQUIPAMENTOS MECÂNICOS PRINCIPAIS

10.6.1 Tomada d'Água

A tomada de água é constituída de dezoito aduções independentes, que são equipadas com grades, comportas ensecadeira, comportas de emergência e máquina limpa-grades.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Equipamentos Hidromecânicos

a) Grades da Tomada d'Água

A entrada da tomada de água é dotada de grades de proteção do tipo móvel, montadas sobre guias fixadas à face inclinada da estrutura.

Com o propósito de limitar o vão livres das grades, a tomada d'água estará dividida em tres vãos através de dois pilares centrais em concreto.

Cada adução será constituída de painéis empilhados, sendo um superior e os demais inferiores, todos iguais e intercambiáveis.

Os painéis superiores serão providos de uma transição, na sua parte superior, que permita a passagem do rastelo da máquina limpa-grades de suas guias para as barra dos painéis das grades. Os painéis inferiores serão intercambiáveis.

Os painéis de grades devem ser projetados para proteger a turbina da entrada de detritos que possam danificar rotor, distribuidores e revestimento. O manuseio dos painéis das grades é realizado por meio do gancho do pórtico rolante, com auxílio de uma viga pescadora.

As características principais das grades são as indicadas abaixo:

- Tipo de grades removível
- Operação pórtico rolante
- Número de Tomadas d'Água 18
- Número de vãos por Tomadas d'Água 03
- Número total de vãos 54
- Número total de jogos de peças fixas 54
- Número de painéis de grade por vão 10
- Número total de painéis de grade 540
- Número de vigas pescadoras 02
- Pressão máxima de projeto 30 kPa
- Espaçamento entre linhas de centro das barras verticais 150 mm
- Vão livre 6.300 mm
- Altura livre (medida na vertical) 29.500 mm
- Inclinação do paramento 1,0V:0,20H
- Elevação da soleira da grade EL. 62,90 m
- Elevação do piso de operação EL. 100,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum EL. 97,50 m
- Elevação do NA máximo normal EL. 97,00 m

UHE BELO MONTE

b) Comportas Ensecadeira da Tomada d'Água

As comporta ensecadeiras da Tomada d'Água destinam-se ao ensecamento e manutenção das unidades geradoras e das comportas vagão.

A comporta ensecadeira será metálica de construção soldada, possuindo paramento e plano de vedação voltados para o lado de jusante.

Cada comporta ensecadeira será formada por painéis iguais e intercambiáveis exceto o painel superior que será dotado de válvula "by-pass".

Os painéis serão manobrados com o auxílio da viga pescadora montada no gancho do pórtico rolante da Tomada d'Água. As operações de instalação e retirada dos painéis nas ranhuras serão realizadas sob equilíbrio de pressões hidráulicas. Para a retirada dos painéis, o equilíbrio de pressões será conseguido por intermédio de duas válvulas "by-pass", instaladas no painel superior da comporta, as quais serão acionadas pelo peso próprio da viga pescadora..

Em cada ranhura de operação será estocado um painel de comporta. Os demais painéis e a viga pescadora serão estocados em poço de armazenamento.

As características principais das comportas são as indicadas abaixo:

- Tipo de comporta ensecadeira de fundo
- Operação pórtico rolante
- Paramento e plano de vedação jusante
- Número de Tomadas d'Água 18
- Número total de jogos de peças fixas 18
- Número de comportas 02
- Número de painéis por comporta 06
- Número total de painéis de comporta 12
- Número de vigas pescadoras 02
- Vão livre 10.100 mm
- Altura livre 16.910 mm
- Elevação da soleira da comporta EL. 64,50 m
- Elevação do piso de operação EL. 100,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum EL. 97,50 m
- Elevação do NA máximo normal EL. 97,00 m
- As vedações serão fixadas em superfícies usinadas

UHE BELO MONTE

c) Comporta Vagão

As comportas vagão da Tomada d'Água serão usadas para o fechamento de emergência e para a manutenção das unidades geradoras, sendo cada uma acionada por um servomotor hidráulico alimentado por centrais hidráulicas.

Durante a instalação e as manutenções periódicas, as comportas serão manuseadas pelo gancho do pórtico rolante, com auxílio de vigas pescadoras. As comportas terão vedações e paramento a montante.

As características principais das comportas são as indicadas abaixo:

- Tipo de comporta comporta vagão
- Tipo de acionamento mecanismo oleodinâmico
- Paramento e plano de vedação montante
- Número de Tomadas d'Água 18
- Número total de jogos de peças fixas 18
- Número de comportas vagão 18
- Número de pares de dispositivos de calagem da comporta vagão 18
- Número de vigas de apoio dos mecanismos oleodinâmicos. 18
- Vão livre 10.100 mm
- Altura livre 16.455 mm
- Elevação da soleira da comporta EL. 64,50 m
- Elevação do piso de operação EL. 100,00 m
- Elevação da sala da central óleo-hidráulica EL. 100,00 m
- Altura do "cracking" da comporta EL. 150 mm
- Elevação do NA máximo maximorum EL. 97,50 m
- Elevação do NA máximo normal EL. 97,00 m
- Velocidade de elevação 1,6 m/min
- As vedações serão fixadas em superfícies usinadas

Equipamentos de Levantamento

a) Pórticos Rolantes da Tomada d'Água

A Tomada d'Água do Sítio Belo Monte será equipada com dois pórticos rolantes para os serviços de operação, montagem e manutenção dos painéis das comportas ensecadeiras, painéis das grades e comportas vagão e seus respectivos dispositivos de acoplamento.

Os pórticos rolantes e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso desabrigado, comandado através de cabina fechada e equipado com um carro

UHE BELO MONTE

guincho, totalmente coberto, para abrigar os mecanismos do guincho e da direção do carro.

As características principais dos pórticos rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal do gancho principal 1.750 kN
- Capacidade nominal do gancho auxiliar 100 kN
- Comprimento do caminho de rolamento..... 694,00 m
- Elevação do trilho..... EL. 100,00 m
- Vão entre as linhas de centro dos trilhos..... 10,0 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 116,00 m
- Curso de elevação do gancho principal..... 50,00 m
- Velocidades do gancho principal 4,0/0,4 m/min
- Elevação máxima do gancho auxiliar EL. 116,00 m
- Curso de elevação do gancho auxiliar 60 m
- Alcance máximo do gancho auxiliar (em relação ao trilho de montante) 2,50 m
- Velocidades do gancho auxiliar 10,0/1,0 m/min
- Velocidades de translação do carro..... 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação do pórtico 40,0/4,0 m/min

b) Máquina limpa-grades

As máquinas limpa-grades da Tomada d'Água, terão capacidade nominal do rastelo de 50 kN, deverá ser projetada e construída para uso desabrigado, comandada através de cabina fechada e acionada por motores elétricos para os serviços de remoção de detritos e corpos flutuantes acumulados nas grades.

As características principais da máquina limpa-grades são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade volumétrica do rastelo 1,50 m³
- Largura do rastelo 3,00 m
- Capacidade de carga do rastelo..... 50 kN
- Capacidade volumétrica da caçamba..... 6,0 m³
- Curso de elevação do rastelo..... 37,00 m
- Inclinação das grades 0,2H/1,0V
- Elevação do trilho..... EL. 100,00 m
- Vão entre linhas de centro dos trilhos..... 5,25 m
- Comprimento do caminho de rolamento..... 694,00 m
- Velocidade de subida do rastelo..... 16,0 m/min
- Velocidade de descida do rastelo..... 32,0 m/min
- Velocidade de translação 40,0/4,0 m/min

UHE BELO MONTE

10.6.2 Condutos Forçados

Os condutos forçados devem ser fabricados com chapas calandradas, a serem montadas no campo. Cada conduto forçado deve ter uma junta de expansão e dois anéis em sapatas deslizantes para permitir movimento durante dilatação ou contração térmica.

O primeiro anel deslizante (montante) deve estar imediatamente à jusante da junta de expansão, e o segundo anel deslizante deve estar no meio do trajeto entre o anel de montante e o começo do envelopamento de concreto.

Os condutos forçados serão compostos de três partes:

- Trecho reto – iniciando na Tomada d'Água com a linha de centro na El. 67,785 m e 115,643 m a montante da linha de centro das unidades. A linha de centro tem inclinação de 1,2H:1,0V e diâmetro interno de 11,60 m. O trecho reto termina na curva inferior, com comprimento medido na sua linha de centro com 100,227 m. Os primeiros dois metros do trecho reto serão embutidos na estrutura da Tomada d'Água, e o trecho abaixo da El. 14,00 m será embutido na estrutura da Casa de Força. As junta de expansão e anéis de deslizamento irão pertencer à este trecho do conduto.
- Curva inferior – conecta o trecho reto ao tubo de entrada da caixa espiral. Com diâmetro interno variável, para otimizar as perdas de carga, iniciando com 11,60 m e terminando no tubo de entrada da caixa espiral, com diâmetro estimado de 10,80 m. O ângulo descrito é 39,805° (correspondente à inclinação do trecho reto de 1,2H:1,0V), e raio da linha de centro com 29,00 m, resultando em um comprimento desenvolvido de 20,147 m. O ponto de inflexão da curva está na El. -3,00 m (elevação da linha de centro do distribuidor), e 30,58 m a montante da linha de centro das unidades. A curva inferior é completamente embutida no concreto da estrutura da Casa de Força.
- Tubo de entrada na caixa espiral – conectando a curva inferior com a caixa espiral. A seção de entrada estimada da caixa espiral tem diâmetro de 10,80 m, à 12,5 m à montante da linha de centro das unidades, resultando em um comprimento deste trecho de tubo de 7,581 m. O tubo de entrada na caixa espiral será inteiramente embutido na estrutura da Casa de Força.

Comprimento total desenvolvido do conduto forçado é 127,956 m.

- Tipo.....exposto, chapas calandradas de aço
- Quantidade..... 18
- Diâmetro interno.....11.600 mm
- Diâmetro após a redução (diâmetro interno da caixa espiral)10.800 mm
- Espessura mínima da chapa (*)29 mm (*)
- Quantidade de junta de expansão em cada conduto..... 1
- Quantidade de suportes deslizantes em cada conduto..... 2
- Pressão máxima de projeto (altura manométrica mais gradiente hidráulico)1,33 MPa
- Elevação da linha de centro (início do conduto) EL. 67,785 m

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- Elevação da linha de centro (final do conduto) EL. - 3,00 m
- Comprimento total (medido ao longo da linha de centro).....127,956 m
- Elevação do NA máximo normal - Montante..... EL. 97,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum - Montante EL. 97,50 m

(*) A espessura mínima requerida para a chapa do conduto pode ser reduzida utilizando-se anéis de reforço, devidamente espaçados e dimensionados

10.6.3 Casa de Força

Turbinas

As dezoito turbinas hidráulicas, previstas para instalação no Sítio Belo Monte da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, são do tipo “Francis” de eixo vertical, com potência nominal estimada de 619,16 MW adequadas para acoplamento direto a um gerador de corrente alternada, trifásico.

Três (3) destas unidades devem ser fornecidas com todos os equipamentos e acessórios necessários para operação como compensador síncrono.

Cada turbina é prevista para operar eficientemente dentro da faixa de quedas líquidas definidas a partir dos níveis d’água a montante e a jusante, decorrentes das diferentes condições operativas da usina.

A queda líquida de referencia é 86,90 mca, definida como a menor queda para a qual os equipamentos devem produzir e garantir a potência nominal.

A queda mínima operacional está associada como uma recorrência de cheia de 10.000 anos, considerando qualquer unidade operando com a carga máxima disponível para a queda correspondente.

A linha de centro do distribuidor foi configurada na EL. -3,00 m, e deve ser adequada para manter a as unidades geradoras operando dentro da faixa operacional, sem excessiva cavitação ou vibração. A configuração mínima deve levar em conta as variações de nível de jusante, relacionadas com as diferentes condições operacionais.

a) Dados básicos

- Tipo..... turbina Francis, de eixo vertical
- Número de unidades geradoras 18
- Potência nominal 619,16 MW(1)
- Queda líquida de referência 86,900 mca
- Rotação nominal 85,71 rpm

Nota 1: A potência de saída no eixo da turbina deve ser suficiente para produzir uma potência líquida total de 11.000 MW nos terminais do gerador, conseqüentemente podendo ser ajustada de acordo com as eficiências do gerador e transformador, com folgas para consumo interno.

UHE BELO MONTE

b) Níveis de água

- Elevação do NA máximo normal - Montante EL. 97,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum - Montante..... EL. 97,50 m
- Elevação do NA mínimo - Jusante (vazão ecológica de 700 m³/s) ... EL. 2,00 m
- Elevação do NA máximo normal - Jusante (na queda de referência) EL. 5,56 m
- Elevação do NA máximo maximorum – Jusante (cheia de 10000 anos) EL. 11,70 m

c) Quedas operacionais

- Perdas de carga.....3,58 mca na queda de referência e potência nominal
- Queda líquida Máxima (vazão ecológica de 700 m³/s)94,00 mca
- Queda líquida de referência (probabilidade de 5%).....86,90 mca
- Queda líquida Mínima (cheia de 10000 anos)84,30 mca

d) Faixa operacional

As Turbinas devem operar satisfatoriamente, livres de excessiva cavitação ou vibração, quando operando dentro da seguinte faixa operacional:

Tabela 10.5.1 – Faixa Operacional

Faixa de queda	Potência Máxima	Potência Mínima
Acima de 86,90 mca	619,16 MW	249 MW
83,45 mca	582 MW	249 MW

e) Regulador de velocidade

O regulador de velocidade será do tipo PID, digital dedicado.

As unidades hidráulicas serão dotadas de três bombas, sendo duas principais com capacidade combinada para três cursos do distribuidor por minuto, e uma bomba jockey com capacidade para suprir as perdas dos sistemas.

Cada unidade deverá ser dotada de um acumulador ar/óleo, composto por dois tanques, com capacidade combinada para atender três cursos completos do distribuidor, entre a pressão de desligamento das bombas e 80% desta pressão inicial.

- Máxima pressão do sistema 6,4 MPa
- Garantias da regulação:
 - Sobre velocidade máxima 60%
 - Sobre pressão máxima 25%⁽⁴⁾

Nota 4: Sobre pressão máxima medida imediatamente à montante das aletas e referenciadas na elevação da linha de centro. Valor percentual referenciado à pressão estática entre nível máximo de montante e elevação da linha de centro.

UHE BELO MONTE

Equipamentos Hidromecânicos

a) Comportas Ensecadeiras do Tubo de Sucção

As comportas ensecadeiras do Tubo de Sucção serão utilizadas durante o esvaziamento e manutenção das unidades geradoras.

A comporta ensecadeira será metálica de construção soldada, possuindo paramento e plano de vedação voltados para o lado de montante.

Cada comporta ensecadeira será formada por painéis iguais e intercambiáveis exceto o painel superior que será dotado de válvula "by-pass".

Os painéis serão manobrados com o auxílio da viga pescadora montada no gancho do pórtico rolante do Tubo de Sucção. As operações de instalação e retirada dos painéis nas ranhuras serão realizadas sob equilíbrio de pressões hidráulicas. Para a retirada dos painéis, o equilíbrio de pressões será conseguido por intermédio de duas válvulas "by-pass", instaladas no painel superior da comporta, as quais serão acionadas pelo peso próprio da viga pescadora

Em cada ranhura de operação será estocado um painel de comporta.

As características principais das comportas são as indicadas abaixo:

- Tipo de comporta ensecadeira de fundo
- Operação pórtico rolante
- Paramento e plano de vedação montante
- Número de vãos 36
- Número total de jogos de peças fixas 36
- Número de painéis por comporta 04
- Número total de comportas permanentes 04
- Número total de comportas temporárias 16
- Número de vigas pescadoras 02
- Vão livre 12.000 mm
- Altura livre 11.908 mm
- Elevação da soleira da comporta EL. - 23,00 m
- Elevação do piso de operação EL. 13,80 m
- Elevação do NA máximo maximorum de jusante EL. 11,70 m
- Elevação do NA máximo normal de jusante EL. 5,56 m
- As vedações serão fixadas em superfícies usinadas

Equipamentos de Levantamento

a) Pontes Rolantes Principais da Casa de Força

UHE BELO MONTE

As pontes rolantes e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, acionada por motores elétricos e equipada com um gancho principal com capacidade estimada de 8.000 kN, a ser confirmada pela equipamento com maior carga. O rotor do gerador montado será a peça mais pesada a ser içada e transportada pela ponte rolante. Esse içamento poderá ser feito com auxílio de dispositivos especiais acoplados no gancho principal e no rotor do gerador.

O comando de cada ponte será através de cabina aberta fixa sob o passadiço na extremidade da ponte rolante.

As pontes deverão ser usadas em conjunto para a instalação das turbinas e geradores, descarregamento de equipamentos dos caminhões no piso da Área de Montagem assim como para serviços gerais.

Para o manuseio do rotor do gerador, ambas as pontes devem operar conectadas e totalmente sincronizadas (movimentos do gancho principal, translação de carro e ponte).

As características principais das pontes rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal do gancho principal 2 x 4.000 kN
- Capacidade nominal do gancho auxiliar 200 kN
- Capacidade combinada das pontes 16.000 kN
- Comprimento do caminho de rolamento..... 869,00 m
- Elevação do topo do trilho EL. 33,00 m
- Vão entre linhas de centro dos trilhos..... 30,00 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 31,00 m
- Curso de elevação do gancho principal..... 35,00 m
- Velocidades do guincho principal 1,0/0,05 m/min
- Elevação máxima do gancho auxiliar EL. 32,00 m
- Curso de elevação do gancho auxiliar 45,00 m
- Velocidades do gancho auxiliar 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação do carro..... 10,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação da ponte..... 20,0/1,0 m/min
- Operada via controle remoto

UHE BELO MONTE

b) Pontes Rolantes Auxiliares da Casa de Força

As pontes rolantes e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, acionada por motores elétricos e equipada com um gancho principal com capacidade estimada de 800 kN.

As pontes deverão ser usadas em conjunto para a instalação das turbinas e geradores, descarregamento de equipamentos dos caminhões no piso da Área de Montagem assim como para serviços gerais.

As características principais das pontes rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal do gancho principal 800 kN
- Capacidade nominal do gancho auxiliar 200 kN
- Comprimento do caminho de rolamento..... 869,00 m
- Elevação do topo do trilho EL. 26,00 m
- Vão entre linhas de centro dos trilhos..... 29,00 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 24,50 m
- Curso de elevação do gancho principal..... 35,00 m
- Velocidades do guincho principal 4,0/0,4 m/min
- Elevação máxima do gancho auxiliar EL. 24,50 m
- Curso de elevação do gancho auxiliar 35,00 m
- Velocidades do gancho auxiliar 10,0/1,0 m/min
- Velocidades de translação do carro..... 10,0/1,0 m/min
- Velocidades de translação da ponte..... 40,0/4,0 m/min
- Operada via controle remoto

c) Talhas em Monovias da Subestação SF6

As talhas em monovias e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, comandada por botoeira e acionada por motores elétricos e com capacidade nominal de 150 kN.

Serão utilizadas para instalação e manutenção dos equipamentos da galeria da subestação SF6, distribuídas ao longo da galeria

As características principais das talhas em monovias são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal..... 150 kN
- Comprimento das monovias 02 x 735,00 m
- Elevação do piso da galeria EL. 13,80 m
- Elevação do teto da galeria EL. 26,30 m

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- Velocidades do gancho 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação 16,0/1,6 m/min

d) Talhas em Monovias da Galeria Mecânica Superior

As talhas em monovias e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, comandada por botoeira e acionada por motores elétricos e com capacidade nominal de 150 kN.

Será utilizada para instalação e manutenção dos equipamentos da galeria mecânica.

As características principais das pontes rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal..... 150 kN
- Comprimento das monovias 02 x 769,00 m
- Elevação do piso da galeria EL. -4,30 m
- Elevação do teto da galeria EL. 3,75 m
- Velocidades do gancho 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação 16,0/1,6 m/min

e) Talhas em Monovias dos Poços de Drenagem e Esgotamento

As talhas em monovias e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, comandada por botoeira e acionada por motores elétricos e com capacidade nominal de 50 kN e 100 kN.

Será utilizada para instalação e manutenção das bombas e equipamentos montados acima dos poços de drenagem e esgotamento.

As características principais da talha em monovia são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 03+02
- Capacidade nominal..... 03 x 50 kN + 02 x 100 kN
- Comprimento da monovia 05 x 20,00 m
- Elevação do piso do poço de drenagem..... EL. -35,00 m
- Elevação do teto do poço de drenagem EL. 4,10 m
- Elevação do piso do poço de esgotamento EL. -40,00 m
- Elevação do teto do poço de esgotamento..... EL. 4,10 m
- Velocidades do gancho 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação 16,0/1,6 m/min

f) Pórticos Rolantes do Tubo de Sucção

Os pórticos rolantes e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, acionada por motores elétricos e equipada com um gancho principal com capacidade estimada de 550 kN.

UHE BELO MONTE

Serão utilizadas para os serviços de operação, montagem e manutenção dos painéis das comportas ensecadeiras.

As características principais dos pórticos rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal..... 550 kN
- Comprimento do caminho de rolamento..... 690,00 m
- Elevação do topo do trilho EL. 13,80 m
- Vão entre linhas de centro dos trilhos..... 3,00 m
- Elevação máxima do gancho..... EL. 21,00 m
- Curso de elevação do gancho 45,00 m
- Velocidades do gancho 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação do carro..... 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação do pórtilco 40,0/4,0 m/min
- Operada via controle remoto

g) Pórtilco Rolante do Porto

A Porto do Sítio Belo Monte será equipado com um pórtilco rolante para os serviços de descarga de materiais e equipamentos pesados, com capacidade suficiente para levantamento e movimentação na ordem de 3500 KN.

O pórtilco rolante e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso desabrigado, comandado através de cabina fechada e equipado com um carro guincho, totalmente coberto, para abrigar os mecanismos do guincho e da direção do carro.

As características principais dos pórticos rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 01
- Capacidade nominal do gancho principal 3500 kN
- Comprimento do caminho de rolamento..... 50,00 m
- Elevação do trilho..... EL. 13,00 m
- Vão entre as linhas de centro dos trilhos..... 15,0 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 28,00 m
- Elevação mínima do gancho principal EL. 13,00 m
- Velocidades do gancho principal 2,0/0,2 m/min
- Velocidades de translação do carro..... 4,0/0,4 m/min
- Velocidades de translação do pórtilco 10.0/1.0 m/min

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Elevador

Estão previstos três elevadores para transporte de pessoas e equipamentos de pequeno porte, sendo dois elevadores localizados no edifício de controle na ME e mais um na área de montagem da margem direita.

Os elevadores serão do tipo automático, e completo com cabina, portas de entrada, contrapeso, pára-choques, sistema de suspensão e guia, unidade acionadora, controles, operador de portas, indicadores, dispositivos de comando e de segurança, fiação, eletrodutos e todos os demais acessórios necessários.

As características técnicas principais dos elevadores são as indicadas abaixo:

- Tipo: carga / passageiros
- Norma: NBR – 7192 ou NM 207
- Quantidade: 03*
- Capacidade nominal: 1.125 kg 15 passageiros*
- Velocidade: 60 m/min (*)
- Pisos de serviço (paradas): 7 (*)
- Trajeto total:
 - Elevador 1 da EL. -12,70 a EL. 26,30 m (*)
 - Elevador 2 e 3 da EL. -12,70 a EL. 13,90 m (*)
- Largura livre da cabina 2,50 m;
- Profundidade livre da cabina 3,00 m;
- Altura livre da cabina 2,20 m (mínimo)
- Portas da cabina: quantidade 1
- Tipo: corrediça, abertura lateral (2 painéis)
- Acionamento: Automática
- Largura livre da porta 2,00 m (mínimo)

10.7. SISTEMAS AUXILIARES MECÂNICOS

10.7.1 Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem da casa de Força é composto de canaletas coletoras, ralos, tubulações, caixa de separação água e óleo e poço de drenagem. Serão duas estações distintas, cujos poços têm sua estação de bombeamento localizada em Salas de bombas de esgotamento e drenagem (piso da Galeria Elétrica), nas áreas de montagem da margem esquerda e no bloco central. Cada estação de bombeamento será composta por um poço de drenagem equipado por duas bombas do tipo turbina.

Os sistemas deverão ser dimensionados de acordo com os seguintes critérios:

- Água coletada será bombeada para o canal de fuga, acima do nível de água máximo.

UHE BELO MONTE

- Os sistemas são projetados para a máxima disponibilidade, incluindo o abastecimento elétrico a partir da barra de serviços essenciais.
- Cada bomba turbina tem uma capacidade de 150% do fluxo de água estimado, em condições normais.
- Para manutenção do poço deverá ser prevista uma bomba submersível em rebaixo localizado no fundo.
- Cada poço deve ter a disposição para a instalação de uma eventual terceira bomba.
- Deverá ser previsto interligação entre o poço de drenagem e o poço de esgotamento.
- Cada caixa separadora água-óleo deverá ser dimensionada conforme normas API aplicáveis, e previstas todas as tubulações, válvulas, acessórios e bomba submersível para limpeza.
- O volume do poço entre os níveis de início de operação de cada bomba deve corresponder ao volume bombeado por uma bomba em cinco minutos.
- O arranjo do poço e bombas deve atender às recomendações do Hydraulic Institute.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de drenagem é mostrado nos desenhos BEL-B-BM-FL-CAF-210-0001 e 0002.

10.7.2 Sistema de Esgotamento e Enchimento

O sistema de esgotamento e enchimento da Casa de Força é composto de duas estações de bombeamento, localizadas em Salas de bombas de esgotamento e drenagem (piso da Galeria Elétrica), nas áreas de montagem da margem esquerda e no bloco central. Cada estação de bombeamento será composta por um poço de esgotamento equipado por três bombas do tipo turbina.

Para cada conjunto de duas unidades geradoras, suas respectivas válvulas para controle do esgotamento total serão localizadas em uma sala de válvulas de esgotamento, localizada entre as duas unidades a qual se refere.

Cada unidade será equipada com duas válvulas de borboleta para controle do esgotamento parcial, localizadas na galeria de acesso ao Tubo de Sucção, esgotando parcialmente o tubo de sucção e a caixa espiral, abaixo da linha de fundo do distribuidor.

A tubulação de esgotamento da caixa espiral irá descarregar no tubo de sucção da respectiva unidade.

Os sistemas deverão ser dimensionados de acordo com os seguintes critérios:

- Água coletada será bombeada para o canal de fuga, acima do nível de água máximo.
- Esgotamento parcial em não mais de seis horas, e esgotamento total em não mais de oito horas.

UHE BELO MONTE

- A operação de esgotamento deverá ocorrer com as três bombas operando em conjunto, sendo que o tempo de esgotamento inicia quando o nível de água no conduto forçado está em equilíbrio com o nível de água normal de jusante.
- O enchimento das unidades será através de válvulas by-pass instaladas nas comportas ensecadeiras de montante, operadas pela correspondente viga pescadora.
- Tubulação de aeração deve ser prevista nos lados montante e jusante, próximas do teto na região das comportas, sendo que as mesmas devem aflorar acima do nível máximo do reservatório.
- Para manutenção do poço deverá ser prevista uma bomba submersível em rebaixo localizado no fundo.
- O Tanque do sistema de esgotamento deverá ser estanque

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de esgotamento e enchimento é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-211-0001.

10.7.3 Sistema de Água de Resfriamento

O sistema de água de resfriamento da Casa de Força irá fornecer água para todos os trocadores de calor da unidade geradora.

Serão previsto dezoito filtros do tipo auto-limpante, alimentados por tubulação conectada ao conduto forçado da respectiva unidade. Cada filtro deve ter uma capacidade equivalente a 150% da vazão requerida para o funcionamento de uma unidade.

Os filtros das unidades 1 a 10 alimentaram um header de água filtrada que distribui para os pontos de consumo das dez unidades. Ao mesmo tempo, os filtros das unidades 11 a 18 alimentam um segundo header de água filtrada para o consumo de suas respectivas unidades.

Filtros adicionais requeridos para vedação do selo da turbina devem ser previstos pelo fabricante da turbina.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de água de resfriamento é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-212-0001.

10.7.4 Sistema de Água Anti-Incêndio

O sistema de água anti-incêndio da Casa de Força tem a finalidade de eliminar os princípios de incêndios através de uma rede de hidrantes e de um sistema de água nebulizada para os transformadores principais e auxiliares.

O sistema de hidrantes deverá proteger os diversos ambientes da casa de força, através de tubulações e válvulas, caixas de incêndio internas e hidrantes externos, convenientemente dispostos de maneira a se obter uma proteção adequada contra incêndios.

O sistema previsto para proteger os transformadores é do tipo automático, fixo, de água nebulizada com um sistema de detecção de calor. A alimentação dos sistemas de água antiincêndio, tanto de combate quanto de detecção, será proveniente da tubulação principal de água de resfriamento. Será previsto um ramal independente

UHE BELO MONTE

para cada transformador, dotado de válvula de bloqueio, válvula dilúvio, projetores adequadamente dispostos em volta dos transformadores, assim como uma derivação para o sistema de detecção de calor, composto de termo-sensores de temperatura fixa.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de água anti-incêndio é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-213-0001.

10.7.5 Sistema de Água Tratada

Para o sistema de água tratada da Casa de Força deverão ser previstas três estações compactas de tratamento de água, com capacidade mínima de 2,0 m³/h cada, respectivos acessórios e rede de tubulações.

Serão alimentados através destas estações de tratamento três tanques elevados localizados nas áreas de montagem das margens direita, esquerda, e no bloco central.

Não são requeridas bombas para a alimentação das estações de tratamento, que será através do sistema de água de serviço. Como a pressão deste outro sistema já está devidamente equalizada por válvulas redutoras de pressão, não sendo necessárias válvulas redutoras adicionais.

Tubulação dos tanques elevados para os pontos de consumo devem ser previstos pela obra civil.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de água tratada é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-214-0001 e 0002.

10.7.6 Sistema de Coleta e Separação de Água/Óleo Isolante

O sistema de coleta e separação de água/óleo isolante da Casa de Força compreende toda a bacia de contenção dos transformadores, tubulação e o tanque de separação água/óleo.

Serão instaladas três caixas de separação água/óleo, localizadas nas áreas de montagem das margens direita, esquerda, e no bloco central.

A caixa separadora água-óleo deverá ser dimensionada conforme normas API aplicáveis, e previstas todas as tubulações, válvulas, acessórios e bomba submersível para limpeza. Serão construídas em concreto previstas pela obra civil.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de coleta e separação de água/óleo isolante é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-215-0001.

10.7.7 Sistema de Água de Serviço

O sistema de água de serviço destina-se a suprir de água os serviços gerais da Casa de Força, a lavagem dos pisos da casa de força e o sistema de resfriamento dos compressores de ar comprimido de serviço.

O sistema será composto por alimentações derivadas da tubulação principal de água de resfriamento, e de rede de tubulações, de estações redutoras de pressão, onde necessário, além de válvulas e acessórios.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de água de serviço é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-216-0001.

UHE BELO MONTE

10.7.8 Sistema de Esgoto Sanitário

Cada sistema de tratamento de esgoto da casa de força será composto por um tanque de coleta em concreto, bombas helicoidais e uma estação de cloração e tratamento. Serão previsto quatro desses sistemas, nas áreas de montagem das margens direita, na unidade 10, no bloco central e na unidade 18.

Toda tubulação dos pontos de uso para a caixa de coleta serão fornecidos pelas obras civis.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de esgoto sanitário é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-217-0001 e 0002.

10.7.9 Sistema de Ar Comprimido para Serviços Gerais

O sistema de ar comprimido de serviços gerais da Casa de Força irá suprir de ar para serviços tais como, alimentação de válvulas e equipamentos de controle, operação de máquinas e ferramentas pneumáticas, secagem e limpeza de peças e equipamentos situados na casa de força, além do sistema de freios dos geradores.

Serão duas salas de compressores de ar, situadas nos blocos da área de montagem da margem esquerda e no bloco central. Cada sala possui duas centrais de ar comprimido constituídas de compressores, resfriadores posteriores, filtros e reservatórios, sempre com equipamentos de redundância para cada central.

Linhas de distribuição ao longo das diversas galerias, com derivações em ramais dotados de válvulas e acessórios para atender os vários pontos de consumo.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema ar comprimido para serviços gerais é mostrado nos desenhos BEL-B-BM-FL-CAF-220-0001 e 0002.

10.7.10 Sistema de Condicionamento de Ar

O sistema de ar condicionado será provido a todos os ambientes que necessitam condicionamento, como a sala de controle da usina e escritórios locais.

Para a sala de controle serão fornecidos dois sistemas independentes do tipo "self-contained" um principal e um reserva.

Para os escritórios locais o condicionamento de ar será constituído por condicionadores convencional tipo "split".

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de condicionamento de ar é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-230-0001.

10.7.11 Sistema de Ventilação

O sistema de ventilação, compreendendo uma sala de ventilação para cada conjunto de duas unidades geradoras, será responsável pela distribuição de ar por toda a Casa de Força, a fim de manter a temperatura interna não superior a 5°C acima da temperatura externa.

Taxas de renovação de ar são aplicáveis a todos os ambientes.

Sistemas de exaustão independentes deverão ser previstos para o gerador, poços turbina, sala de baterias e instalações sanitárias.

UHE BELO MONTE

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de ventilação é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-234-0001.

10.7.12 Medições Hidráulicas

O sistema de medições hidráulicas será constituído basicamente por instrumentações adequadas à medição de níveis, pressões, vazões de água, fornecendo dados para a operação adequada dos equipamentos da usina e do reservatório.

Deve ser dimensionado para fornecer sinais analógicos para aos seguintes medições:

- Nível de montante (reservatório);
- Nível de jusante (canal de fuga);
- Perdas de cargas nas grades da Tomada d'Água – este sinal também será aplicado para medição da equalização de pressão para remoção das comportas ensecadeiras da Tomada d'Água;
- Equalização de pressão para comando de abertura automática da comporta vagão da Tomada d'Água;
- Equalização de pressão para remoção das comportas ensecadeiras do Tubo de Sucção.

As medições hidráulicas para queda líquida, entrada da caixa espiral, pressão no cone do Tubo de Sucção, Winter-Kennedy e pressão na tampa da turbina são à cargo do fabricante da unidade geradora.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de medições hidráulicas é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-GER-235-0001.

10.7.13 Sistema de Tratamento de Óleo Lubrificante

Este sistema irá fornecer os meios para armazenar, purificar e transferir o óleo entre os pontos consumidores e os tanques de armazenamento.

Será composto por quatro tanques de 10 m³ cada, um purificador de óleo tipo centrífuga móvel com capacidade de 7,5 m³/h, dois tanques móveis com 3,0 m³ cada, dois filtros tipo prensa com 2 bombas de transferência, cada um com uma capacidade de 7,5 m³/h, painéis de controle local e rede de tubulações com válvulas e acessórios.

A rede de tubulação deve ter suas saídas próximas ao piso da área de montagem. As duas salas de estocagem de óleo onde serão locados os tanques fixos, situadas nas áreas de montagem da margem esquerda e no bloco central, devem estar equipadas com um sistema de extinção de incêndios automático por CO₂.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de tratamento de óleo lubrificante é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-236-0001.

10.7.14 Sistema de Combate a Incêndio Móvel

Deve ser previsto um sistema de extintores portáteis de CO₂, distribuídos nas diversas áreas da Casa de Força de acordo com as regulamentações do Corpo de Bombeiros local.

UHE BELO MONTE

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de combate a incêndio móvel é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-282-0001.

10.8. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS PRINCIPAIS

10.8.1 Gerador

Serão instalados 18 (dezoito) geradores na Casa de Força. As suas principais características e equipamentos associados estão listados a seguir:

- Tiposíncrono, eixo vertical, polos salientes, regime contínuo
- Número de fases 3
- Ligaçãoestrela (seis terminais)
- Aterramento através de um transformador de distribuição
- Potência nominal.....679 MVA
- Fator de potência nominal 0,9
- Tensão nominal20 kV (Nota: esta tensão poderá ser otimizada posteriormente)
- Faixa de Tensão..... +5%, -10%
- Frequencia nominal..... 60 Hz
- Velocidade síncrona 85,7 rpm
- Numero de polos 84
- Classe de isolamento do estator F
- Classe de isolamento do rotor F
- Temperatura máxima do enrolamento do estator (medida por RTD), com potência nominal e fator de potência nominal 123°C
(Nota: considerando uma temperatura ambiente de 40°C, água de resfriamento a 30°C e um trocador de calor fora de serviço)
- Temperatura máxima do enrolamento do rotor (medida por RTD), com potência nominal e fator de potência nominal 130°C
(Nota: considerando uma temperatura ambiente de 40°C, água de resfriamento a 30°C e um trocador de calor fora de serviço)
- Constante de inércia (gerador + turbina) 4,67 kW/kVA
- Sequência de fases A, B, C
- Ruído audível, na potência nominal e a 1 m acima da tampa do gerador..... 85 dB
- Reatância subtransitória não saturada (X''_{du}) 0.22 pu
- Reatância síncrona não saturada $\leq 1,1$ pu
- Eficiência, com carga nominal e fator de potência nominal 98,65%
- Dissipação do calor: através de radiadores resfriados com água. A água será retirada do sistema de água de resfriamento da usina.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Nota: a temperatura do sistema de água de resfriamento da usina será considerada como 30°C.

- Os geradores G1, G5 e G9 serão capazes de operar como condensador síncrono.
- Todos os geradores deverão obedecer ao “Submódulo 3.6 – Requisitos técnicos mínimos para a conexão à rede básica” do Operador Nacional do Sistema.
- Excitação:
Tipoestática com controle digital
Transformadores de excitação 3 monofásicos, tipo seco, epoxi
Cubículos de excitação com n+1 pontes conversoras
- Cubículo de aterramento do neutro: será fornecido com um transformador de distribuição, um resistor e outros acessórios necessários. O resistor será dimensionado para limitar o curto-circuito monofásico a 15 A.
- Cubículo de proteção contra surtos e transformadores de potencial
Tipo monofásico
Tensão nominal 24 kV
- Todas as ligações entre o gerador, o transformador elevador, o cubículo de excitação, o cubículo de proteção contra surtos e o cubículo de aterramento do neutro serão com barramento blindado.

10.8.2 Barramento Blindado

As ligações entre o gerador, o transformador elevador e o cubículo de aterramento do neutro serão efetuadas através de barramento blindado. Suas principais características estão listadas a seguir:

- Tipo fases isoladas
- Tensão nominal 24 kV
- Tensão de operação 20.0 kV
- Frequência 60 Hz
- Tensão suportável nominal à frequência industrial, 1 minuto 50 kV
- Tensão suportável nominal de impulso atmosférico 125 kV
- Correntes:
 - Corrente nominal 22000 A
 - Corrente máxima de curto-circuito (simétrico - rms): 175 kA
 - Corrente máxima de curto-circuito (assimétrico - pico): 490 kA
 - Duração máxima do curto-circuito 1 s

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Os barramentos de derivação para o cubículo de excitação e para o cubículo de proteção contra surtos terão as seguintes características principais:

- Tipofases isoladas
- Correntes:
 - Corrente nominal (mínimo) 400 A
 - Corrente máxima de curto-circuito (simétrico - rms):..... 275 kA
 - Corrente máxima de curto-circuito (assimétrico - pico):..... 770 kA
 - Duração máxima de curto-circuito..... 1 s

10.8.3 Transformador Elevador

Será instalado um transformador elevador para cada gerador. As suas principais características estão listadas a seguir:

Características elétricas:

- Tipo:elevador
- Fases trifásico
- Frequência nominal 60 Hz
- Instalação ao tempo
- Isolamento óleo mineral
- Sistema de preservação do óleo conservador
- Resfriamento..... óleo dirigido / ar forçado (ODAF)
- Tensão nominal – enrolamento primário 20000 V
- Tensão nominal – enrolamento secundário 525000 V
- Comutador de derivações
 - Tipo.....sem carga
 - Local de instalação enrolamento secundário (525 kV)
 - Faixa de Tensão $\pm 2 \times 12,5$ kV
- Relação nominal $20 - 525 \pm 2 \times 12,5$ kV
- Ligações dos enrolamentos
 - Baixa tensão (20 kV).....delta
 - Alta tensão (525 kV):.....estrela

UHE BELO MONTE

- Neutro dos enrolamentos de alta tensão acessível / aterrado
- Deslocamento angular..... Ynd1
- Potências nominais (ONAN/ONAF): 510/680 MVA
- Eficiência mínima na potência de 682 MVA e fator de potência unitário..... 99.70%
- Impedância, na base de 680 MVA..... 12%
- Tensões máximas:
 - Enrolamento primário..... 24 kV
 - Enrolamento secundário 550 kV
 - Neutro do enrolamento secundário 24 kV
- Tensões suportáveis nominais à frequência industrial, 1 minuto:
 - Enrolamento primário..... 50 kV
 - Neutro do enrolamento secundário 50 kV
- Tensão suportável de impulso de manobra (onda de 250/2500 μ s):
 - Enrolamento secundário 1300 kV pico
- Tensão suportável de impulso atmosférico (onda de 1.2/50 μ s):
 - Enrolamento primário..... 150 kV
 - Enrolamento secundário 1675 kV
 - Neutro do enrolamento secundário 150 kV
- Tensão suportável de impulso atmosférico– onda cortada:
 - Enrolamento primário..... 165 kV
 - Enrolamento secundário 1842 kV
- Isolamento do transformador:
 - Líquido isolante (isento de DBDS) óleo mineral naftênico
 - Isolamento dos enrolamentos papel termoestabilizado
 - Isolamento do enrolamento primário uniforme
 - Isolamento do enrolamento secundário progressivo
- Temperaturas:
 - Elevação máxima de temperatura do enrolamento (ponto mais quente).... 80°C
 - Elevação média de temperatura do enrolamento (método da variação da resistência) 70°C

UHE BELO MONTE

- Elevação máxima de temperatura do óleo (topo):..... 65°C
- O transformador será projetado para fornecer a sua potência nominal com um radiador fora de serviço

10.9. SUBESTAÇÃO ISOLADA A SF6

A subestação UHE Belo Monte SF6 - 525 kV terá a função de coletar a energia, em média tensão, de cada uma das 18 unidades geradoras da UHE Belo Monte, transformá-la para 525 kV e disponibilizá-la para transporte, através de 5 linhas de transmissão de 525 kV, até o pátio “Coletora Belo Monte” de propriedade de consórcio Norte Energia a ser instalado na SE Xingu de propriedade da Isolux-Corsán Energia, localizada a, aproximadamente, 17 km da UHE Belo Monte.

Diante das condições restritivas de espaço físico na Casa de Força a solução para esta subestação foi adotar a tecnologia de isolamento à SF6 na sua concepção.

Em função de tal definição e se valendo de estudos de confiabilidade, resultado de extensas verificações de arranjos utilizando essa tecnologia, concluiu-se pela viabilidade de configurar a subestação no esquema de manobra de Barra Simples em SF6.

Para estruturar essa configuração foram estabelecidos três módulos básicos constituídos de unidades compactas GIS denominados:

- Módulo de Conexão de Transformador;
- Módulo de Conexão de Linha;

O Módulo de Conexão de Transformador é constituído de unidades compactas GIS, isoladas em gás SF6, dotadas de equipamentos de manobra (disjuntor, seccionadores e seccionadores de aterramento), Transformador de Corrente, barramentos isolados para conexão da unidade às buchas de alta tensão dos transformadores elevadores e barramentos isolados para conexão da unidade à Seção de Barramento de conexão de Linha.

O Módulo de Conexão de Linha é constituído de unidades compactas GIS, isoladas em gás SF6, dotadas de equipamentos de manobra (disjuntor, seccionadores e seccionadores de aterramento), Transformador de Corrente, Transformadores de Potencial Capacitivo, barramentos isolados compondo a unidade de seção de barra com TPC de Barra incorporado e barramento isolado de saída de linha, dotado de buchas de 525 kV para conexão às LTs convencionais de 525 kV, ancoradas nos pórticos, especificamente projetados para recebê-las.

Nas saídas de linha estão previstos 3 pára-raios, monopolares, do tipo convencional, instalação ao tempo, adequados para proteção de sobretensões dos equipamentos da SE. Os pára-raios serão instalados em viga metálica, especialmente projetada para recebê-los. Essas vigas fazem parte dos pórticos de ancoragem das respectivas Linhas de Transmissão de 525 kV. O quantitativo acima indicado é orientativo e deverá ser confirmado no estudo de coordenação de isolamento.

Para uma visualização completa da subestação Belo Monte 525 kV – SF6 ver o desenho BEL-B-BM-DE-GER-300-0002 – Diagrama Unifilar Simplificado disponibilizado em anexo:

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

10.9.1 Características Principais das Unidades Compactas GIS – SF6

a) Características Gerais – Norma IEC (-25°C/+40°C):

- Tensão máxima de operação 550 kV
- Frequência 60 Hz
- Nível de Isolamento
 - Impulso atmosférico 1675 kVp
 - Impulso de manobra 1300 kV
- Corrente Nominal 4000 A
- Nível de curto Circuito 63 kA (t=1 seg.)
- Nível de Pressão do gás SF6 a 20 °C
 - De preenchimento 3,5 bar
 - Alarme 3,18 bar
 - Mínimo (desligamento) 3,05 bar

b) Disjuntor

- Corrente Nominal 2000/4000 A [1]
- Capacidade de interrupção simétrica 50-63 kA
- Capacidade de fechamento 125-160 kAp
- Sequência de operação O – 0,3s – CO – 3 min. – CO
[1] Ver Diagrama Unifilar desenho BEL-B-BM-DE-GER-300-0002
- Nível de Pressão do gás SF6 a 20°C
 - De preenchimento 5,5-6,5 bar
 - Alarme 5,05-6,1 bar
 - Mínimo (desligamento) 4,95-6,0 bar

c) Secionador

- Nível de Isolamento
 - Impulso atmosférico 1675+300 kVp
 - Impulso de manobra 1300 kV

d) Secionador de aterramento

- Capacidade de fechamento 125-160 kAp

e) Transformador de Corrente

Transformador de Corrente 525 kV, NBI 1675 kV, com 3 núcleos, sendo 2 para serviços de proteção e 1 para serviços de medição operacional:

TC dos Módulos de Conexão de Transformadores – Geradores

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- Relação 2000-5-5A (RM)
- Serviços de Proteção 10B800
- Serviços Medição 0,3C50

TC dos Módulos de Conexão de Linha

- Relação 4000-5-5A (RM)
- Serviços de Proteção 10B800
- Serviços Medição 0,3C50

f) Transformador de Potencial

Transformador de Potencial Capacitivo monofásico, $517,5/\sqrt{3}$ kV, de relação $517500/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3}$ V

- Tensão Nominal $525/\sqrt{3}$ kV eficaz
- Tensão Suportável Nominal a Impulso Atmosférico 1675 kV crista
- Tensão Suportável Nominal a Impulso de Manobra 1300 kV crista
- Tensão Suportável Nominal a Frequência Industrial, 1 min. 680 kV eficaz

As características acima são orientativas e deverão ser confirmadas no Projeto Básico Consolidado em função da definição do fornecedor do sistema SF6 e dos estudos sistêmicos para implantação da UHE Belo Monte.

10.9.2 Equipamento complementar, convencional

a) Pára-raios monopolar para sistema de 550 kV, frequência nominal 60 Hz, tipo construtivo ZnO, corrente nominal de descarga de 20kA dotado de com contador de descargas;

- Tensão Nominal 420 kV
- Corrente Nominal de Descarga 20 kA
- Corrente de curto circuito 40 kA
- Máxima Tensão de Operação Contínua (valor mínimo)..... 340 kVef
- Corrente de Impulso de Curta Duração (valor mínimo)..... 100 kAcrista
- Capacidade do Dispositivo de Alívio de Pressão Simétrica 50 kAef

As características acima são orientativas e deverão ser confirmadas no Projeto Básico Consolidado em função da definição do fornecedor do sistema SF6 e dos estudos sistêmicos para implantação da UHE Belo Monte.

10.10. SISTEMAS AUXILIARES ELÉTRICOS

Um conjunto completo de equipamentos e sub-sistemas será utilizado para fornecer energia a todas as cargas elétricas da planta e para prover meios para a proteção pessoal e geral das instalações. Todas as instalações elétricas serão projetadas conforme normas ABNT.

UHE BELO MONTE

Os sistemas auxiliares incluem:

- Serviços auxiliares em corrente alternada.
- Serviços auxiliares em corrente contínua.
- Sistema de aterramento e proteção contra descargas atmosféricas.
- Sistema de vias de cabos.
- Sistema de cabos isolados.
- Sistema de iluminação e tomadas.

A concepção dos serviços auxiliares elétricos é apresentada nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-320-0001 – Sítio Belo Monte - Serviços Auxiliares em Corrente Alternada - Diagrama Unifilar Simplificado e BEL-B-BM-DE-GER-325-0001 – Sítio Belo Monte - Serviços Auxiliares em Corrente Contínua - Diagrama Unifilar Simplificado.

10.10.1 Serviços auxiliares de corrente alternada

a) Descrição geral

O sistema de serviços auxiliares CA da usina é composto pelos seguintes elementos:

- Cubículos de média tensão com reatores limitadores de corrente, 20 kV;
- Transformadores auxiliares das unidades, 20000/13800 V;
- Grupos geradores de emergência a diesel, 6.9 kV;
- Cubículos de distribuição de média tensão, 13.8 kV;
- Subestações unitárias 13800/460 V;
- Centros de controle de motores 460 V, para cargas auxiliares das unidades geradoras;
- Painéis de distribuição 460 V, para cargas gerais da usina.

O arranjo dos elementos acima é feito de maneira que haja redundância nas alimentações desde as unidades geradoras principais até os painéis de alimentação das cargas consumidoras (centros de controle de motores ou painéis de distribuição 460 V). Assim, uma falha em qualquer componente a montante desses painéis não provoca a desenergização de nenhuma carga consumidora, uma vez que haverá sempre caminhos alternativos para a energização desses painéis.

De modo particular, no setor de média tensão (20 kV e 13.8 kV) a falha em dois componentes (cubículos, transformadores ou cabos) não afeta o funcionamento do sistema auxiliar. No setor de baixa tensão, falha em um transformador, em uma barra do painel BT das subestações unitárias, ou em um cabo de saída, não causa restrições operacionais ao sistema auxiliar. Uma falha nas duas barras do painel BT provocará a parada de duas unidades geradoras principais e restrições em alguns sistemas auxiliares. Falhas nos centros de controle de motores provocarão a parada da unidade geradora associada.

A configuração do sistema auxiliar CA representa um compromisso entre a confiabilidade frente a falhas em seus componentes, como exposto acima, e a simplicidade operacional do sistema, que permite chaveamentos e transferências de

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

fontes de maneira rápida e segura, tanto em operação manual como em operação automática pelo sistema digital da usina.

b) Princípios de operação e critérios de dimensionamento

O sistema de serviços auxiliares CA possui três fontes alimentadoras:

- Alimentação principal:
 - derivada de oito unidades geradoras principais (unidades de ordem ímpar: G1, G3, G5, G7, G9, G11, G13, G15) através de quatro transformadores auxiliares TA.
- Alimentação alternativa:
 - fonte externa proveniente da subestação Belo Monte, alimentada por linhas de transmissão 69 kV.
- Alimentação de emergência:
 - fornecida por grupos geradores de emergência a diesel.

A fonte principal e a alternativa alimentam a totalidade das cargas do sistema auxiliar da usina, sem nenhuma restrição operacional. A fonte de emergência estará dimensionada para alimentar somente as cargas essenciais da usina quando houver falha nas fontes principal e alternativa.

Durante a operação normal do sistema as cargas são alimentadas por no mínimo 2 transformadores auxiliares TA. A configuração do sistema em operação normal é definida pela disponibilidade dos transformadores auxiliares, dos cubículos e cabos de média tensão e, ainda, das unidades geradoras principais em operação.

Com o sistema alimentado pelas fontes de emergência as barras não essenciais dos painéis de distribuição 460 V são desligadas. A operação em emergência ocorre devido a falha nas fontes normais e alternativas ou durante a partida da primeira unidade geradora com a usina isolada do sistema elétrico externo (SE Belo Monte 69 kV desenergizada).

• Transformadores auxiliares das unidades (TA1/3/9/11)

Cada transformador estará dimensionado para alimentar metade do total das cargas da usina e apresentará as seguintes características principais:

- tipo: transformador de potência
- isolamento: óleo mineral
- refrigeração: ONAN
- uso: externo
- comutador de tapes: sob carga
- relação nominal: 20000 ± 8 x 1.25% - 13800 V
- potência nominal: 10000 kVA

• Transformadores das subestações unitárias (TS11/TS12)

Cada transformador será dimensionado para alimentar o total das cargas da subestação unitária, com as seguintes características principais:

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- tipo: transformador de potência
- isolamento: seco
- refrigeração: AN
- uso: interno
- instalação: em cubículo metálico com grau de proteção IP-21
- comutador de tapes: sem carga
- relação nominal: $13800 \pm 2 \times 2.50\%$ - 460 V
- potência nominal: 500~2000 kVA
- Grupos geradores de emergência (GD1, GD2)

A usina possuirá dois grupos geradores dimensionados para alimentar as cargas essenciais da Casa de Força, Subestação SF6 e Tomada d'Água durante as seguintes situações:

- Operação normal – usina parada:

Os geradores de emergência alimentam as cargas auxiliares enquanto as unidades geradoras G1, G3, G5, G7, G9, G11, G13, G15 estiverem paradas e não houver fonte externa (fonte alternativa). Nesta situação somente as cargas essenciais (sistema de drenagem, carregadores de baterias, iluminação essencial, entre outros) são alimentadas pelos geradores de emergência. Cargas típicas de manutenção (pontes rolantes, elevadores, tomadas de força) não são utilizadas neste período.

- Operação normal – partida de unidade geradora:

Os geradores de emergência alimentam as cargas auxiliares durante a partida (não simultânea) das duas primeiras unidades geradoras principais (que alimentam diferentes transformadores auxiliares TA), com a usina desligada do sistema elétrico externo (*black start*), e durante a operação normal dessas unidades até a energização dos transformadores auxiliares TA associados.

Os geradores de emergência não são dimensionados para alimentar indefinidamente as cargas auxiliares com as unidades geradoras principais em operação normal ou para alimentar as cargas auxiliares durante a partida das demais unidades geradoras. Assim, a manutenção das unidades principais em operação e a partida das unidades restantes somente ocorre com o sistema auxiliar alimentado por sua fonte normal ou alternativa.

- Operação de emergência:

Os geradores são utilizados para manter as unidades geradoras principais em operação no caso de falha da alimentação normal e alternativa. Nesta situação os geradores possuirão capacidade suficiente para alimentar as cargas essenciais e permitir a parada não simultânea de todas as unidades geradoras (parada programada).

Os geradores apresentarão as seguintes características principais:

- tipo: estacionário

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- uso: abrigado
- combustível: diesel
- gerador: síncrono
- refrigeração: auto ventilado
- potência nominal (*standby*): 3750 kVA
- potência nominal (*prime*): 3375 kVA
- tensão nominal: 6.9 kV
- capacidade do tanque de combustível: 24 horas de operação

Os geradores estarão conectados ao sistema 13.8 kV por meio de transformadores elevadores.

Os geradores de emergência não operarão em paralelo com as fontes principais e alternativas.

- Cubículos de média tensão

Os cubículos de média tensão da usina são:

- Cubículos dos reatores CR – conectam o circuito das unidades geradoras principais aos transformadores auxiliares TA, com reator para limitação das correntes de curto-circuito. Os reatores serão dimensionados para limitar as correntes de falha em valores inferiores a 25 kA.
- Cubículos de distribuição CM/CMA1 – promovem a distribuição da energia em 13.8 kV desde os transformadores auxiliares TA e desde a fonte alternativa (subestação 69 kV) e de emergência até os transformadores das subestações unitárias.

Os cubículos de média tensão possuirão disjuntores extraíveis, com extinção a vácuo ou SF6, com comando local e remoto. A transferência de alimentação por perda das fontes é feita automaticamente pelo sistema de controle digital da usina.

- Painéis de baixa tensão

Os painéis de baixa tensão estão associados às subestações unitárias e à alimentação das cargas consumidoras:

- Painéis BT das subestações unitárias SU – distribuem a tensão 460 V recebida dos transformadores 13800 – 460 V das subestações unitárias aos painéis de alimentação das cargas ou diretamente a cargas consumidoras. Cada transformador e cada barra dos painéis são dimensionados para atender à carga total do painel.
- Centro de controle de motores 460 V CCM – painel de alimentação das cargas auxiliares das unidades geradoras principais. Está previsto um painel de barra simples para cada unidade geradora.
- Painel de distribuição 460 V CCG – painel de alimentação das cargas gerais da usina. Está previsto um painel por sub-sistema auxiliar ou por área da usina.

UHE BELO MONTE

Os disjuntores de entrada e interligação dos painéis BT serão do tipo *power*, extraíveis, com comando local e remoto. Os chaveamentos necessários para transferência de fontes de alimentação serão feitos automaticamente pelo sistema digital da usina.

Os circuitos de saída de alimentação das cargas consumidoras possuirão as seguintes características:

- Demarrador (motor):
 - com disjuntor-motor termo-magnético, fixo, comando manual com manopla rotativa;
 - com contator magnético;
 - montagem em gaveta extraível.
- Alimentador (cargas gerais):
 - com disjuntor caixa-moldada termo-magnético, fixo, comando manual com manopla rotativa;
 - montagem em gaveta extraível.

10.10.2 Serviços auxiliares de corrente contínua

O sistema de serviços auxiliares de corrente contínua é formado por cinco módulos independentes, cada um composto por:

- 2 carregadores de baterias 125 Vcc;
- 2 bancos de baterias chumbo-ácidas 125 Vcc com 60 elementos cada;
- 2 painéis de distribuição principais;
- Painéis de distribuição 125 Vcc para alimentação das cargas consumidoras;
- Sistema ininterruptível de energia (UPS), com entrada em 125 Vcc e saída em 120 Vca, com comutador estático de bypass, para alimentação de todos os equipamentos associados aos sistemas de controle e supervisão em corrente alternada, e demais equipamentos que não puderem ser alimentados diretamente em 125 Vcc.

Cada módulo compreende as cargas auxiliares de blocos compostos por 4 ou 3 unidades geradoras principais e demais cargas dos sub-sistemas auxiliares próximos a cada bloco.

O arranjo adotado apresenta redundância de alimentação para todas as cargas consumidoras. Uma falha em qualquer parte do sistema auxiliar não causa nenhuma restrição operacional ao sistema.

Princípios de operação e critérios de dimensionamento

O sistema auxiliar CC é alimentado a partir das barras essenciais dos Painéis de Distribuição 460 V (CCG1~9). As duas alimentações de cada Módulo CC são provenientes de painéis de distribuição distintos, assegurando a continuidade da alimentação mesmo havendo falha em um dos painéis alimentadores.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Todas as cargas consumidoras possuirão duas entradas de alimentação CC, agrupadas através de diodos, provenientes de barras distintas do Painel de Distribuição correspondente.

- Operação normal

A operação normal do sistema é feita com os dois conjuntos carregador+bateria ligados aos painéis de distribuição principais.

- Operação com um conjunto carregador+bateria

Durante a operação com um conjunto carregador+bateria fora de serviço, o conjunto restante possuirá capacidade para alimentar a totalidade das cargas, sem degradação do sistema auxiliar. Assim, cada carregador será dimensionado para alimentar todas as cargas do Módulo e, simultaneamente, carregar a bateria associada.

- Operação somente com baterias

Durante a ausência de tensão CA, devido a falha nas fontes CA ou nos dois carregadores do Módulo, o sistema CC é alimentado pelas baterias durante um período limitado de tempo. Duas situações são previstas:

- Caso 1 – falha nos carregadores

Neste caso os carregadores estão fora de operação e o sistema CA permanece em operação normal. O perfil das cargas CC é determinado considerando-se as operações:

- os geradores das unidades principais são mantidos em operação normal;
- haverá parada programada não simultânea das 3 ou 4 unidades alimentadas pelo Módulo CC no final do ciclo de descarga das baterias.

- Caso 2 – falha nas fontes CA

No caso de perda total das fontes de alimentação CA, devido a falha nos transformadores auxiliares e geradores de emergência, todas as unidades principais são paradas sucessivamente, com as baterias alimentando as cargas residuais. Operações efetuadas:

- transferência de fontes CA por falha ou desenergização dos transformadores (fontes normais e alternativas) para os geradores de emergência;
- após transferência mal sucedida, confirmando a falha também nos geradores de emergência, inicia-se a parada simultânea de todas as unidades principais;
- as cargas residuais do sistema CC são alimentadas pelas baterias até o final do ciclo de descarga.

Durante o período de operação sem alimentação CA admite-se que as duas baterias do Módulo estejam em operação normal e totalmente carregadas. As duas baterias serão dimensionadas para fornecer, em conjunto, energia às cargas por um período de 8 horas, mantendo as tensões dentro dos níveis admissíveis. O uso de diodos nas

UHE BELO MONTE

cargas consumidoras, com dois circuitos de entrada simultaneamente energizados, garante uma distribuição igual de carga entre as duas baterias.

- Carregadores de baterias (CB11, CB12)

Os carregadores possuirão duas saídas, uma para a bateria e uma para os consumidores (painéis de distribuição). A saída para consumidores possuirá unidades de diodos de queda para reduzir a tensão nas cargas durante o período de equalização da bateria.

- Baterias de acumuladores (B11, B12)

As baterias apresentarão as características:

- aplicação: estacionárias
- tipo de elemento: chumbo-ácida
- material ativo: chumbo-cálcio ou liga chumbo-antimônio
- construção: ventilada
- número de elementos por bateria: 60
- tensão nominal: 125 Vcc

10.10.3 Instalações Elétricas

Sistema de aterramento e proteção contra descargas atmosféricas

O sistema de aterramento será dimensionado para manter as tensões de passo, toque e malha dentro dos limites admissíveis para a segurança pessoal, e para prover caminhos para circulação de correntes de falha à terra de maneira a minimizar danos pelos efeitos térmicos ou pelas sobretensões geradas.

O sistema de aterramento da usina é composto por:

- Sistema de aterramento embutido e enterrado

Consiste no conjunto de condutores embutidos no concreto ou enterrados diretamente no solo onde são ligados os equipamentos, estruturas metálicas que devem ser aterradas e os neutros dos diversos circuitos elétricos existentes. Sua função é prover um caminho de retorno de correntes de falha aos neutros de suas fontes e prover meios de dissipação à terra de correntes de falha com neutro remoto ou correntes de surto, além de formar um plano equipotencial para toda a usina.

As barras de aço das paredes e pisos de concreto são consideradas como parte do sistema de aterramento. Com a finalidade de evitar a circulação de altas correntes pelas barras de aço, uma malha de baixa densidade formada por cabos de cobre é embutida no concreto dos pisos da Casa de Força, criando um caminho preferencial para a circulação das correntes de falha. Esta malha é firmemente conectada às barras de aço, garantindo a formação de uma malha única cobre + aço.

Nas subestações o sistema de aterramento é composto por uma malha de cabos de cobre dispostos horizontalmente enterrada em toda a extensão da subestação.

UHE BELO MONTE

Hastes verticais serão conectadas aos cabos horizontais em todo o perímetro da malha e próximas a para-raios.

Uma malha de cobre densa é embutida no concreto nos locais onde são instalados painéis ou outros equipamentos eletrônicos sensíveis. Nas subestações, uma malha densa é instalada junto aos equipamentos de manobra de operação manual (seccionadoras), para maior segurança do operador.

As malhas individuais de cada setor são interligadas por, no mínimo, dois cabos de cobre para garantir o mesmo potencial em todas as áreas e para reduzir a resistência equivalente total do sistema de aterramento.

- Sistema de aterramento exposto

Conjunto de cabos de cobre que conectam os equipamentos elétricos e estruturas ao sistema embutido e enterrado.

O sistema exposto é formado, também, por condutores instalados nas vias de cabos (leitos, eletrocalhas, dutos) acompanhando os cabos dos circuitos de força, com finalidade de proporcionar um caminho de retorno para correntes de sequência zero de baixa impedância próximo aos cabos de fase, reduzindo ruídos, interferências e circulação de correntes espúrias pela usina.

- Sistema de aterramento aéreo

Conjunto de condutores, captosres e acessórios destinados à proteção dos equipamentos e estruturas contra descargas atmosféricas.

Este sistema é conectado ao sistema embutido e enterrado por meio de cabos de cobre ou pelas barras de aço das estruturas de concreto das edificações.

O arranjo do sistema de proteção contra descargas atmosféricas é projetado com base nos requisitos nas normas ABNT ou IEC. De maneira particular, o sub-sistema de aterramento aéreo (captosres) terá sua configuração determinada com a utilização do método eletrogeométrico.

As conexões e emendas de todos os condutores de cobre enterrados ou embutidos serão feitas pelo processo exotérmico. Os cabos de cobre embutidos são conectados às barras de aço das estruturas do concreto por meio de braçadeiras aparafusadas. As conexões expostas são efetuadas com conectores de pressão (aparafusados).

Sistema de vias de cabos

O sistema de vias de cabos é constituído por todos os meios e materiais utilizados para a instalação de cabos isolados, independentemente de sua aplicação (cabos de força, média e baixa tensão, cabos de comando, comunicações, fibras-ópticas, etc.).

As vias de cabos utilizadas são, por ordem preferencial:

- Leitos de cabos.
- Eletrocalhas fechadas.
- Perfis metálicos com tampa.
- Conduítes metálicos.

UHE BELO MONTE

- Bancos de dutos.
- Canaletas.

A passagem de cabos de um piso a outro será feita através de *block-outs* no piso.

Os tipos de vias e seu arranjo são definidos de modo a evitar interferências entre diferentes circuitos, assegurando uma adequada compatibilidade eletromagnética.

a) Sistema de cabos isolados

Os seguintes tipos de cabos serão utilizados:

- Cabos para circuitos de força, classe 8,7/15 kV
Cabos formados por fios de cobre eletrolítico nus, têmpera mole, isolamento em EPR ou XLPE, cobertura de PVC.
- Cabos para circuitos de força, classe 0,6/1,0 kV
Cabos unipolares, com condutor de cobre eletrolítico, têmpera mole, classe de encordoamento 4 ou 5, isolação em EPR 90°C e cobertura externa em PVC.
- Cabos para circuitos de iluminação e tomadas, classe 750 V
Cabos unipolares, com condutor de cobre eletrolítico, têmpera mole, classe de encordoamento 4 ou 5, isolação em PVC 70°C sem cobertura externa.
- Cabos para circuitos de controle, classe 1,0 kV
Cabos para condução de sinais analógicos de baixa tensão, como circuitos secundários de TC e TP, sinais aquisitados por cartões de entradas digitais de PLCs, contatos de relés convencionais e de proteção, terão classe de isolamento de 1,0 kV, com blindagem coletiva de fita de cobre.
- Cabos para instrumentação, classe 300 V
Os cabos para a condução de sinais analógicos de extra baixa tensão, como por exemplo, transmissores ou transdutores (4 a 20 mA) e RTDs, são denominados de "instrumentação para sinais analógicos". Estes cabos terão classe de isolamento 300 V, formação em pares ou ternos torcidos com passo inferior a 100 mm, com blindagem por par ou por terno e blindagem coletiva, ambas de fita de poliéster aluminizada e fio de dreno de cobre, estanhado.
Para condução de sinais binários, serão empregados cabos multicondutores, blindados com fita de poliéster aluminizado.
- Cabos para comunicações
Os cabos para interligação entre painéis modulares de sistema de cabeamento estruturado, central telefônica, DG e estruturas serão próprios para redes telefônicas internas ou externas, com condutores de cobre, estanhados e isolados em PVC.
Os cabos do sistema de cabeamento estruturado serão do tipo STP, categoria 6, classe D, conforme ISO/IEC 11801. A formação será de 4 pares torcidos com blindagem por par e blindagem coletiva, ambas de fita de poliéster aluminizada.
Os fios telefônicos serão do tipo FI, constituídos por dois condutores de cobre estanhado de 0,6 mm de diâmetro, isolados com PVC.

UHE BELO MONTE

- Cabos de fibras ópticas.

Os cabos de fibra óptica serão do tipo multimodo ou monomodo, conforme aplicação, totalmente dielétricos, dotados de capa externa com boa resistência mecânica e à abrasão.

- b) Sistema de iluminação e tomadas

O sistema de iluminação atenderá a todas as áreas internas das estruturas civis principais e auxiliares, tais como barragem, tomada d'água, vertedouro, etc., bem como os pátios externos e as vias de acesso, estendendo-se até os limites dos portões principais do empreendimento. O sistema de tomadas inclui tomadas trifásicas e monofásicas 220/127 V instaladas nas paredes das áreas construídas.

Os equipamentos de iluminação são definidos e distribuídos de maneira a obter os melhores resultados luminotécnicos, de acordo com os níveis de iluminação recomendados pelas normas técnicas da ABNT.

O sistema de iluminação é dividido em:

- Iluminação normal

É a iluminação geral e principal da usina, alimentada pelos pela fonte principal e alternativa do sistema de serviços auxiliares CA (transformadores auxiliares). No caso de falha no sistema CA esses circuitos de iluminação são desligados.

A iluminação normal representa aproximadamente 70% dos níveis de iluminação requeridos.

- Iluminação essencial

Os circuitos de iluminação essencial são normalmente alimentados pela fonte principal e alternativa. Em caso de falha nessas fontes, os circuitos essenciais são alimentados pelos grupos geradores de emergência, através das barras essenciais dos painéis de distribuição.

A iluminação essencial representa aproximadamente 30% dos níveis de iluminação.

- Iluminação de emergência (rotas de fuga)

A iluminação de emergência tem por objetivo prover iluminação e balizamento necessários para garantir uma evacuação segura quando os circuitos de iluminação normal e essencial estiverem desligados. Para isto, em todas as áreas da usina serão instalados módulos de iluminação autônomos com lâmpadas fluorescentes ou halógenas, com bateria interna, alimentados a partir dos circuitos essenciais do sistema de tomadas. Esses módulos apresentarão uma autonomia mínima de 2,5 horas, ativadas automaticamente na ausência de tensão CA de alimentação, permanecendo apagadas durante a operação normal do sistema de iluminação.

UHE BELO MONTE

10.11. SISTEMA DE SUPERVISÃO, CONTROLE E PROTEÇÃO DA USINA E DA SUBESTAÇÃO

10.11.1 Sistema Digital de Supervisão e Controle

Considerações gerais

A Usina Belo Monte será projetada com recursos para permitir operação não atendida, ou seja, de modo que possa ser controlada e supervisionada a partir de um sítio externo, embora, dada a sua magnitude, provavelmente vá ter equipes de operação no local, 24 horas por dia.

Todos os equipamentos e sistemas principais serão dotados de instrumentos que permitam a supervisão contínua do estado operacional e a detecção de condições anormais. Desta forma, será possível implementar automatismos para garantir a continuidade dos serviços e prover o operador com as informações necessárias para tomar decisões corretas. Além disto, a instrumentação deverá detectar, na medida possível, a “causa primeira” da condição anormal, de modo que as equipes de manutenção com a especialização adequada possam ser acionadas prontamente.

No âmbito da própria usina, haverá níveis de controle local e centralizado; os modos de controle serão manual e automático.

Estrutura do sistema

O sistema de supervisão e controle da usina (SDSC) será composto por equipamentos digitais e convencionais (a relés).

O sistema digital, estruturado em rede hierárquica distribuída, será baseado em equipamentos microprocessados. O sistema convencional será utilizado essencialmente para as funções de segurança e como retaguarda.

A configuração será baseada em elementos da linha de produtos de automação, tais como controladores lógicos programáveis (CLPs), redes de comunicação, servidores de base de dados e estações de operação adequados para o ambiente de usinas e subestações. *Softwares* básicos e aplicativos deverão propiciar alto nível de confiabilidade e segurança de operação.

O controle e a supervisão da usina e da subestação serão efetuados normalmente a partir da sala de controle central. Desse local poderão ser operadas as unidades geradoras, as comportas da tomada de água, os sistemas auxiliares e a subestação. O sistema instalado na usina irá se comunicar também com o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, com o Centro de Operação Regional (COR) e com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE. Conversores de protocolo serão utilizados conforme necessários.

Os equipamentos do SDSC terão sincronização do relógio calendário a partir de centrais horárias que receberão sinais do sistema GPS.

Estão previstos os seguintes níveis hierárquicos de controle principais:

- Nível 3 (Externo);
- Nível 2 (Central);
- Nível 1 (Local);

UHE BELO MONTE

- Nível 0 (junto aos equipamentos).

O nível 3 corresponde ao ONS, que, através de canais de telecomunicação redundantes, receberá os dados da usina e poderá efetuar comandos pertinentes às suas atribuições, como controle da geração e ao COR.

O nível 2 será constituído pelas estações de operação, estação de engenharia, servidores de base de dados e processadores de comunicação. Nesse nível serão possíveis o controle e supervisão geral da usina e da subestação, a comunicação com os centros de operação do sistema, os comandos de partida manual e automática, sincronização, paradas normal e de emergência, controles de carga e de tensão, etc. Para os servidores de dados históricos será provido um sistema de “cluster” com meios para inserção de discos rígidos a quente.

O nível 1 será constituído pelos CLPs, dotados de dispositivo de interface humano - máquina. Os CLPs irão se comunicar com o nível 2 através de redes locais (LANs). A operação nesse nível ocorrerá em caso de indisponibilidade do nível central ou em situações de testes. O alcance das ações de controle, nesse caso, será limitado aos equipamentos vinculados a cada CLP, que fará interface com o processo (equipamentos e sistemas supervisionados / controlados), para coletar dados e para efetuar comandos, através de redes de comunicação digital e através de conexão fio a fio (“hard-wired”). A quantidade de CLPs e de módulos de entrada / saída distribuídos será determinada com base em critérios funcionais e geográficos.

Como regra geral, os equipamentos e sistemas que constituem o “processo” terão meios próprios para controle através de painéis instalados junto a eles (nível 0), seja para efetuar suas próprias lógicas e automatismos, como no caso dos reguladores de velocidade e de tensão, seja para fins de manutenção, testes e para permitir comandos locais em caso de perda de comunicação com os níveis superiores.

O SDSC da UHE Belo Monte será elaborado de modo a incorporar também funções relativas à UHE Pimental, de modo que esta usina possa ser supervisionada e comandada a partir da sala de controle de Belo Monte. Para este fim, haverá integração entre as redes de controle de ambas as usinas, através do sistema de telecomunicações. Deste modo, poderão ser controlados não só as unidades geradoras, a subestação e os sistemas auxiliares de Pimental, como também as comportas do vertedouro, que está localizado neste último sítio. Para facilitar a visualização geral das instalações, está prevista a instalação de um “vídeo wall” na sala de controle de Belo Monte.

A arquitetura orientativa do sistema é apresentada no desenho BEL-B-BM-DE-GER-330-0001- Sistema de Supervisão e Controle – Arquitetura Geral e no desenho BEL-B-BM-DE-SUB-330-0001 – SE Xingu 525 kV – Sistema de Supervisão e Controle – Arquitetura Geral.

Filosofia de partida e de paradas normal e de emergência, e de operação da usina e da subestação

A subestação da usina Belo Monte será do tipo GIS (SF6), em barras simples, composta de 5 segmentos, não interligados entre si, sendo que cada segmento corresponde a 4 ou 3 geradores, em um arranjo de 4 x 4 x 3 x 3 x 4 máquinas. As máquinas G1, G5 e G9 serão equipadas para operar como compensador síncrono.

UHE BELO MONTE

A partida e parada de cada unidade geradora poderá ser feita nos modos automático e manual.

Os seguintes “estados estáveis” são considerados para cada unidade: máquina parada, máquina pronta para partir, máquina em vazio não excitada, máquina pronta para sincronizar, máquina operando como gerador. As unidades G1, G5 e G9 terão também o estado estável “máquina operando como síncrono”. A transição de um estado estável para outro será feita através de uma sequência de comandos.

No modo automático, o operador apenas seleciona o estado estável desejado e efetua um único comando para execução da sequência correspondente; no modo manual, o operador comanda a execução da sequência passo a passo.

Em condições normais, as máquinas operarão no modo automático, ficando o modo manual para uso em caso de testes e manutenção.

As paradas de emergência serão sempre automáticas.

A operação da subestação SF6 dependerá do número de máquinas conectadas a cada um de seus 5 segmentos, conforme as conveniências do sistema elétrico.. .

Modos de parada de emergência

As paradas de emergência são as paradas não programadas, que ocorrem por atuação dos dispositivos de proteção. São previstos os seguintes modos de parada:

- parada de emergência mecânica: parada total, sem sobrevelocidade, e sem fechamento da comporta da tomada d'água;
- parada de emergência hidráulica: parada total, com rejeição de carga, e com fechamento da comporta da tomada d'água;
- parada de emergência elétrica: parada total, com rejeição de carga, e sem fechamento da comporta da tomada d'água;
- parada parcial (a máquina fica rodando à velocidade nominal desexcitada) sem sobrevelocidade;
- parada parcial com rejeição de carga.

As paradas de emergência serão comandadas de modo concorrente pelo sistema de controle digital e por um sistema convencional, com lógica a relés. Deste modo, ficará garantida a parada segura das unidades geradoras, mesmo em caso de falha do SDSC.

Por outro lado, atuando diretamente nos painéis de controle junto aos equipamentos, a partida da unidade geradora será possível mesmo em caso de indisponibilidade do respectivo CLP.

Se a unidade estiver em operação e ocorrer falha do respectivo CLP, ela continuará em operação no ponto em que se encontrava antes da falha, mantendo-se ativos todos os elementos de proteção; a carga poderá ser controlada, neste caso, por atuação direta nos reguladores de velocidade e tensão. O operador poderá comandar parada de emergência, se assim decidir.

Critérios básicos que nortearão a elaboração das Especificações Técnicas

As especificações técnicas do sistema de supervisão e controle serão elaboradas mediante interações com as equipes de engenharia do consórcio de empresas concessionárias do empreendimento, visando consolidar os critérios a serem utilizados.

Além dos conceitos acima expressos, vários outros deverão ser considerados:

- Atendimento aos Procedimentos de Rede do ONS.
- Utilização do conceito de sistemas abertos do ponto de vista da estrutura de comunicação de dados. Isto visa à facilidade para substituir hardwares, modificar softwares, e expandir os recursos do sistema, sem necessidade de uma completa substituição de equipamentos. Deverão ser considerados os atributos de interconectividade de hardware, portabilidade de software e interoperabilidade entre os vários programas aplicativos. Neste sentido, serão adotados, tanto quanto possível, os preceitos na norma IEC 61850.
- Utilização do conceito de tolerância a falha (redundância) segundo o qual a falha de um único elemento não deve inviabilizar a operação do sistema. A aplicação deste conceito deve ser analisada em vários níveis, como: equipamentos auxiliares (bombas de óleo de mancais e outras); canais dos reguladores de velocidade e de tensão; CPUs; redes de comunicação de dados; servidores de base de dados, etc.
- Disponibilização de recursos de controle de retaguarda (backup) para as funções que são essenciais para a segurança da usina e para as funções que são necessárias para a operação das unidades geradoras sob condições de emergência. Em especial, as seguintes funções deverão ser consideradas: parada de emergência e partida de unidades geradoras; operação das comportas do vertedouro e da tomada d'água; operação dos disjuntores e chaves isoladoras na subestação da usina; operação do sistema de drenagem da usina.
- Arquitetura modular do sistema de controle, para permitir a colocação em serviço, progressivamente, das 18 unidades geradoras, sem que a implantação de cada nova unidade prejudique as que já estão em funcionamento. O conceito será útil também para futura modernização do sistema de controle.
- Recursos de diagnóstico do software supervisor, de modo que, sempre que um comando não for efetuado, o operador seja informado das condições impeditivas.
- Requisito de disponibilidade global do SDSC.
- Requisito de desempenho do SDSC, fixando-se parâmetros mínimos a serem atingidos, como: tempo de implementação dos comandos; tempo desde a ocorrência de uma condição anormal até a apresentação da respectiva mensagem em tela; taxa de ocupação máxima dos processadores; tempo de resposta da IHM; tempo de atualização dos dados em tela; tempo de inicialização; resolução da estampa de tempo.
- Requisitos de compatibilidade eletromagnética, adequados ao ambiente de usinas e subestações.
- Requisitos de dimensionamento do estoque de peças sobressalentes.

UHE BELO MONTE

10.11.2 Sistemas de Proteção

Os Sistemas de Proteção elétrica das unidades geradoras, dos vãos de interligação Casa de Força - Subestação, das barras e das LTs de conexão com a SE Xingu serão constituídos por relés multifunção, com processamento numérico, recursos para armazenamento de dados e oscilografia, e meios para monitoramento e parametrização remotos. Os eventos armazenados nos relés deverão possuir estampa de tempo com resolução de 1 ms, utilizando sinais produzidos por um gerador de hora padrão sincronizado a satélites do sistema GPS.

Os sistemas de proteção deverão atender aos requisitos dos Procedimentos de Rede do ONS.

Os relés de proteção deverão ser interligados através de uma rede de comunicação a uma estação de proteção e oscilografia (EPO), instalada na usina Belo Monte. A partir dessa estação deverá ser possível adquirir os eventos e registros oscilográficos armazenados nos relés, e, mediante senhas, alterar a parametrização dos mesmos. Essa rede deverá permitir acesso não só aos relés da usina e da subestação Belo Monte, como também aos da subestação Xingu e aos da usina e subestação Sítio Pimental. Os dados deverão estar disponibilizados para análise também em um centro remoto ("off-site") de estudos e engenharia.

Os relés de proteção deverão ser integrados, para produção de alarmes, registro sequencial de eventos, desencadeamento de sequências de desligamento, parada e bloqueio, ao sistema de supervisão e controle dos sítios respectivos. Os sinais de desligamento, parada e bloqueio, produzidos pelos dispositivos de proteção deverão, entretanto, produzir seus efeitos independentemente do SDSC.

A arquitetura dos sistemas de proteção deverá seguir as recomendações da norma IEC 61850, sempre que aplicável.

Além das funções de proteção listadas a seguir, outras poderão ser adotadas (como proteção contra auto-excitação, esquemas de corte de geração, etc.) em função dos resultados de estudos do sistema elétrico.

Proteção das unidades geradoras

O sistema de proteção de cada unidade geradora da UHE constará de 2 conjuntos independentes, constituindo uma proteção primária e uma alternada. Cada conjunto conterà as seguintes funções: diferencial do gerador (87G), diferencial do transformador elevador (87T), proteção diferencial estendida (87U) abrangendo o vão de entrada na subestação SF6, diferencial de terra restrita do transformador elevador (87NT), sobrecorrente de neutro no transformador elevador (51NT), falta à terra no estator (64E-95% and 64E-100%), perda de excitação (40), sobretensão (59), subtensão (27), sobrecorrente de seqüência negativa (46), proteção de distância (21), perda de sincronismo (78), sobreexcitação (24), potência inversa (32), energização indevida (50EI), desbalanço de tensão (60), sobrecorrente com restrição de tensão (51V), sub e sobrefrequência (81), taxa de variação de frequência (df/dt), sobrecarga no estator (49) e falha de disjuntor (50BF). Proteção diferencial de fase dividida do gerador poderá ser fornecida, se necessária.

Serão fornecidos dispositivos proteção para o sistema de excitação: sobrecorrente no transformador de excitação (51TEX) e proteção contra falta à terra no rotor (64R),

UHE BELO MONTE

além de dispositivos para proteção intrínseca, como “crowbar” (sobretensão no rotor), fusíveis para proteção das pontes de tiristores, limitadores de sobre e subexcitação, limitador de mínima excitação, etc.

Serão fornecidas as proteções intrínsecas do gerador e da turbina, como: vibração, entreferro do gerador, sobretemperatura dos mancais, sobretemperatura do óleo, baixo nível de óleo, sobrevelocidade, falha do regulador de velocidade, etc.

Serão fornecidas as proteções intrínsecas do transformador elevador, como: detecção de gás, imagem térmica, alívio de pressão, nível de óleo, etc.

Os relés de proteção atuarão sobre relés de bloqueio para parada de emergência da unidade respectiva.

Proteção das barras e proteção de falha de disjuntor da subestação SF6

O sistema de proteção de barras será individual para cada um dos cinco segmentos de barra. Será do tipo de sobrecorrente diferencial percentual (87B), distribuída. A comunicação da unidade central com as unidades periféricas será por fibras ópticas.

Será provido esquema de proteção para falha de disjuntor.

As proteções diferencial de barras e de falha de disjuntor provocarão abertura e bloqueio de fechamento dos disjuntores respectivos, além de transferência de disparo para a extremidade oposta da linha de transmissão respectiva e parada de emergência das unidades geradoras afetadas.

Sistema de Proteção das Linhas de Interligação, em 525 kV, Casa de Força Belo Monte – Subestação Xingu

Para cada linha de transmissão (LT), haverá um sistema de proteção principal e um sistema de proteção alternada.

Cada sistema conterá pelo menos as seguintes funções: diferencial de linha (87L), proteção de distância (21), direcional de sobrecorrente (67, 67N), religamento (79), sub e sobretensão (27/59), oscilação de potência (78), desbalanço de tensão (60), sobrecorrente de sequência negativa (46), verificação de sincronismo (25), e teleproteção. A proteção disponibilizará a função de localização de falta na linha. Na subestação Xingu (esquema disjuntor-e-meio), haverá proteção para “stub-bus”.

Proteção das barras e proteção de falha de disjuntor da Subestação Xingu

O sistema de proteção de barras será do tipo de sobrecorrente diferencial percentual (87B), distribuída. A comunicação da unidade central com as unidades periféricas será por fibras ópticas.

Será provido esquema de proteção para falha de disjuntor.

As proteções diferencial de barras e de falha de disjuntor provocarão abertura e bloqueio de fechamento dos disjuntores respectivos, além de transferência de disparo para a extremidade oposta da linha de transmissão respectiva.

Proteção da linha de transmissão Altamira (SE CELPA) – Belo Monte 69 kV

Haverá dois conjuntos de proteção, sendo um principal e um de retaguarda.

UHE BELO MONTE

O conjunto principal conterà pelo menos as seguintes funções: distância (21/21N), sobrecorrente direcional de neutro (67N), sub e sobretensão (27/59), sobrecorrente de sequência negativa (46), sobrecorrente de fase e de neutro (50/51, 50/51N), religamento automático (79), sobre e subfrequência (81), desbalanço de tensão (60), falha de disjuntor (50BF) e teleproteção (85).

O conjunto de retaguarda conterà as funções de sobrecorrente direcional de fase e de neutro (67/67N).

Proteção do transformador 69 kV – 13,8 kV, em Belo Monte

Haverá um sistema de proteção principal e um sistema de proteção de retaguarda, além das proteções intrínsecas do transformador.

O sistema principal conterà pelo menos as seguintes funções: diferencial (87), diferencial de terra restrita (87NT), sobrecorrente de neutro no transformador elevador (51NT), sobrecorrente de fase e de neutro (50/51, 50/51N), falha de disjuntor (50BF).

O sistema de retaguarda conterà as funções de sobrecorrente de fase (50/51).

Teleproteção

Para as linhas de transmissão, pelo menos os seguintes esquemas de teleproteção serão providos: POTT (Permissive Over-reach Transfer Trip), PUTT (Permissive Under-reach Transfer Trip), DTT (Direct Transfer Trip), DCB (Directional Comparison Blocking), DCU (Directional Comparison Unblocking).

Para as funções de teleproteção, poderão ser usados tanto comunicação direta relé a relé como comunicação através de equipamentos de telecomunicações multiplexados. Em qualquer caso, os canais de teleproteção terão como suporte físico as fibras ópticas instaladas nos cabos OPGW das linhas de transmissão.

10.11.3 Sistema de Medição de Faturamento

O sistema de medição de energia será constituído de todos os instrumentos e dispositivos necessários para o atendimento aos requisitos estabelecidos nos Procedimentos de Rede do ONS.

Serão fornecidos os instrumentos para a medição de energia, estação central de coleta de dados e redes de comunicação.

Será medida continuamente a energia bruta de cada gerador; os pontos de medição de energia para faturamento serão determinados oportunamente em função dos acordos de comercialização de energia. Em caráter preliminar, são mostrados, nos diagramas unifilares pontos de medição em sítios externos, como na SE Xingu 525 kV.

Todos os medidores serão conectados de forma a constituir duas redes de comunicação: uma para conexão a uma Estação Central de Medição, a ser instalada sala de controle central de Belo Monte; outra disponibilizará os dados para a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, com canais independentes para leitura e auditoria. Os dados deverão estar disponíveis também no escritório central do Proprietário. Estarão integrados às mesmas redes os dados dos medidores de energia pertinentes à Usina Pimental. O sistema será provido com os dispositivos necessários para interface com o sistema de telecomunicações.

UHE BELO MONTE

O sistema será sincronizado a partir dos sinais produzidos por geradores de hora padrão, com base no sistema GPS.

Serão medidas e registradas as energias e demandas para todos os possíveis sentidos do fluxo de potência ativa e reativa.

Os medidores, assim como as borneiras e blocos de testes dos circuitos de medição, possuirão garantia de inviolabilidade, através de colocação de lacres, eletrônicos e/ou mecânicos.

Os medidores deverão ser polifásicos, 3 elementos, 4 fios. Deverão atender aos requisitos metrológicos pertinentes à classe 0.2S da norma IEC-60687 para todos os sentidos de fluxo de energia. Deverão ser dotados de um sistema de preservação dos registros durante perdas de alimentação, armazenando os dados em memória não volátil.

Os medidores deverão ter certificado de conformidade de modelo aprovado, emitido pelo INMETRO.

10.11.4 Sistema de Registro de Perturbações

Será provido um sistema de registro de perturbações para a usina, a subestação Belo Monte e a subestação Xingu, do tipo "stand-alone" (ou seja, independente dos relés digitais), com meios de comunicação para acesso remoto aos dados.

Os registradores digitais de perturbações (RDPs) irão monitorar, continuamente, o sistema elétrico. Quando alguma variação da entrada exceder um limite especificado, o RDP correspondente gravará os sinais analógicos e os eventos lógicos que ocorreram antes, durante e depois da perturbação. O RDP continuará a gravação até o término da perturbação ou até que exceda o limite de tempo de operação ajustado para pós-falta.

Todos os RDPs serão ser interligados em rede e sincronizados a partir dos sinais produzidos por geradores de hora padrão, com base no sistema GPS.

Os dados gravados pelos RDPs serão transmitidos a uma estação de proteção e oscilografia (EPO) instalada na usina Belo Monte. Os mesmos dados deverão estar disponíveis também em um posto remoto. Na EPO serão disponibilizados também os dados aquisitados pelos relés de proteção e os dados dos RDPs pertinentes à Usina Pimental. O sistema será provido com os dispositivos necessários para interface com o sistema de telecomunicações.

Todos os registros de longa e curta duração serão disponibilizados em arquivos de dados, na forma dos padrões COMTRADE ou ASCII.

Cada RDP deverá ter integrada a funcionalidade de medição de sincrofasores, de acordo com a norma C37.138 - "Standard for Synchrophasors for Power Systems".

O sistema de registro digital de perturbações deverá atender aos requisitos do ONS, estabelecidos nos Procedimentos de Rede.

UHE BELO MONTE

10. SÍTIO BELO MONTE

10.1. CONCEPÇÃO GERAL DO PROJETO

Em termos gerais a disposição das estruturas que compõem o sitio Belo Monte não sofreram alterações significativas com relação ao arranjo estabelecido nos Estudos de Viabilidade. Deste modo, o arranjo atual compreende, além do circuito de geração propriamente dito, cujas laterais do canal de adução são fechadas por barragens de terra, o barramento de Santo Antonio disposto sobre o córrego de mesmo nome.

O circuito de adução é formado pela Tomada de Água, Conduitos Forçados, Casa de Força e Canal de Fuga. Estas estruturas estão locadas em posição similar ao estabelecido na Viabilidade.

10.2. SEQUÊNCIA CONSTRUTIVA DAS OBRAS DE ESCAVAÇÃO DO CIRCUITO DE GERAÇÃO

A Casa de Força Principal e Tomada de Água no Sítio Belo Monte serão construídas em duas etapas sendo que na primeira etapa se construirão dez unidades geradoras e na fase seguinte se concluirão as outras oito unidades restantes. De acordo com o cronograma geral de construção, o início da geração das dez primeiras unidades ocorrerá antes da conclusão total das estruturas civis do segundo grupo de oito unidades.

Inicialmente, as atividades de construção na área da Casa de Força e Tomada de Água se concentrarão nas escavações obrigatórias, em área que abranja as estruturas de concreto de modo a liberar com maior rapidez os serviços de concretagem. Para esta fase, a área prioritária de escavação estará completamente protegida pelo terreno natural, que propiciará uma proteção superior a 500 anos para cheias pelo rio Xingu.

Para a escavação do Canal de Fuga se executará durante o primeiro período de estiagem (Agosto a Novembro) uma ensecadeira no trecho mais a jusante do canal (parcialmente sobre a ilha aluvionar a jusante). Esta ensecadeira será coroada na elevação 5,0 o que proporciona uma proteção para vazões da ordem de 5.000 m³/s o que corresponde a uma proteção de cerca de 25 anos de recorrência para este período. Com esta proteção serão executadas as escavações em solo e rocha do trecho final do canal de fuga de modo a possibilitar a construção da ensecadeira de 2ª fase, já assente na elevação final do canal de fuga. A ensecadeira coroada na El. 11,50 proporcionará proteção contra cheias com 250 anos de recorrência. De acordo com o cronograma, a ensecadeira de 2ª fase poderá ser construída no segundo período seco.

Após a construção da ensecadeira de 2ª fase, as escavações do Canal de Fuga prosseguirão com as estruturas de concreto já protegidas.

Entre os dois conjuntos de unidades geradoras (da Unidade 1 a 10 e da Unidade 11 a 18) será deixado um septo de rocha, separando estes conjuntos. Com isso, é possível desvincular a construção dos dois conjuntos, ganhando-se flexibilidade no planejamento de construção e picos de obras de concreto. A jusante das unidades 11 a 18 (segundo conjunto de unidades da Casa de Força Principal) será construída uma

UHE BELO MONTE

ensecadeira para a proteção deste conjunto, fechando o trecho entre o septo rochoso e o talude direito hidráulico da escavação do canal de fuga. Esta ensecadeira será coroada na El. 11,50 propiciando também proteção para cheias com 250 anos de recorrência.

10.3. BARRAGEM DE SANTO ANTÔNIO E BARRAGENS DE FECHAMENTO

10.3.1 Barragem de Santo Antônio

A Barragem de Santo Antônio situa-se no vale do córrego de mesmo nome. A barragem apresenta a crista coroada na El. 100,00 com a cota mais baixa da fundação situando-se aproximadamente na El. 10,00, o que resulta numa estrutura com altura de 90 m. A crista possui uma largura de 7,5 m e extensão da ordem de 1.630 m.

As condições de fundação da Barragem de Santo Antônio exercem uma forte influência nas características na geometria dos taludes, assim como na necessidade de prever bermas de equilíbrio que garantam a adequada estabilidade da barragem. Na parte central, a fundação é formada por maciço terroso constituídos por solos coluvionares e residuais de migmatito, que resulta em fundação convencional de barragens.

Nas ombreiras, o material de fundação é constituído predominantemente por ritimitos e folhelhos, com a porção superior da ombreira esquerda constituída por maciços areníticos. Estes materiais encontrados nas ombreiras apresentam baixos parâmetros de resistência, resultando em maciço de fundação pouco resistentes, em condições pouco usuais para barragens com tal envergadura.

Tendo em conta as condições de fundação a Barragem de Santo Antonio apresenta duas seções transversais típicas.

Na região central, com cerca de 440 m de extensão, onde as condições de fundação são mais favoráveis, a seção da barragem é de enrocamento com núcleo central de solo argiloso. Os taludes de montante e de jusante são desprovidos de bermas e apresentam inclinações de 1,8H:1,0V e 2,1 H:1,0H, respectivamente. O núcleo central apresenta declividades de 0,25 H : 1,0 V, tanto no paramento a montante quanto no de jusante. A montante do núcleo dispõe-se uma camada de transição, entre este elemento e o espaldar de enrocamento e, a jusante, a barragem conta com três camadas entre o núcleo e o espaldar e um tapete horizontal, constituído por filtro arenoso e transições fina e média.

Nas ombreiras, onde as condições de fundação são desfavoráveis, a seção da barragem é homogênea, constando com sistema interno convencional de drenagem composto por filtro tipo chaminé interligado a um tapete drenante.

O talude de montante é contínuo, apresentando inclinação de 2,6 H:1,0 V. O talude de jusante apresenta inclinação de 2,2 H: 1,0 V, entre bermas de 4,0 m de largura, situadas a cada 10,0 m de altura da barragem.

Condicionada pelas características de baixa resistência da fundação nas ombreiras, além da declividade topográfica do terreno, para garantir a adequada estabilização da barragem, foi necessário prever a implementação de berma de equilíbrio a montante, na ombreira direita, composta por enrocamento com 50 m de largura de crista, e inclinação de 2,2 H:1,0 V, até encontrar a superfície de fundação.

UHE BELO MONTE

Da mesma forma, na ombreira esquerda esta berma apresenta crista com 30 m de largura, e inclinação de 4,0 H :1,0 V.

Uma solução similar mostrou-se também necessária para garantir a estabilidade na região de jusante da barragem. As soluções definidas para as ombreiras direita e esquerda apresentam-se ligeiramente diferentes em função das nuances topográficas, como a inclinação do terreno da fundação e formato do talvegue adjacente à área de implantação da barragem.

Assim sendo, para a estabilização do talude de jusante nas ombreiras foi necessário o emprego de uma berma de enrocamento com 90 m de largura e declividades de 8,0 H:1,0 V (ombreira esquerda) e 6,0 H:1,0 V (ombreira direita). Adicionalmente, na ombreira direita, será escavada uma trincheira, sob a berma de equilíbrio, com 5,0 m de largura na base (El. 15,65) e taludes de escavação com declividade de 2,5 H:1,0 V intercalados com bermas de 3,0 m de largura a cada 5,0 m de altura.

Tendo em vista a presença de maciço arenítico de alta permeabilidade na fundação da ombreira esquerda, está sendo prevista a instalação de tapete impermeável a montante da barragem, constituído por um sanduiche de solo com manta de polietileno de alta densidade. Observa-se que tal condicionante geológica só afeta a fundação da barragem na ombreira esquerda.

As águas provenientes do córrego Santo Antônio são desviadas para a galeria de desvio do dique 6C. Para tanto é executada uma ensecadeira a montante com crista na El. 46,70 e taludes de montante e jusante de 2,5 H:1,0 V e 1,3 H: 1,0 V respectivamente.

10.3.2 Barragem de Fechamento Esquerda

A Barragem de Fechamento Esquerda apresenta a crista coroada na El. 100,00 sendo que o ponto mais baixo da fundação situa-se aproximadamente na El. 25,00, nas proximidades do muro junto à tomada d'água, o que resulta numa altura da barragem da ordem de 74 m. A crista possui largura de 7,5 m com uma extensão da ordem de 1130 m. As condições de fundação da Barragem de Fechamento Esquerda são semelhantes as da Barragem de Santo Antônio existindo a predominância de condições de fundação desfavoráveis no fechamento junto à ombreira esquerda em decorrência de presença de maciços rochosos sedimentares, ritimitos e folhelhos. Deste modo esta barragem está concebida considerando as particularidades de cada trecho da fundação. Na extremidade direita onde existe o encosto da barragem com o trecho de barramento em concreto da tomada de água, a barragem é de enrocamento com núcleo de argila fundada sobre o maciço rochoso. Os taludes de montante e de jusante são desprovidos de bermas e apresentam declividades de 1,4 H:1,0 V. O núcleo central apresenta declividades de 0,25 H : 1,0 V tanto a montante quanto a jusante, transicionando este material até o espaldar de enrocamento com camadas de filtro e transições.

Na região central (cerca de 620 m), onde as condições de fundação são mais favoráveis, a barragem é de enrocamento com núcleo de argila. Os paramentos de montante e de jusante são desprovidos de bermas e apresentam declividades de 1,8 H:1,0 V e 2,1 H:1,0, respectivamente. O núcleo é central apresentando as mesmas declividades que a da seção junto ao encontro com a estrutura de concreto.

UHE BELO MONTE

Na ombreira esquerda, onde as condições de fundação são desfavoráveis, a barragem apresenta seção homogênea, dotada de sistema interno de drenagem constituído por filtro septo vertical interligado a um tapete drenante. O talude de montante é desprovido de bermas intermediárias e apresenta declividade de 2,6 H:1,0 V. O talude de jusante apresenta inclinação de 2,2 H:1,0 V, com bermas de 4,0 m espaçadas a cada 10,0 m de altura. Em função das condições de fundação a montante na ombreira, a barragem é provida com uma berma de estabilização de enrocamento com 50 m de largura e declividade de 2,2 H:1,0 V. Para a estabilização do paramento de jusante a barragem apresenta uma berma de enrocamento com 90 m de largura e declividades de 6,0 H :1,0. Adicionalmente, na ombreira, é escavada uma trincheira, sob a berma de equilíbrio, com 5,0 m de largura na base (cota mais baixa na El. 29,00) e taludes de escavação com declividade de 2,5 H:1,0 V intercalados com bermas de 3,0 m de largura a cada 5,0 m de altura.

10.3.3 Barragem de Fechamento Direita

A Barragem de Fechamento Direita apresenta a crista coroadada na El. 100,00 sendo que o nível mais baixo da fundação situa-se aproximadamente na El. 45,00, o que resulta numa altura da barragem da ordem de 54 m. A crista possui uma largura de 7,5 m com uma extensão da ordem de 780 m. As condições de fundação da Barragem de Fechamento Direita são semelhantes as dos outros barramentos desta região existindo a predominância de condições de fundação desfavoráveis na maior parte da fundação, em decorrência de presença de rochas sedimentares, ritimitos e folhelhos.

Apenas junto à interface com a estrutura de concreto a barragem apresenta fundação com características mais favoráveis. Nesta região, a seção no encontro com o trecho de barramento em concreto da tomada de água, é de espaldares em enrocamento com núcleo central de argila, fundada sobre maciço rochoso de migmatito. As características deste trecho são semelhantes ao apresentado na ombreira esquerda da Barragem de Santo Antônio.

Na ombreira direita, onde as condições de fundação são desfavoráveis, a seção da barragem é homogênea com sistema interno de drenagem, filtro septo vertical interligado a um tapete drenante. O talude de montante é desprovido de bermas intermediárias e apresenta declividade de 2,6 H:1,0 V. O talude de jusante apresenta declividade de 2,2 H: 1,0 V, intercalado com bermas de 4,0 m espaçadas a cada 10,0 m de altura. Em função das condições de fundação a montante na ombreira, a barragem é provida com uma berma de estabilização de enrocamento com 30 m de largura e inclinação de 4,0 H:1,0 V. Para a estabilização do talude de jusante a barragem apresenta uma extensa berma de enrocamento com 30 m de largura e declividades de 11,0 H :1,0, condicionada pela topografia levemente inclinada e a baixa resistência do material de fundação.

10.3.4 Análises de Estabilidade das Barragens de Santo Antônio e de Fechamento

Um resumo das condições de estabilidade das Barragens de Santo Antônio e as de fechamento Esquerda e Direta são apresentadas neste item.

Para dimensionamento das estruturas de barramento, foram realizadas análises de estabilidade ao escorregamento dos taludes pelo método de equilíbrio limite, com estudos de percolação e estabilidade empregando os programas de computador

UHE BELO MONTE

SEEP/W, e SLOPE/W, respectivamente, ambos desenvolvidos pela Geo-Slope do Canadá.

Os casos de carregamento considerados nas análises de estabilidades dos taludes foram os de Final de Construção, Rebaixamento Rápido do Reservatório e o de Regime Permanente:

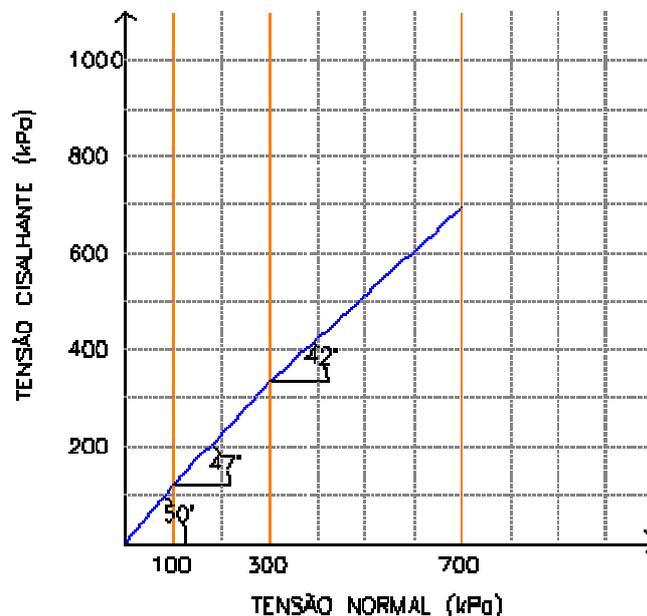
Apesar do reservatório ser operado em sistema de fio d'água, especificamente para o caso de rebaixamento foi considerada uma situação hipotética e pouco provável onde pudesse ocorrer o deplecionamento do Nível de Água do reservatório até a El. 80,00, correspondente a uma condição extrema caso houvesse um acidente com a ruptura de parte da barragem de Pimental.

Os parâmetros geotécnicos dos materiais são apresentados, de forma condensada na Tabela 10.1. No item 4.5 são mostrados os resultados dos ensaios realizados na fase de Viabilidade.

Tabela 10.1 – Parâmetros Geotécnicos dos Materiais

Material	γ_n (kN/m ³)	c' (KPa)	ϕ' (°)	k (cm/s)	kh/kv
Solo Compactado	18,5	20,0	29	$1,0 \times 10^{-05}$	10
Areia 3A	18,0	0	35	$1,0 \times 10^{-02}$	1
Transições	18,0	0	35	$5,0 \times 10^{-01}$	1
Enrocamento Compactado	21,0	Envoltória não linear de resistência – figura 8.1		Drenagem Livre	
Enrocamento – Bermas de Equilíbrio	21,0	0	45	Drenagem Livre	
Fundação – Solo Residual de Ritmito	20,5	0	11	$4,0 \times 10^{-04}$	4
Fundação – Solo de Alteração de Migmatito	19,5	10	27	$4,0 \times 10^{-05}$	4
Fundação – Ritmito	22,0	0	11	$4,0 \times 10^{-04}$	4
Fundação – Migmatito	26,5	370	54	$4,0 \times 10^{-05}$	4

Figura 10.1 – Envoltória de Resistência do Enrocamento



Com base nos critérios e parâmetros foram desenvolvidos os estudos de verificação de estabilidade dos taludes, cujos resultados encontram-se apresentados nas Tabelas 10.2, 10.3 e 10.4, onde constam os resultados, respectivamente das Barragens de Santo Antônio e as de Fechamento Esquerda e Direita.

Tabela 10.2 – Resultados das Análises de Estabilidade da Barragem de Santo Antônio

Seção	Caso de carregamento	FS Mínimo	FS Obtido
Seção Homogênea Ombreira Direita	Regime permanente - Jusante	1,50	1,53
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,53
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,94
	Rebaixamento rápido - montante	>1,01	1,01
Seção Terra-Enrocamento Região Central	Regime permanente - Jusante	1,50	1,69
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,90
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,98
	Rebaixamento rápido - montante	1,01	1,77
Seção Homogênea Ombreira Esquerda	Regime permanente - Jusante	1,50	1,50
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,45
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,94
	Rebaixamento rápido - montante	>1,01	1,01

Tabela 10.3 – Resultados das Análises de Estabilidade da Barragem Lateral Esquerda

Seção	Caso de carregamento	FS Mínimo	FS Obtido
Seção Terra-Enrocamento	Regime permanente - Jusante	1,50	1,64
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,68
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	2,04
	Rebaixamento rápido - montante	1,01	1,49
Seção Homogênea Ombreira Esquerda	Regime permanente - Jusante	1,50	1,50
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,78
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,67
	Rebaixamento rápido - montante	>1,01	1,10

Tabela 10.4 – Resultados das Análises de Estabilidade da Barragem Lateral Direita

Seção	Caso de Carregamento	FS Mínimo	FS Obtido
Seção Homogênea	Regime permanente - Jusante	1,50	1,52
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,62
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,49
	Rebaixamento rápido - montante	>1,01	1,01

Os detalhes dos projetos das Barragens de Santo Antônio, e das barragens de fechamento Esquerda e Direita, são apresentados nos desenhos BEL-B-BM-DE-BTE-100-0001 a 0004 e BEL-B-BM-DE-BTE-100-0006 e 0007.

10.4. TOMADA DE ÁGUA E MUROS

A Tomada de Água possui dezoito blocos dispostos ao longo do alinhamento do eixo do barramento, de forma que dez blocos se agrupam na esquerda hidráulica e os oito restantes à direita. Esses dois grupos são separados por dois blocos de gravidade, fechando o barramento. A ligação entre a Tomada d'Água e as barragens de terra e enrocamento é feita através de dois muros de fechamento, laterais a esta estrutura.

O conjunto formado pela Tomada d'Água, pelos muros centrais e pelos muros laterais de fechamento, possui uma extensão total de 819 m e é coroado na elevação 100,00.

Os dezoito blocos da Tomada de Água possuem uma largura de 33,0 m e são separados entre si por juntas de contração.

Cada um dos blocos possui emboques de adução de água de seção retangular, que derivam as águas aos condutos forçados. Entre a seção retangular do traçado hidráulico e os condutos forçados há um trecho de transição de retangular para circular, em concreto. O traçado hidráulico e as aberturas foram dimensionados para uma vazão nominal de 775 m³/s por emboque.

UHE BELO MONTE

A seção da entrada onde serão instaladas as grades será dividida em três aberturas por bloco, separadas entre si por dois pilares, tendo cada uma das aberturas seção retangular de 6,30 m de largura por 28,0 m de altura. Essa seção hidráulica se reduz gradualmente até a região da comporta vagão, mantendo o fluxo sempre em compressão.

Na Tomada d'água, serão instaladas dezoito comportas vagão, de emergência, com acionamento hidráulico por cilindros hidráulicos. Para a inspeção e a manutenção destas comportas será empregada uma comporta ensecadeira, a ser instalada na ranhura prevista a montante da comporta vagão. Estas comportas terão sua soleira na El. 64,5 m.

A movimentação da comporta ensecadeira e das grades metálicas, bem como a manutenção das comportas vagão, será acionada por um pórtico rolante com capacidade de 1600 kN (gancho principal) e 700 kN (gancho auxiliar), tendo o caminho de rolamento uma extensão aproximada de 640 m.

Até a El. 60,5 m os blocos da Tomada de Água e os de Gravidade serão construídos num misto de concreto convencional e compactado com rolo (CCR), com paramento montante vertical. Acima dessa elevação os blocos já serão totalmente confeccionados com concreto convencional armado

A jusante 6,2 m do paramento vertical, na elevação 47,0, é prevista uma galeria de drenagem para implantação de um sistema de alívio de subpressões por intermédio de uma cortina de drenagem interligando a galeria a um túnel de drenagem com o piso na elevação 15,15 m. Sob o piso do túnel também é prevista uma cortina de drenagem com 10 m de profundidade. A água de infiltração captada pelos drenos será escoada para jusante, através de dois túneis de acesso que se desembocam na parede rochosa de escavação, a montante da Casa de Força, na El. 13,8 m.

A partir da El. 62,90 m, o paramento do bloco da Tomada de Água passa de vertical a inclinado, com 8,5° com a vertical.

Foi desenvolvida uma análise de estabilidade segundo os Critérios de Projeto Civil para Usinas Hidrelétricas, desenvolvidos pela Eletrobrás. Os valores dos coeficientes de segurança encontrados estão apresentados no quadro resumo abaixo:

Carregamentos	FS Tombamento	FS Deslizamento	FS Flutuação
Caso Normal	1,51 > 1,5	2,62 > 1*	3,41 > 1,3
Caso Excepcional Sismo	1,30 > 1,2	2,08 > 1*	3,31 > 1,1
Caso Excepcional Galerias Inoperantes	1,39 > 1,2	3,03 > 1*	2,46 > 1,1

* Os fatores de minoração de resistência ao atrito e a coesão são os definidos pelos Critérios de Projeto Civil (item 7.4.1).

Para os casos normal e excepcional de sismo, toda a área da fundação é comprimida. Para o caso excepcional com galerias inoperantes, há abertura de junta a montante que se estabiliza numa extensão de 5 m < 6,8 m (alinhamento da cortina de drenagem). A tensão máxima compressiva encontrada foi de 1,2MPa.

UHE BELO MONTE

Os dois blocos de gravidade posicionados entre os grupos da Tomada de Água têm largura de 25,1 m cada e seção transversal semelhante aos da Tomada d'Água.

Os muros laterais direito e esquerdo que fecham as estruturas de concreto da barragem e tem a função de servir de abraço às barragens de terra/enrocamento. Estes muros são blocos de gravidade constituídos por concreto compactado a rolo (CCR) até a El.63,00 e acima desta cota unicamente por concreto convencional.

10.5. CASA DE FORÇA

As unidades geradoras, de montagem e de descarga da usina de Belo Monte são do tipo abrigada. A Casa de Força (CF) é composta por dezoito unidades geradoras, cada uma com 33,0 m de largura. Possui cinco unidades de Área de Montagem (AM), com 33,0 m cada, e duas unidades de Área de Descarga (AD), com 20,7 m de largura cada. Essas unidades são dispostas em dois grupos separados: Na esquerda hidráulica estão agrupadas dez unidades geradoras CFs, uma unidade AD e quatro unidades AMs. Na direita, estão agrupadas oito unidades geradoras CFs, uma AM e uma AD. Esses grupos são separados por um septo rochoso de 50,2 m de largura, que se estende ao longo do canal de fuga, dividindo-o em dois canais.

No grupo das unidades da esquerda, uma AD e quatro AMs posicionam-se na margem esquerda do canal de fuga, tendo em frente ao pátio de manobras, com 176 m de largura e destinado a manobras e acesso de carretas e caminhões. Em frente ao pátio e a jusante da AM, localiza-se o Edifício de Controle da usina, com 75,30 m de largura e quatro pisos para utilização das áreas de serviços vinculadas. No térreo deste edifício, contígua à área de montagem, estão situadas as oficinas elétrica e mecânica, ferramentaria, almoxarifado, baterias, recepção e serviços de apoio. As salas de controle, engenharia, telecomunicações, painéis elétricos, administração, reuniões e pessoal em trânsito são distribuídas nos demais pisos. Todos os pisos são providos de sanitários e copa, elevador e escada. Na cobertura do prédio estão instaladas a sala de máquinas do elevador, ar condicionado, caixa d'água e barrilete.

Sob a unidade da AM adjacente à primeira unidade da CF localiza-se o poço de drenagem e esgotamento que irá servir à manutenção das dez unidades geradoras do grupo.

Oito unidades da CF, uma AM e uma AD compõem o segundo grupo (o grupo da direita hidráulica). O poço de drenagem e esgotamento desse conjunto posiciona-se no septo rochoso que separa os dois grupos e adjacente a primeira unidade do grupo. À montante das unidades da AM e AD, a direita do canal de fuga, está previsto também um pátio de manobras com 62 m de largura, destinado ao acesso a usina pelo lado direito.

Estão previstos três poços separadores de água e óleo para atender a drenagem da bacia dos transformadores da usina: dois posicionados nos pátios de manobras nas margens direita e esquerda hidráulica e um posicionado no septo rochoso que separa o canal.

Toda a área para acesso e circulação externa da usina encontra-se na El. 13,80 m. A travessia para as laterais do canal de fuga é feita tanto por montante quanto por jusante da edificação. O acesso jusante/montante se dará através dos corredores que

UHE BELO MONTE

correm lateralmente às Áreas de Descarga (esquerda e direita). No trecho montante da usina localizam-se os condutos forçados e os acessos ao túnel de drenagem.

Na área externa a jusante da edificação na EL.13,80 estão localizados os transformadores, a galeria da subestação SF6, as salas dos sistemas de ventilação e exaustão, as saídas de emergências e o caminho de rolamento do pórtico rolante para acionamento das comportas.

O acesso principal e controlado da usina será através do edifício de controle.

As entradas de equipamentos para a usina será feita pelas Áreas de Descarga, através de portões metálicos.

Dentro da edificação, todo o piso composto pelas Áreas de Descarga, Montagem e os pisos dos geradores na Casa de Força estão nivelados na El. 13,8 m. As unidades possuem três galerias a jusante, sendo duas galerias mecânicas e uma elétrica, localizadas respectivamente nas elevações -12,70, -4,30, e 4,10. A cada duas unidades geradoras são previstas saídas de emergência, central de ventilação e sala de filtro de ventilação.

Para cada unidade de Casa de Força é prevista circulação vertical para acesso aos pisos inferiores - galerias elétrica e mecânica - e visita ao poço da turbina, caixa espiral e tubo de sucção.

Foi desenvolvida uma análise de estabilidade do bloco. Como todos os blocos são confinados a montante pela parede de escavação rochosa, estes ficam submetidos apenas a empuxo hidráulico no sentido jusante-montante, sem condição portanto de sofrer deformações rotacionais ou deslocamentos. Dessa forma são apresentados apenas os coeficientes de segurança a flutuação encontrados. Além dos casos normal e excepcionais de sismo e enchente fez-se uma análise do bloco para o caso construtivo, sem o concreto de segundo estágio e submetido a pressões hidráulicas no nível normal. Os valores encontram-se no quadro resumo abaixo:

Carregamentos	FS Flutuação
Caso Normal	1,67 > 1,3
Caso Excepcional Sismo	1,62 > 1,1
Caso Excepcional Enchente	1,43 > 1,1
Caso Construtivo	2,5 > 1,2

Para todos os casos analisados não há junta trativa na fundação. A máxima tensão comprimida encontrada foi de 0,42 MPa (caso CCC)

10.6. EQUIPAMENTOS MECÂNICOS PRINCIPAIS

10.6.1 Tomada d'Água

A tomada de água é constituída de dezoito aduções independentes, que são equipadas com grades, comportas ensecadeira, comportas de emergência e máquina limpa-grades.

UHE BELO MONTE

Equipamentos Hidromecânicos

a) Grades da Tomada d'Água

A entrada da tomada de água é dotada de grades de proteção do tipo móvel, montadas sobre guias fixadas à face inclinada da estrutura.

Com o propósito de limitar o vão livres das grades, a tomada d'água estará dividida em tres vãos através de dois pilares centrais em concreto.

Cada adução será constituída de painéis empilhados, sendo um superior e os demais inferiores, todos iguais e intercambiáveis.

Os painéis superiores serão providos de uma transição, na sua parte superior, que permita a passagem do rastelo da máquina limpa-grades de suas guias para as barra dos painéis das grades. Os painéis inferiores serão intercambiáveis.

Os painéis de grades devem ser projetados para proteger a turbina da entrada de detritos que possam danificar rotor, distribuidores e revestimento. O manuseio dos painéis das grades é realizado por meio do gancho do pórtico rolante, com auxílio de uma viga pescadora.

As características principais das grades são as indicadas abaixo:

- Tipo de grades removível
- Operação pórtico rolante
- Número de Tomadas d'Água 18
- Número de vãos por Tomadas d'Água 03
- Número total de vãos 54
- Número total de jogos de peças fixas 54
- Número de painéis de grade por vão 10
- Número total de painéis de grade 540
- Número de vigas pescadoras 02
- Pressão máxima de projeto 30 kPa
- Espaçamento entre linhas de centro das barras verticais 150 mm
- Vão livre 6.300 mm
- Altura livre (medida na vertical) 29.500 mm
- Inclinação do paramento 1,0V:0,20H
- Elevação da soleira da grade EL. 62,90 m
- Elevação do piso de operação EL. 100,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum EL. 97,50 m
- Elevação do NA máximo normal EL. 97,00 m

UHE BELO MONTE

b) Comportas Ensecadeira da Tomada d'Água

As comporta ensecadeiras da Tomada d'Água destinam-se ao ensecamento e manutenção das unidades geradoras e das comportas vagão.

A comporta ensecadeira será metálica de construção soldada, possuindo paramento e plano de vedação voltados para o lado de jusante.

Cada comporta ensecadeira será formada por painéis iguais e intercambiáveis exceto o painel superior que será dotado de válvula "by-pass".

Os painéis serão manobrados com o auxílio da viga pescadora montada no gancho do pórtico rolante da Tomada d'Água. As operações de instalação e retirada dos painéis nas ranhuras serão realizadas sob equilíbrio de pressões hidráulicas. Para a retirada dos painéis, o equilíbrio de pressões será conseguido por intermédio de duas válvulas "by-pass", instaladas no painel superior da comporta, as quais serão acionadas pelo peso próprio da viga pescadora..

Em cada ranhura de operação será estocado um painel de comporta. Os demais painéis e a viga pescadora serão estocados em poço de armazenamento.

As características principais das comportas são as indicadas abaixo:

- Tipo de comporta ensecadeira de fundo
- Operação pórtico rolante
- Paramento e plano de vedação.....jusante
- Número de Tomadas d'Água 18
- Número total de jogos de peças fixas 18
- Número de comportas 02
- Número de painéis por comporta 06
- Número total de painéis de comporta 12
- Número de vigas pescadoras 02
- Vão livre 10.100 mm
- Altura livre 16.910 mm
- Elevação da soleira da comporta EL. 64,50 m
- Elevação do piso de operação EL. 100,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum EL. 97,50 m
- Elevação do NA máximo normal EL. 97,00 m
- As vedações serão fixadas em superfícies usinadas

UHE BELO MONTE

c) Comporta Vagão

As comportas vagão da Tomada d'Água serão usadas para o fechamento de emergência e para a manutenção das unidades geradoras, sendo cada uma acionada por um servomotor hidráulico alimentado por centrais hidráulicas .

Durante a instalação e as manutenções periódicas, as comportas serão manuseadas pelo gancho do pórtico rolante, com auxílio de vigas pescadoras. As comportas terão vedações e paramento a montante.

As características principais das comportas são as indicadas abaixo:

- Tipo de comporta comporta vagão
- Tipo de acionamento mecanismo oleodinâmico
- Paramento e plano de vedação montante
- Número de Tomadas d'Água 18
- Número total de jogos de peças fixas 18
- Número de comportas vagão 18
- Número de pares de dispositivos de calagem da comporta vagão 18
- Número de vigas de apoio dos mecanismos oleodinâmicos. 18
- Vão livre 10.100 mm
- Altura livre 16.455 mm
- Elevação da soleira da comporta EL. 64,50 m
- Elevação do piso de operação EL. 100,00 m
- Elevação da sala da central óleo-hidráulica EL. 100,00 m
- Altura do "cracking" da comporta EL. 150 mm
- Elevação do NA máximo maximorum EL. 97,50 m
- Elevação do NA máximo normal EL. 97,00 m
- Velocidade de elevação 1,6 m/min
- As vedações serão fixadas em superfícies usinadas

Equipamentos de Levantamento

a) Pórticos Rolantes da Tomada d'Água

A Tomada d'Água do Sítio Belo Monte será equipada com dois pórticos rolantes para os serviços de operação, montagem e manutenção dos painéis das comportas ensecadeiras, painéis das grades e comportas vagão e seus respectivos dispositivos de acoplamento.

Os pórticos rolantes e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso desabrigado, comandado através de cabina fechada e equipado com um carro

UHE BELO MONTE

guincho, totalmente coberto, para abrigar os mecanismos do guincho e da direção do carro.

As características principais dos pórticos rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal do gancho principal 1.750 kN
- Capacidade nominal do gancho auxiliar 100 kN
- Comprimento do caminho de rolamento..... 694,00 m
- Elevação do trilho..... EL. 100,00 m
- Vão entre as linhas de centro dos trilhos..... 10,0 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 116,00 m
- Curso de elevação do gancho principal..... 50,00 m
- Velocidades do gancho principal 4,0/0,4 m/min
- Elevação máxima do gancho auxiliar EL. 116,00 m
- Curso de elevação do gancho auxiliar 60 m
- Alcance máximo do gancho auxiliar (em relação ao trilho de montante) 2,50 m
- Velocidades do gancho auxiliar 10,0/1,0 m/min
- Velocidades de translação do carro..... 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação do pórtico 40,0/4,0 m/min

b) Máquina limpa-grades

As máquinas limpa-grades da Tomada d'Água, terão capacidade nominal do rastelo de 50 kN, deverá ser projetada e construída para uso desabrigado, comandada através de cabina fechada e acionada por motores elétricos para os serviços de remoção de detritos e corpos flutuantes acumulados nas grades.

As características principais da máquina limpa-grades são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade volumétrica do rastelo 1,50 m³
- Largura do rastelo 3,00 m
- Capacidade de carga do rastelo..... 50 kN
- Capacidade volumétrica da caçamba..... 6,0 m³
- Curso de elevação do rastelo..... 37,00 m
- Inclinação das grades 0,2H/1,0V
- Elevação do trilho..... EL. 100,00 m
- Vão entre linhas de centro dos trilhos..... 5,25 m
- Comprimento do caminho de rolamento..... 694,00 m
- Velocidade de subida do rastelo..... 16,0 m/min
- Velocidade de descida do rastelo..... 32,0 m/min
- Velocidade de translação 40,0/4,0 m/min

UHE BELO MONTE

10.6.2 Condutos Forçados

Os condutos forçados devem ser fabricados com chapas calandradas, a serem montadas no campo. Cada conduto forçado deve ter uma junta de expansão e dois anéis em sapatas deslizantes para permitir movimento durante dilatação ou contração térmica.

O primeiro anel deslizante (montante) deve estar imediatamente à jusante da junta de expansão, e o segundo anel deslizante deve estar no meio do trajeto entre o anel de montante e o começo do envelopamento de concreto.

Os condutos forçados serão compostos de três partes:

- Trecho reto – iniciando na Tomada d'Água com a linha de centro na El. 67,785 m e 115,643 m a montante da linha de centro das unidades. A linha de centro tem inclinação de 1,2H:1,0V e diâmetro interno de 11,60 m. O trecho reto termina na curva inferior, com comprimento medido na sua linha de centro com 100,227 m. Os primeiros dois metros do trecho reto serão embutidos na estrutura da Tomada d'Água, e o trecho abaixo da El. 14,00 m será embutido na estrutura da Casa de Força. As junta de expansão e anéis de deslizamento irão pertencer à este trecho do conduto.
- Curva inferior – conecta o trecho reto ao tubo de entrada da caixa espiral. Com diâmetro interno variável, para otimizar as perdas de carga, iniciando com 11,60 m e terminando no tubo de entrada da caixa espiral, com diâmetro estimado de 10,80 m. O ângulo descrito é 39,805° (correspondente à inclinação do trecho reto de 1,2H:1,0V), e raio da linha de centro com 29,00 m, resultando em um comprimento desenvolvido de 20,147 m. O ponto de inflexão da curva está na El. -3,00 m (elevação da linha de centro do distribuidor), e 30,58 m a montante da linha de centro das unidades. A curva inferior é completamente embutida no concreto da estrutura da Casa de Força.
- Tubo de entrada na caixa espiral – conectando a curva inferior com a caixa espiral. A seção de entrada estimada da caixa espiral tem diâmetro de 10,80 m, à 12,5 m à montante da linha de centro das unidades, resultando em um comprimento deste trecho de tubo de 7,581 m. O tubo de entrada na caixa espiral será inteiramente embutido na estrutura da Casa de Força.

Comprimento total desenvolvido do conduto forçado é 127,956 m.

- Tipo.....exposto, chapas calandradas de aço
- Quantidade..... 18
- Diâmetro interno.....11.600 mm
- Diâmetro após a redução (diâmetro interno da caixa espiral)10.800 mm
- Espessura mínima da chapa (*)29 mm (*)
- Quantidade de junta de expansão em cada conduto..... 1
- Quantidade de suportes deslizantes em cada conduto..... 2
- Pressão máxima de projeto (altura manométrica mais gradiente hidráulico)1,33 MPa
- Elevação da linha de centro (início do conduto) EL. 67,785 m

UHE BELO MONTE

- Elevação da linha de centro (final do conduto) EL. - 3,00 m
- Comprimento total (medido ao longo da linha de centro).....127,956 m
- Elevação do NA máximo normal - Montante..... EL. 97,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum - Montante EL. 97,50 m

(*) A espessura mínima requerida para a chapa do conduto pode ser reduzida utilizando-se anéis de reforço, devidamente espaçados e dimensionados

10.6.3 Casa de Força

Turbinas

As dezoito turbinas hidráulicas, previstas para instalação no Sítio Belo Monte da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, são do tipo “Francis” de eixo vertical, com potência nominal estimada de 619,16 MW adequadas para acoplamento direto a um gerador de corrente alternada, trifásico.

Três (3) destas unidades devem ser fornecidas com todos os equipamentos e acessórios necessários para operação como compensador síncrono.

Cada turbina é prevista para operar eficientemente dentro da faixa de quedas líquidas definidas a partir dos níveis d’água a montante e a jusante, decorrentes das diferentes condições operativas da usina.

A queda líquida de referencia é 86,90 mca, definida como a menor queda para a qual os equipamentos devem produzir e garantir a potência nominal.

A queda mínima operacional está associada como uma recorrência de cheia de 10.000 anos, considerando qualquer unidade operando com a carga máxima disponível para a queda correspondente.

A linha de centro do distribuidor foi configurada na EL. -3,00 m, e deve ser adequada para manter a as unidades geradoras operando dentro da faixa operacional, sem excessiva cavitação ou vibração. A configuração mínima deve levar em conta as variações de nível de jusante, relacionadas com as diferentes condições operacionais.

a) Dados básicos

- Tipo..... turbina Francis, de eixo vertical
- Número de unidades geradoras..... 18
- Potência nominal619,16 MW(1)
- Queda líquida de referência86,900 mca
- Rotação nominal 85,71 rpm

Nota 1: A potência de saída no eixo da turbina deve ser suficiente para produzir uma potência líquida total de 11.000 MW nos terminais do gerador, conseqüentemente podendo ser ajustada de acordo com as eficiências do gerador e transformador, com folgas para consumo interno.

UHE BELO MONTE

b) Níveis de água

- Elevação do NA máximo normal - Montante EL. 97,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum - Montante..... EL. 97,50 m
- Elevação do NA mínimo - Jusante (vazão ecológica de 700 m³/s) ... EL. 2,00 m
- Elevação do NA máximo normal - Jusante (na queda de referência) EL. 5,56 m
- Elevação do NA máximo maximorum – Jusante (cheia de 10000 anos) EL. 11,70 m

c) Quedas operacionais

- Perdas de carga.....3,58 mca na queda de referência e potência nominal
- Queda líquida Máxima (vazão ecológica de 700 m³/s)94,00 mca
- Queda líquida de referência (probabilidade de 5%).....86,90 mca
- Queda líquida Mínima (cheia de 10000 anos)84,30 mca

d) Faixa operacional

As Turbinas devem operar satisfatoriamente, livres de excessiva cavitação ou vibração, quando operando dentro da seguinte faixa operacional:

Tabela 10.5.1 – Faixa Operacional

Faixa de queda	Potência Máxima	Potência Mínima
Acima de 86,90 mca	619,16 MW	249 MW
83,45 mca	582 MW	249 MW

e) Regulador de velocidade

O regulador de velocidade será do tipo PID, digital dedicado.

As unidades hidráulicas serão dotadas de três bombas, sendo duas principais com capacidade combinada para três cursos do distribuidor por minuto, e uma bomba jockey com capacidade para suprir as perdas dos sistemas.

Cada unidade deverá ser dotada de um acumulador ar/óleo, composto por dois tanques, com capacidade combinada para atender três cursos completos do distribuidor, entre a pressão de desligamento das bombas e 80% desta pressão inicial.

- Máxima pressão do sistema 6,4 MPa
- Garantias da regulação:
 - Sobre velocidade máxima 60%
 - Sobre pressão máxima 25%⁽⁴⁾

Nota 4: Sobre pressão máxima medida imediatamente à montante das aletas e referenciadas na elevação da linha de centro. Valor percentual referenciado à pressão estática entre nível máximo de montante e elevação da linha de centro.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Equipamentos Hidromecânicos

a) Comportas Ensecadeiras do Tubo de Sucção

As comportas ensecadeiras do Tubo de Sucção serão utilizadas durante o esvaziamento e manutenção das unidades geradoras.

A comporta ensecadeira será metálica de construção soldada, possuindo paramento e plano de vedação voltados para o lado de montante.

Cada comporta ensecadeira será formada por painéis iguais e intercambiáveis exceto o painel superior que será dotado de válvula "by-pass".

Os painéis serão manobrados com o auxílio da viga pescadora montada no gancho do pórtico rolante do Tubo de Sucção. As operações de instalação e retirada dos painéis nas ranhuras serão realizadas sob equilíbrio de pressões hidráulicas. Para a retirada dos painéis, o equilíbrio de pressões será conseguido por intermédio de duas válvulas "by-pass", instaladas no painel superior da comporta, as quais serão acionadas pelo peso próprio da viga pescadora

Em cada ranhura de operação será estocado um painel de comporta.

As características principais das comportas são as indicadas abaixo:

- Tipo de comporta ensecadeira de fundo
- Operação pórtico rolante
- Paramento e plano de vedação montante
- Número de vãos 36
- Número total de jogos de peças fixas 36
- Número de painéis por comporta 04
- Número total de comportas permanentes 04
- Número total de comportas temporárias 16
- Número de vigas pescadoras 02
- Vão livre 12.000 mm
- Altura livre 11.908 mm
- Elevação da soleira da comporta EL. - 23,00 m
- Elevação do piso de operação EL. 13,80 m
- Elevação do NA máximo maximorum de jusante EL. 11,70 m
- Elevação do NA máximo normal de jusante EL. 5,56 m
- As vedações serão fixadas em superfícies usinadas

Equipamentos de Levantamento

a) Pontes Rolantes Principais da Casa de Força

UHE BELO MONTE

As pontes rolantes e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, acionada por motores elétricos e equipada com um gancho principal com capacidade estimada de 8.000 kN, a ser confirmada pela equipamento com maior carga. O rotor do gerador montado será a peça mais pesada a ser içada e transportada pela ponte rolante. Esse içamento poderá ser feito com auxílio de dispositivos especiais acoplados no gancho principal e no rotor do gerador.

O comando de cada ponte será através de cabina aberta fixa sob o passadiço na extremidade da ponte rolante.

As pontes deverão ser usadas em conjunto para a instalação das turbinas e geradores, descarregamento de equipamentos dos caminhões no piso da Área de Montagem assim como para serviços gerais.

Para o manuseio do rotor do gerador, ambas as pontes devem operar conectadas e totalmente sincronizadas (movimentos do gancho principal, translação de carro e ponte).

As características principais das pontes rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal do gancho principal 2 x 4.000 kN
- Capacidade nominal do gancho auxiliar 200 kN
- Capacidade combinada das pontes 16.000 kN
- Comprimento do caminho de rolamento..... 869,00 m
- Elevação do topo do trilho EL. 33,00 m
- Vão entre linhas de centro dos trilhos..... 30,00 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 31,00 m
- Curso de elevação do gancho principal..... 35,00 m
- Velocidades do guincho principal 1,0/0,05 m/min
- Elevação máxima do gancho auxiliar EL. 32,00 m
- Curso de elevação do gancho auxiliar 45,00 m
- Velocidades do gancho auxiliar 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação do carro..... 10,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação da ponte..... 20,0/1,0 m/min
- Operada via controle remoto

UHE BELO MONTE

b) Pontes Rolantes Auxiliares da Casa de Força

As pontes rolantes e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, acionada por motores elétricos e equipada com um gancho principal com capacidade estimada de 800 kN.

As pontes deverão ser usadas em conjunto para a instalação das turbinas e geradores, descarregamento de equipamentos dos caminhões no piso da Área de Montagem assim como para serviços gerais.

As características principais das pontes rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal do gancho principal 800 kN
- Capacidade nominal do gancho auxiliar 200 kN
- Comprimento do caminho de rolamento..... 869,00 m
- Elevação do topo do trilho EL. 26,00 m
- Vão entre linhas de centro dos trilhos..... 29,00 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 24,50 m
- Curso de elevação do gancho principal..... 35,00 m
- Velocidades do guincho principal 4,0/0,4 m/min
- Elevação máxima do gancho auxiliar EL. 24,50 m
- Curso de elevação do gancho auxiliar 35,00 m
- Velocidades do gancho auxiliar 10,0/1,0 m/min
- Velocidades de translação do carro..... 10,0/1,0 m/min
- Velocidades de translação da ponte..... 40,0/4,0 m/min
- Operada via controle remoto

c) Talhas em Monovias da Subestação SF6

As talhas em monovias e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, comandada por botoeira e acionada por motores elétricos e com capacidade nominal de 150 kN.

Serão utilizadas para instalação e manutenção dos equipamentos da galeria da subestação SF6, distribuídas ao longo da galeria

As características principais das talhas em monovias são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal..... 150 kN
- Comprimento das monovias..... 02 x 735,00 m
- Elevação do piso da galeria EL. 13,80 m
- Elevação do teto da galeria EL. 26,30 m

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- Velocidades do gancho 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação 16,0/1,6 m/min

d) Talhas em Monovias da Galeria Mecânica Superior

As talhas em monovias e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, comandada por botoeira e acionada por motores elétricos e com capacidade nominal de 150 kN.

Será utilizada para instalação e manutenção dos equipamentos da galeria mecânica.

As características principais das pontes rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal..... 150 kN
- Comprimento das monovias 02 x 769,00 m
- Elevação do piso da galeria EL. -4,30 m
- Elevação do teto da galeria EL. 3,75 m
- Velocidades do gancho 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação 16,0/1,6 m/min

e) Talhas em Monovias dos Poços de Drenagem e Esgotamento

As talhas em monovias e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, comandada por botoeira e acionada por motores elétricos e com capacidade nominal de 50 kN e 100 kN.

Será utilizada para instalação e manutenção das bombas e equipamentos montados acima dos poços de drenagem e esgotamento.

As características principais da talha em monovia são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 03+02
- Capacidade nominal..... 03 x 50 kN + 02 x 100 kN
- Comprimento da monovia 05 x 20,00 m
- Elevação do piso do poço de drenagem..... EL. -35,00 m
- Elevação do teto do poço de drenagem EL. 4,10 m
- Elevação do piso do poço de esgotamento EL. -40,00 m
- Elevação do teto do poço de esgotamento..... EL. 4,10 m
- Velocidades do gancho 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação 16,0/1,6 m/min

f) Pórticos Rolantes do Tubo de Sucção

Os pórticos rolantes e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, acionada por motores elétricos e equipada com um gancho principal com capacidade estimada de 550 kN.

UHE BELO MONTE

Serão utilizadas para os serviços de operação, montagem e manutenção dos painéis das comportas ensecadeiras.

As características principais dos pórticos rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 02
- Capacidade nominal..... 550 kN
- Comprimento do caminho de rolamento..... 690,00 m
- Elevação do topo do trilho EL. 13,80 m
- Vão entre linhas de centro dos trilhos..... 3,00 m
- Elevação máxima do gancho..... EL. 21,00 m
- Curso de elevação do gancho 45,00 m
- Velocidades do gancho 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação do carro..... 5,0/0,5 m/min
- Velocidades de translação do pórtilco 40,0/4,0 m/min
- Operada via controle remoto

g) Pórtilco Rolante do Porto

A Porto do Sítio Belo Monte será equipado com um pórtilco rolante para os serviços de descarga de materiais e equipamentos pesados, com capacidade suficiente para levantamento e movimentação na ordem de 3500 KN.

O pórtilco rolante e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso desabrigado, comandado através de cabina fechada e equipado com um carro guincho, totalmente coberto, para abrigar os mecanismos do guincho e da direção do carro.

As características principais dos pórticos rolantes são as indicadas abaixo:

- Quantidade..... 01
- Capacidade nominal do gancho principal 3500 kN
- Comprimento do caminho de rolamento..... 50,00 m
- Elevação do trilho..... EL. 13,00 m
- Vão entre as linhas de centro dos trilhos..... 15,0 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 28,00 m
- Elevação mínima do gancho principal EL. 13,00 m
- Velocidades do gancho principal 2,0/0,2 m/min
- Velocidades de translação do carro..... 4,0/0,4 m/min
- Velocidades de translação do pórtilco 10.0/1.0 m/min

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Elevador

Estão previstos três elevadores para transporte de pessoas e equipamentos de pequeno porte, sendo dois elevadores localizados no edifício de controle na ME e mais um na área de montagem da margem direita.

Os elevadores serão do tipo automático, e completo com cabina, portas de entrada, contrapeso, pára-choques, sistema de suspensão e guia, unidade acionadora, controles, operador de portas, indicadores, dispositivos de comando e de segurança, fiação, eletrodutos e todos os demais acessórios necessários.

As características técnicas principais dos elevadores são as indicadas abaixo:

- Tipo: carga / passageiros
- Norma: NBR – 7192 ou NM 207
- Quantidade: 03*
- Capacidade nominal: 1.125 kg 15 passageiros*
- Velocidade: 60 m/min (*)
- Pisos de serviço (paradas): 7 (*)
- Trajeto total:
 - Elevador 1 da EL. -12,70 a EL. 26,30 m (*)
 - Elevador 2 e 3 da EL. -12,70 a EL. 13,90 m (*)
- Largura livre da cabina 2,50 m;
- Profundidade livre da cabina 3,00 m;
- Altura livre da cabina 2,20 m (mínimo)
- Portas da cabina: quantidade 1
- Tipo: corrediça, abertura lateral (2 painéis)
- Acionamento: Automática
- Largura livre da porta 2,00 m (mínimo)

10.7. SISTEMAS AUXILIARES MECÂNICOS

10.7.1 Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem da casa de Força é composto de canaletas coletoras, ralos, tubulações, caixa de separação água e óleo e poço de drenagem. Serão duas estações distintas, cujos poços têm sua estação de bombeamento localizada em Salas de bombas de esgotamento e drenagem (piso da Galeria Elétrica), nas áreas de montagem da margem esquerda e no bloco central. Cada estação de bombeamento será composta por um poço de drenagem equipado por duas bombas do tipo turbina.

Os sistemas deverão ser dimensionados de acordo com os seguintes critérios:

- Água coletada será bombeada para o canal de fuga, acima do nível de água máximo.

UHE BELO MONTE

- Os sistemas são projetados para a máxima disponibilidade, incluindo o abastecimento elétrico a partir da barra de serviços essenciais.
- Cada bomba turbina tem uma capacidade de 150% do fluxo de água estimado, em condições normais.
- Para manutenção do poço deverá ser prevista uma bomba submersível em rebaixo localizado no fundo.
- Cada poço deve ter a disposição para a instalação de uma eventual terceira bomba.
- Deverá ser previsto interligação entre o poço de drenagem e o poço de esgotamento.
- Cada caixa separadora água-óleo deverá ser dimensionada conforme normas API aplicáveis, e previstas todas as tubulações, válvulas, acessórios e bomba submersível para limpeza.
- O volume do poço entre os níveis de início de operação de cada bomba deve corresponder ao volume bombeado por uma bomba em cinco minutos.
- O arranjo do poço e bombas deve atender às recomendações do Hydraulic Institute.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de drenagem é mostrado nos desenhos BEL-B-BM-FL-CAF-210-0001 e 0002.

10.7.2 Sistema de Esgotamento e Enchimento

O sistema de esgotamento e enchimento da Casa de Força é composto de duas estações de bombeamento, localizadas em Salas de bombas de esgotamento e drenagem (piso da Galeria Elétrica), nas áreas de montagem da margem esquerda e no bloco central. Cada estação de bombeamento será composta por um poço de esgotamento equipado por três bombas do tipo turbina.

Para cada conjunto de duas unidades geradoras, suas respectivas válvulas para controle do esgotamento total serão locadas em uma sala de válvulas de esgotamento, localizada entre as duas unidades a qual se refere.

Cada unidade será equipada com duas válvulas de borboleta para controle do esgotamento parcial, locadas na galeria de acesso ao Tubo de Sucção, esgotando parcialmente o tubo de sucção e a caixa espiral, abaixo da linha de fundo do distribuidor.

A tubulação de esgotamento da caixa espiral irá descarregar no tubo de sucção da respectiva unidade.

Os sistemas deverão ser dimensionados de acordo com os seguintes critérios:

- Água coletada será bombeada para o canal de fuga, acima do nível de água máximo.
- Esgotamento parcial em não mais de seis horas, e esgotamento total em não mais de oito horas.

UHE BELO MONTE

- A operação de esgotamento deverá ocorrer com as três bombas operando em conjunto, sendo que o tempo de esgotamento inicia quando o nível de água no conduto forçado está em equilíbrio com o nível de água normal de jusante.
- O enchimento das unidades será através de válvulas by-pass instaladas nas comportas ensecadeiras de montante, operadas pela correspondente viga pescadora.
- Tubulação de aeração deve ser prevista nos lados montante e jusante, próximas do teto na região das comportas, sendo que as mesmas devem aflorar acima do nível máximo do reservatório.
- Para manutenção do poço deverá ser prevista uma bomba submersível em rebaixo localizado no fundo.
- O Tanque do sistema de esgotamento deverá ser estanque

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de esgotamento e enchimento é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-211-0001.

10.7.3 Sistema de Água de Resfriamento

O sistema de água de resfriamento da Casa de Força irá fornecer água para todos os trocadores de calor da unidade geradora.

Serão previsto dezoito filtros do tipo auto-limpante, alimentados por tubulação conectada ao conduto forçado da respectiva unidade. Cada filtro deve ter uma capacidade equivalente a 150% da vazão requerida para o funcionamento de uma unidade.

Os filtros das unidades 1 a 10 alimentaram um header de água filtrada que distribui para os pontos de consumo das dez unidades. Ao mesmo tempo, os filtros das unidades 11 a 18 alimentam um segundo header de água filtrada para o consumo de suas respectivas unidades.

Filtros adicionais requeridos para vedação do selo da turbina devem ser previstos pelo fabricante da turbina.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de água de resfriamento é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-212-0001.

10.7.4 Sistema de Água Anti-Incêndio

O sistema de água anti-incêndio da Casa de Força tem a finalidade de eliminar os princípios de incêndios através de uma rede de hidrantes e de um sistema de água nebulizada para os transformadores principais e auxiliares.

O sistema de hidrantes deverá proteger os diversos ambientes da casa de força, através de tubulações e válvulas, caixas de incêndio internas e hidrantes externos, convenientemente dispostos de maneira a se obter uma proteção adequada contra incêndios.

O sistema previsto para proteger os transformadores é do tipo automático, fixo, de água nebulizada com um sistema de detecção de calor. A alimentação dos sistemas de água antiincêndio, tanto de combate quanto de detecção, será proveniente da tubulação principal de água de resfriamento. Será previsto um ramal independente

UHE BELO MONTE

para cada transformador, dotado de válvula de bloqueio, válvula dilúvio, projetores adequadamente dispostos em volta dos transformadores, assim como uma derivação para o sistema de detecção de calor, composto de termo-sensores de temperatura fixa.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de água anti-incêndio é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-213-0001.

10.7.5 Sistema de Água Tratada

Para o sistema de água tratada da Casa de Força deverão ser previstas três estações compactas de tratamento de água, com capacidade mínima de 2,0 m³/h cada, respectivos acessórios e rede de tubulações.

Serão alimentados através destas estações de tratamento três tanques elevados localizados nas áreas de montagem das margens direita, esquerda, e no bloco central.

Não são requeridas bombas para a alimentação das estações de tratamento, que será através do sistema de água de serviço. Como a pressão deste outro sistema já está devidamente equalizada por válvulas redutoras de pressão, não sendo necessárias válvulas redutoras adicionais.

Tubulação dos tanques elevados para os pontos de consumo devem ser previstos pela obra civil.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de água tratada é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-214-0001 e 0002.

10.7.6 Sistema de Coleta e Separação de Água/Óleo Isolante

O sistema de coleta e separação de água/óleo isolante da Casa de Força compreende toda a bacia de contenção dos transformadores, tubulação e o tanque de separação água/óleo.

Serão instaladas três caixas de separação água/óleo, localizadas nas áreas de montagem das margens direita, esquerda, e no bloco central.

A caixa separadora água-óleo deverá ser dimensionada conforme normas API aplicáveis, e previstas todas as tubulações, válvulas, acessórios e bomba submersível para limpeza. Serão construídas em concreto previstas pela obra civil.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de coleta e separação de água/óleo isolante é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-215-0001.

10.7.7 Sistema de Água de Serviço

O sistema de água de serviço destina-se a suprir de água os serviços gerais da Casa de Força, a lavagem dos pisos da casa de força e o sistema de resfriamento dos compressores de ar comprimido de serviço.

O sistema será composto por alimentações derivadas da tubulação principal de água de resfriamento, e de rede de tubulações, de estações redutoras de pressão, onde necessário, além de válvulas e acessórios.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de água de serviço é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-216-0001.

UHE BELO MONTE

10.7.8 Sistema de Esgoto Sanitário

Cada sistema de tratamento de esgoto da casa de força será composto por um tanque de coleta em concreto, bombas helicoidais e uma estação de cloração e tratamento. Serão previsto quatro desses sistemas, nas áreas de montagem das margens direita, na unidade 10, no bloco central e na unidade 18.

Toda tubulação dos pontos de uso para a caixa de coleta serão fornecidos pelas obras civis.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de esgoto sanitário é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-217-0001 e 0002.

10.7.9 Sistema de Ar Comprimido para Serviços Gerais

O sistema de ar comprimido de serviços gerais da Casa de Força irá suprir de ar para serviços tais como, alimentação de válvulas e equipamentos de controle, operação de máquinas e ferramentas pneumáticas, secagem e limpeza de peças e equipamentos situados na casa de força, além do sistema de freios dos geradores.

Serão duas salas de compressores de ar, situadas nos blocos da área de montagem da margem esquerda e no bloco central. Cada sala possui duas centrais de ar comprimido constituídas de compressores, resfriadores posteriores, filtros e reservatórios, sempre com equipamentos de redundância para cada central.

Linhas de distribuição ao longo das diversas galerias, com derivações em ramais dotados de válvulas e acessórios para atender os vários pontos de consumo.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema ar comprimido para serviços gerais é mostrado nos desenhos BEL-B-BM-FL-CAF-220-0001 e 0002.

10.7.10 Sistema de Condicionamento de Ar

O sistema de ar condicionado será provido a todos os ambientes que necessitam condicionamento, como a sala de controle da usina e escritórios locais.

Para a sala de controle serão fornecidos dois sistemas independentes do tipo "self-contained" um principal e um reserva.

Para os escritórios locais o condicionamento de ar será constituído por condicionadores convencional tipo "split".

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de condicionamento de ar é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-230-0001.

10.7.11 Sistema de Ventilação

O sistema de ventilação, compreendendo uma sala de ventilação para cada conjunto de duas unidades geradoras, será responsável pela distribuição de ar por toda a Casa de Força, a fim de manter a temperatura interna não superior a 5°C acima da temperatura externa.

Taxas de renovação de ar são aplicáveis a todos os ambientes.

Sistemas de exaustão independentes deverão ser previstos para o gerador, poços turbina, sala de baterias e instalações sanitárias.

UHE BELO MONTE

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de ventilação é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-234-0001.

10.7.12 Medições Hidráulicas

O sistema de medições hidráulicas será constituído basicamente por instrumentações adequadas à medição de níveis, pressões, vazões de água, fornecendo dados para a operação adequada dos equipamentos da usina e do reservatório.

Deve ser dimensionado para fornecer sinais analógicos para aos seguintes medições:

- Nível de montante (reservatório);
- Nível de jusante (canal de fuga);
- Perdas de cargas nas grades da Tomada d'Água – este sinal também será aplicado para medição da equalização de pressão para remoção das comportas ensecadeiras da Tomada d'Água;
- Equalização de pressão para comando de abertura automática da comporta vagão da Tomada d'Água;
- Equalização de pressão para remoção das comportas ensecadeiras do Tubo de Sucção.

As medições hidráulicas para queda líquida, entrada da caixa espiral, pressão no cone do Tubo de Sucção, Winter-Kennedy e pressão na tampa da turbina são à cargo do fabricante da unidade geradora.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de medições hidráulicas é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-GER-235-0001.

10.7.13 Sistema de Tratamento de Óleo Lubrificante

Este sistema irá fornecer os meios para armazenar, purificar e transferir o óleo entre os pontos consumidores e os tanques de armazenamento.

Será composto por quatro tanques de 10 m³ cada, um purificador de óleo tipo centrífuga móvel com capacidade de 7,5 m³/h, dois tanques móveis com 3,0 m³ cada, dois filtros tipo prensa com 2 bombas de transferência, cada um com uma capacidade de 7,5 m³/h, painéis de controle local e rede de tubulações com válvulas e acessórios.

A rede de tubulação deve ter suas saídas próximas ao piso da área de montagem. As duas salas de estocagem de óleo onde serão locados os tanques fixos, situadas nas áreas de montagem da margem esquerda e no bloco central, devem estar equipadas com um sistema de extinção de incêndios automático por CO₂.

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de tratamento de óleo lubrificante é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-236-0001.

10.7.14 Sistema de Combate a Incêndio Móvel

Deve ser previsto um sistema de extintores portáteis de CO₂, distribuídos nas diversas áreas da Casa de Força de acordo com as regulamentações do Corpo de Bombeiros local.

UHE BELO MONTE

O fluxograma que apresenta o arranjo esquemático do sistema de combate a incêndio móvel é mostrado no desenho BEL-B-BM-FL-CAF-282-0001.

10.8. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS PRINCIPAIS

10.8.1 Gerador

Serão instalados 18 (dezoito) geradores na Casa de Força. As suas principais características e equipamentos associados estão listados a seguir:

- Tiposíncrono, eixo vertical, polos salientes, regime contínuo
- Número de fases 3
- Ligaçãoestrela (seis terminais)
- Aterramento através de um transformador de distribuição
- Potência nominal.....679 MVA
- Fator de potência nominal 0,9
- Tensão nominal20 kV (Nota: esta tensão poderá ser otimizada posteriormente)
- Faixa de Tensão..... +5%, -10%
- Frequencia nominal..... 60 Hz
- Velocidade síncrona 85,7 rpm
- Numero de polos 84
- Classe de isolamento do estator F
- Classe de isolamento do rotor F
- Temperatura máxima do enrolamento do estator (medida por RTD), com potência nominal e fator de potência nominal 123°C
(Nota: considerando uma temperatura ambiente de 40°C, água de resfriamento a 30°C e um trocador de calor fora de serviço)
- Temperatura máxima do enrolamento do rotor (medida por RTD), com potência nominal e fator de potência nominal 130°C
(Nota: considerando uma temperatura ambiente de 40°C, água de resfriamento a 30°C e um trocador de calor fora de serviço)
- Constante de inércia (gerador + turbina) 4,67 kW/kVA
- Sequência de fases A, B, C
- Ruído audível, na potência nominal e a 1 m acima da tampa do gerador..... 85 dB
- Reatância subtransitória não saturada (X''_{du}) 0.22 pu
- Reatância síncrona não saturada $\leq 1,1$ pu
- Eficiência, com carga nominal e fator de potência nominal 98,65%
- Dissipação do calor: através de radiadores resfriados com água. A água será retirada do sistema de água de resfriamento da usina.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Nota: a temperatura do sistema de água de resfriamento da usina será considerada como 30°C.

- Os geradores G1, G5 e G9 serão capazes de operar como condensador síncrono.
- Todos os geradores deverão obedecer ao “Submódulo 3.6 – Requisitos técnicos mínimos para a conexão à rede básica” do Operador Nacional do Sistema.
- Excitação:
Tipoestática com controle digital
Transformadores de excitação 3 monofásicos, tipo seco, epoxi
Cubículos de excitação com n+1 pontes conversoras
- Cubículo de aterramento do neutro: será fornecido com um transformador de distribuição, um resistor e outros acessórios necessários. O resistor será dimensionado para limitar o curto-circuito monofásico a 15 A.
- Cubículo de proteção contra surtos e transformadores de potencial
Tipo monofásico
Tensão nominal 24 kV
- Todas as ligações entre o gerador, o transformador elevador, o cubículo de excitação, o cubículo de proteção contra surtos e o cubículo de aterramento do neutro serão com barramento blindado.

10.8.2 Barramento Blindado

As ligações entre o gerador, o transformador elevador e o cubículo de aterramento do neutro serão efetuadas através de barramento blindado. Suas principais características estão listadas a seguir:

- Tipo fases isoladas
- Tensão nominal 24 kV
- Tensão de operação 20.0 kV
- Frequência 60 Hz
- Tensão suportável nominal à frequência industrial, 1 minuto 50 kV
- Tensão suportável nominal de impulso atmosférico 125 kV
- Correntes:
 - Corrente nominal 22000 A
 - Corrente máxima de curto-circuito (simétrico - rms): 175 kA
 - Corrente máxima de curto-circuito (assimétrico - pico): 490 kA
 - Duração máxima do curto-circuito 1 s

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Os barramentos de derivação para o cubículo de excitação e para o cubículo de proteção contra surtos terão as seguintes características principais:

- Tipofases isoladas
- Correntes:
 - Corrente nominal (mínimo) 400 A
 - Corrente máxima de curto-circuito (simétrico - rms):..... 275 kA
 - Corrente máxima de curto-circuito (assimétrico - pico):..... 770 kA
 - Duração máxima de curto-circuito..... 1 s

10.8.3 Transformador Elevador

Será instalado um transformador elevador para cada gerador. As suas principais características estão listadas a seguir:

Características elétricas:

- Tipo:elevador
- Fases trifásico
- Frequência nominal 60 Hz
- Instalação ao tempo
- Isolamento óleo mineral
- Sistema de preservação do óleo conservador
- Resfriamento..... óleo dirigido / ar forçado (ODAF)
- Tensão nominal – enrolamento primário 20000 V
- Tensão nominal – enrolamento secundário 525000 V
- Comutador de derivações
 - Tipo.....sem carga
 - Local de instalação enrolamento secundário (525 kV)
 - Faixa de Tensão $\pm 2 \times 12,5$ kV
- Relação nominal $20 - 525 \pm 2 \times 12,5$ kV
- Ligações dos enrolamentos
 - Baixa tensão (20 kV).....delta
 - Alta tensão (525 kV):.....estrela

UHE BELO MONTE

- Neutro dos enrolamentos de alta tensão acessível / aterrado
- Deslocamento angular..... Ynd1
- Potências nominais (ONAN/ONAF): 510/680 MVA
- Eficiência mínima na potência de 682 MVA e fator de potência unitário..... 99.70%
- Impedância, na base de 680 MVA..... 12%
- Tensões máximas:
 - Enrolamento primário..... 24 kV
 - Enrolamento secundário 550 kV
 - Neutro do enrolamento secundário 24 kV
- Tensões suportáveis nominais à frequência industrial, 1 minuto:
 - Enrolamento primário..... 50 kV
 - Neutro do enrolamento secundário 50 kV
- Tensão suportável de impulso de manobra (onda de 250/2500 μ s):
 - Enrolamento secundário 1300 kV pico
- Tensão suportável de impulso atmosférico (onda de 1.2/50 μ s):
 - Enrolamento primário..... 150 kV
 - Enrolamento secundário 1675 kV
 - Neutro do enrolamento secundário 150 kV
- Tensão suportável de impulso atmosférico– onda cortada:
 - Enrolamento primário..... 165 kV
 - Enrolamento secundário 1842 kV
- Isolamento do transformador:
 - Líquido isolante (isento de DBDS) óleo mineral naftênico
 - Isolamento dos enrolamentos papel termoestabilizado
 - Isolamento do enrolamento primário uniforme
 - Isolamento do enrolamento secundário progressivo
- Temperaturas:
 - Elevação máxima de temperatura do enrolamento (ponto mais quente).... 80°C
 - Elevação média de temperatura do enrolamento (método da variação da resistência) 70°C

UHE BELO MONTE

- Elevação máxima de temperatura do óleo (topo):..... 65°C
- O transformador será projetado para fornecer a sua potência nominal com um radiador fora de serviço

10.9. SUBESTAÇÃO ISOLADA A SF6

A subestação UHE Belo Monte SF6 - 525 kV terá a função de coletar a energia, em média tensão, de cada uma das 18 unidades geradoras da UHE Belo Monte, transformá-la para 525 kV e disponibilizá-la para transporte, através de 5 linhas de transmissão de 525 kV, até o pátio “Coletora Belo Monte” de propriedade de consórcio Norte Energia a ser instalado na SE Xingu de propriedade da Isolux-Corsán Energia, localizada a, aproximadamente, 17 km da UHE Belo Monte.

Diante das condições restritivas de espaço físico na Casa de Força a solução para esta subestação foi adotar a tecnologia de isolamento à SF6 na sua concepção.

Em função de tal definição e se valendo de estudos de confiabilidade, resultado de extensas verificações de arranjos utilizando essa tecnologia, concluiu-se pela viabilidade de configurar a subestação no esquema de manobra de Barra Simples em SF6.

Para estruturar essa configuração foram estabelecidos três módulos básicos constituídos de unidades compactas GIS denominados:

- Módulo de Conexão de Transformador;
- Módulo de Conexão de Linha;

O Módulo de Conexão de Transformador é constituído de unidades compactas GIS, isoladas em gás SF6, dotadas de equipamentos de manobra (disjuntor, seccionadores e seccionadores de aterramento), Transformador de Corrente, barramentos isolados para conexão da unidade às buchas de alta tensão dos transformadores elevadores e barramentos isolados para conexão da unidade à Seção de Barramento de conexão de Linha.

O Módulo de Conexão de Linha é constituído de unidades compactas GIS, isoladas em gás SF6, dotadas de equipamentos de manobra (disjuntor, seccionadores e seccionadores de aterramento), Transformador de Corrente, Transformadores de Potencial Capacitivo, barramentos isolados compondo a unidade de seção de barra com TPC de Barra incorporado e barramento isolado de saída de linha, dotado de buchas de 525 kV para conexão às LTs convencionais de 525 kV, ancoradas nos pórticos, especificamente projetados para recebê-las.

Nas saídas de linha estão previstos 3 pára-raios, monopolares, do tipo convencional, instalação ao tempo, adequados para proteção de sobretensões dos equipamentos da SE. Os pára-raios serão instalados em viga metálica, especialmente projetada para recebê-los. Essas vigas fazem parte dos pórticos de ancoragem das respectivas Linhas de Transmissão de 525 kV. O quantitativo acima indicado é orientativo e deverá ser confirmado no estudo de coordenação de isolamento.

Para uma visualização completa da subestação Belo Monte 525 kV – SF6 ver o desenho BEL-B-BM-DE-GER-300-0002 – Diagrama Unifilar Simplificado disponibilizado em anexo:

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

10.9.1 Características Principais das Unidades Compactas GIS – SF6

a) Características Gerais – Norma IEC (-25°C/+40°C):

- Tensão máxima de operação 550 kV
- Frequência 60 Hz
- Nível de Isolamento
 - Impulso atmosférico 1675 kVp
 - Impulso de manobra 1300 kV
- Corrente Nominal 4000 A
- Nível de curto Circuito 63 kA (t=1 seg.)
- Nível de Pressão do gás SF6 a 20 °C
 - De preenchimento 3,5 bar
 - Alarme 3,18 bar
 - Mínimo (desligamento) 3,05 bar

b) Disjuntor

- Corrente Nominal 2000/4000 A [1]
- Capacidade de interrupção simétrica 50-63 kA
- Capacidade de fechamento 125-160 kAp
- Sequência de operação O – 0,3s – CO – 3 min. – CO
[1] Ver Diagrama Unifilar desenho BEL-B-BM-DE-GER-300-0002
- Nível de Pressão do gás SF6 a 20°C
 - De preenchimento 5,5-6,5 bar
 - Alarme 5,05-6,1 bar
 - Mínimo (desligamento) 4,95-6,0 bar

c) Secionador

- Nível de Isolamento
 - Impulso atmosférico 1675+300 kVp
 - Impulso de manobra 1300 kV

d) Secionador de aterramento

- Capacidade de fechamento 125-160 kAp

e) Transformador de Corrente

Transformador de Corrente 525 kV, NBI 1675 kV, com 3 núcleos, sendo 2 para serviços de proteção e 1 para serviços de medição operacional:

TC dos Módulos de Conexão de Transformadores – Geradores

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- Relação 2000-5-5A (RM)
- Serviços de Proteção 10B800
- Serviços Medição 0,3C50

TC dos Módulos de Conexão de Linha

- Relação 4000-5-5A (RM)
- Serviços de Proteção 10B800
- Serviços Medição 0,3C50

f) Transformador de Potencial

Transformador de Potencial Capacitivo monofásico, $517,5/\sqrt{3}$ kV, de relação $517500/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3}$ V

- Tensão Nominal $525/\sqrt{3}$ kV eficaz
- Tensão Suportável Nominal a Impulso Atmosférico 1675 kV crista
- Tensão Suportável Nominal a Impulso de Manobra 1300 kV crista
- Tensão Suportável Nominal a Frequência Industrial, 1 min. 680 kV eficaz

As características acima são orientativas e deverão ser confirmadas no Projeto Básico Consolidado em função da definição do fornecedor do sistema SF6 e dos estudos sistêmicos para implantação da UHE Belo Monte.

10.9.2 Equipamento complementar, convencional

a) Pára-raios monopolar para sistema de 550 kV, frequência nominal 60 Hz, tipo construtivo ZnO, corrente nominal de descarga de 20kA dotado de com contador de descargas;

- Tensão Nominal 420 kV
- Corrente Nominal de Descarga 20 kA
- Corrente de curto circuito 40 kA
- Máxima Tensão de Operação Contínua (valor mínimo)..... 340 kVef
- Corrente de Impulso de Curta Duração (valor mínimo)..... 100 kAcrista
- Capacidade do Dispositivo de Alívio de Pressão Simétrica 50 kAef

As características acima são orientativas e deverão ser confirmadas no Projeto Básico Consolidado em função da definição do fornecedor do sistema SF6 e dos estudos sistêmicos para implantação da UHE Belo Monte.

10.10. SISTEMAS AUXILIARES ELÉTRICOS

Um conjunto completo de equipamentos e sub-sistemas será utilizado para fornecer energia a todas as cargas elétricas da planta e para prover meios para a proteção pessoal e geral das instalações. Todas as instalações elétricas serão projetadas conforme normas ABNT.

UHE BELO MONTE

Os sistemas auxiliares incluem:

- Serviços auxiliares em corrente alternada.
- Serviços auxiliares em corrente contínua.
- Sistema de aterramento e proteção contra descargas atmosféricas.
- Sistema de vias de cabos.
- Sistema de cabos isolados.
- Sistema de iluminação e tomadas.

A concepção dos serviços auxiliares elétricos é apresentada nos desenhos BEL-B-BM-DE-GER-320-0001 – Sítio Belo Monte - Serviços Auxiliares em Corrente Alternada - Diagrama Unifilar Simplificado e BEL-B-BM-DE-GER-325-0001 – Sítio Belo Monte - Serviços Auxiliares em Corrente Contínua - Diagrama Unifilar Simplificado.

10.10.1 Serviços auxiliares de corrente alternada

a) Descrição geral

O sistema de serviços auxiliares CA da usina é composto pelos seguintes elementos:

- Cubículos de média tensão com reatores limitadores de corrente, 20 kV;
- Transformadores auxiliares das unidades, 20000/13800 V;
- Grupos geradores de emergência a diesel, 6.9 kV;
- Cubículos de distribuição de média tensão, 13.8 kV;
- Subestações unitárias 13800/460 V;
- Centros de controle de motores 460 V, para cargas auxiliares das unidades geradoras;
- Painéis de distribuição 460 V, para cargas gerais da usina.

O arranjo dos elementos acima é feito de maneira que haja redundância nas alimentações desde as unidades geradoras principais até os painéis de alimentação das cargas consumidoras (centros de controle de motores ou painéis de distribuição 460 V). Assim, uma falha em qualquer componente a montante desses painéis não provoca a desenergização de nenhuma carga consumidora, uma vez que haverá sempre caminhos alternativos para a energização desses painéis.

De modo particular, no setor de média tensão (20 kV e 13.8 kV) a falha em dois componentes (cubículos, transformadores ou cabos) não afeta o funcionamento do sistema auxiliar. No setor de baixa tensão, falha em um transformador, em uma barra do painel BT das subestações unitárias, ou em um cabo de saída, não causa restrições operacionais ao sistema auxiliar. Uma falha nas duas barras do painel BT provocará a parada de duas unidades geradoras principais e restrições em alguns sistemas auxiliares. Falhas nos centros de controle de motores provocarão a parada da unidade geradora associada.

A configuração do sistema auxiliar CA representa um compromisso entre a confiabilidade frente a falhas em seus componentes, como exposto acima, e a simplicidade operacional do sistema, que permite chaveamentos e transferências de

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

fontes de maneira rápida e segura, tanto em operação manual como em operação automática pelo sistema digital da usina.

b) Princípios de operação e critérios de dimensionamento

O sistema de serviços auxiliares CA possui três fontes alimentadoras:

- Alimentação principal:
 - derivada de oito unidades geradoras principais (unidades de ordem ímpar: G1, G3, G5, G7, G9, G11, G13, G15) através de quatro transformadores auxiliares TA.
- Alimentação alternativa:
 - fonte externa proveniente da subestação Belo Monte, alimentada por linhas de transmissão 69 kV.
- Alimentação de emergência:
 - fornecida por grupos geradores de emergência a diesel.

A fonte principal e a alternativa alimentam a totalidade das cargas do sistema auxiliar da usina, sem nenhuma restrição operacional. A fonte de emergência estará dimensionada para alimentar somente as cargas essenciais da usina quando houver falha nas fontes principal e alternativa.

Durante a operação normal do sistema as cargas são alimentadas por no mínimo 2 transformadores auxiliares TA. A configuração do sistema em operação normal é definida pela disponibilidade dos transformadores auxiliares, dos cubículos e cabos de média tensão e, ainda, das unidades geradoras principais em operação.

Com o sistema alimentado pelas fontes de emergência as barras não essenciais dos painéis de distribuição 460 V são desligadas. A operação em emergência ocorre devido a falha nas fontes normais e alternativas ou durante a partida da primeira unidade geradora com a usina isolada do sistema elétrico externo (SE Belo Monte 69 kV desenergizada).

• Transformadores auxiliares das unidades (TA1/3/9/11)

Cada transformador estará dimensionado para alimentar metade do total das cargas da usina e apresentará as seguintes características principais:

- tipo: transformador de potência
- isolamento: óleo mineral
- refrigeração: ONAN
- uso: externo
- comutador de tapes: sob carga
- relação nominal: 20000 ± 8 x 1.25% - 13800 V
- potência nominal: 10000 kVA

• Transformadores das subestações unitárias (TS11/TS12)

Cada transformador será dimensionado para alimentar o total das cargas da subestação unitária, com as seguintes características principais:

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- tipo: transformador de potência
- isolamento: seco
- refrigeração: AN
- uso: interno
- instalação: em cubículo metálico com grau de proteção IP-21
- comutador de tapes: sem carga
- relação nominal: $13800 \pm 2 \times 2.50\%$ - 460 V
- potência nominal: 500~2000 kVA
- Grupos geradores de emergência (GD1, GD2)

A usina possuirá dois grupos geradores dimensionados para alimentar as cargas essenciais da Casa de Força, Subestação SF6 e Tomada d'Água durante as seguintes situações:

- Operação normal – usina parada:

Os geradores de emergência alimentam as cargas auxiliares enquanto as unidades geradoras G1, G3, G5, G7, G9, G11, G13, G15 estiverem paradas e não houver fonte externa (fonte alternativa). Nesta situação somente as cargas essenciais (sistema de drenagem, carregadores de baterias, iluminação essencial, entre outros) são alimentadas pelos geradores de emergência. Cargas típicas de manutenção (pontes rolantes, elevadores, tomadas de força) não são utilizadas neste período.

- Operação normal – partida de unidade geradora:

Os geradores de emergência alimentam as cargas auxiliares durante a partida (não simultânea) das duas primeiras unidades geradoras principais (que alimentam diferentes transformadores auxiliares TA), com a usina desligada do sistema elétrico externo (*black start*), e durante a operação normal dessas unidades até a energização dos transformadores auxiliares TA associados.

Os geradores de emergência não são dimensionados para alimentar indefinidamente as cargas auxiliares com as unidades geradoras principais em operação normal ou para alimentar as cargas auxiliares durante a partida das demais unidades geradoras. Assim, a manutenção das unidades principais em operação e a partida das unidades restantes somente ocorre com o sistema auxiliar alimentado por sua fonte normal ou alternativa.

- Operação de emergência:

Os geradores são utilizados para manter as unidades geradoras principais em operação no caso de falha da alimentação normal e alternativa. Nesta situação os geradores possuirão capacidade suficiente para alimentar as cargas essenciais e permitir a parada não simultânea de todas as unidades geradoras (parada programada).

Os geradores apresentarão as seguintes características principais:

- tipo: estacionário

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- uso: abrigado
- combustível: diesel
- gerador: síncrono
- refrigeração: auto ventilado
- potência nominal (*standby*): 3750 kVA
- potência nominal (*prime*): 3375 kVA
- tensão nominal: 6.9 kV
- capacidade do tanque de combustível: 24 horas de operação

Os geradores estarão conectados ao sistema 13.8 kV por meio de transformadores elevadores.

Os geradores de emergência não operarão em paralelo com as fontes principais e alternativas.

- Cubículos de média tensão

Os cubículos de média tensão da usina são:

- Cubículos dos reatores CR – conectam o circuito das unidades geradoras principais aos transformadores auxiliares TA, com reator para limitação das correntes de curto-circuito. Os reatores serão dimensionados para limitar as correntes de falha em valores inferiores a 25 kA.
- Cubículos de distribuição CM/CMA1 – promovem a distribuição da energia em 13.8 kV desde os transformadores auxiliares TA e desde a fonte alternativa (subestação 69 kV) e de emergência até os transformadores das subestações unitárias.

Os cubículos de média tensão possuirão disjuntores extraíveis, com extinção a vácuo ou SF6, com comando local e remoto. A transferência de alimentação por perda das fontes é feita automaticamente pelo sistema de controle digital da usina.

- Painéis de baixa tensão

Os painéis de baixa tensão estão associados às subestações unitárias e à alimentação das cargas consumidoras:

- Painéis BT das subestações unitárias SU – distribuem a tensão 460 V recebida dos transformadores 13800 – 460 V das subestações unitárias aos painéis de alimentação das cargas ou diretamente a cargas consumidoras. Cada transformador e cada barra dos painéis são dimensionados para atender à carga total do painel.
- Centro de controle de motores 460 V CCM – painel de alimentação das cargas auxiliares das unidades geradoras principais. Está previsto um painel de barra simples para cada unidade geradora.
- Painel de distribuição 460 V CCG – painel de alimentação das cargas gerais da usina. Está previsto um painel por sub-sistema auxiliar ou por área da usina.

UHE BELO MONTE

Os disjuntores de entrada e interligação dos painéis BT serão do tipo *power*, extraíveis, com comando local e remoto. Os chaveamentos necessários para transferência de fontes de alimentação serão feitos automaticamente pelo sistema digital da usina.

Os circuitos de saída de alimentação das cargas consumidoras possuirão as seguintes características:

- Demarrador (motor):
 - com disjuntor-motor termo-magnético, fixo, comando manual com manopla rotativa;
 - com contator magnético;
 - montagem em gaveta extraível.
- Alimentador (cargas gerais):
 - com disjuntor caixa-moldada termo-magnético, fixo, comando manual com manopla rotativa;
 - montagem em gaveta extraível.

10.10.2 Serviços auxiliares de corrente contínua

O sistema de serviços auxiliares de corrente contínua é formado por cinco módulos independentes, cada um composto por:

- 2 carregadores de baterias 125 Vcc;
- 2 bancos de baterias chumbo-ácidas 125 Vcc com 60 elementos cada;
- 2 painéis de distribuição principais;
- Painéis de distribuição 125 Vcc para alimentação das cargas consumidoras;
- Sistema ininterruptível de energia (UPS), com entrada em 125 Vcc e saída em 120 Vca, com comutador estático de bypass, para alimentação de todos os equipamentos associados aos sistemas de controle e supervisão em corrente alternada, e demais equipamentos que não puderem ser alimentados diretamente em 125 Vcc.

Cada módulo compreende as cargas auxiliares de blocos compostos por 4 ou 3 unidades geradoras principais e demais cargas dos sub-sistemas auxiliares próximos a cada bloco.

O arranjo adotado apresenta redundância de alimentação para todas as cargas consumidoras. Uma falha em qualquer parte do sistema auxiliar não causa nenhuma restrição operacional ao sistema.

Princípios de operação e critérios de dimensionamento

O sistema auxiliar CC é alimentado a partir das barras essenciais dos Painéis de Distribuição 460 V (CCG1~9). As duas alimentações de cada Módulo CC são provenientes de painéis de distribuição distintos, assegurando a continuidade da alimentação mesmo havendo falha em um dos painéis alimentadores.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Todas as cargas consumidoras possuirão duas entradas de alimentação CC, agrupadas através de diodos, provenientes de barras distintas do Painel de Distribuição correspondente.

- Operação normal

A operação normal do sistema é feita com os dois conjuntos carregador+bateria ligados aos painéis de distribuição principais.

- Operação com um conjunto carregador+bateria

Durante a operação com um conjunto carregador+bateria fora de serviço, o conjunto restante possuirá capacidade para alimentar a totalidade das cargas, sem degradação do sistema auxiliar. Assim, cada carregador será dimensionado para alimentar todas as cargas do Módulo e, simultaneamente, carregar a bateria associada.

- Operação somente com baterias

Durante a ausência de tensão CA, devido a falha nas fontes CA ou nos dois carregadores do Módulo, o sistema CC é alimentado pelas baterias durante um período limitado de tempo. Duas situações são previstas:

- Caso 1 – falha nos carregadores

Neste caso os carregadores estão fora de operação e o sistema CA permanece em operação normal. O perfil das cargas CC é determinado considerando-se as operações:

- os geradores das unidades principais são mantidos em operação normal;
- haverá parada programada não simultânea das 3 ou 4 unidades alimentadas pelo Módulo CC no final do ciclo de descarga das baterias.

- Caso 2 – falha nas fontes CA

No caso de perda total das fontes de alimentação CA, devido a falha nos transformadores auxiliares e geradores de emergência, todas as unidades principais são paradas sucessivamente, com as baterias alimentando as cargas residuais. Operações efetuadas:

- transferência de fontes CA por falha ou desenergização dos transformadores (fontes normais e alternativas) para os geradores de emergência;
- após transferência mal sucedida, confirmando a falha também nos geradores de emergência, inicia-se a parada simultânea de todas as unidades principais;
- as cargas residuais do sistema CC são alimentadas pelas baterias até o final do ciclo de descarga.

Durante o período de operação sem alimentação CA admite-se que as duas baterias do Módulo estejam em operação normal e totalmente carregadas. As duas baterias serão dimensionadas para fornecer, em conjunto, energia às cargas por um período de 8 horas, mantendo as tensões dentro dos níveis admissíveis. O uso de diodos nas

UHE BELO MONTE

cargas consumidoras, com dois circuitos de entrada simultaneamente energizados, garante uma distribuição igual de carga entre as duas baterias.

- Carregadores de baterias (CB11, CB12)

Os carregadores possuirão duas saídas, uma para a bateria e uma para os consumidores (painéis de distribuição). A saída para consumidores possuirá unidades de diodos de queda para reduzir a tensão nas cargas durante o período de equalização da bateria.

- Baterias de acumuladores (B11, B12)

As baterias apresentarão as características:

- aplicação: estacionárias
- tipo de elemento: chumbo-ácida
- material ativo: chumbo-cálcio ou liga chumbo-antimônio
- construção: ventilada
- número de elementos por bateria: 60
- tensão nominal: 125 Vcc

10.10.3 Instalações Elétricas

Sistema de aterramento e proteção contra descargas atmosféricas

O sistema de aterramento será dimensionado para manter as tensões de passo, toque e malha dentro dos limites admissíveis para a segurança pessoal, e para prover caminhos para circulação de correntes de falha à terra de maneira a minimizar danos pelos efeitos térmicos ou pelas sobretensões geradas.

O sistema de aterramento da usina é composto por:

- Sistema de aterramento embutido e enterrado

Consiste no conjunto de condutores embutidos no concreto ou enterrados diretamente no solo onde são ligados os equipamentos, estruturas metálicas que devem ser aterradas e os neutros dos diversos circuitos elétricos existentes. Sua função é prover um caminho de retorno de correntes de falha aos neutros de suas fontes e prover meios de dissipação à terra de correntes de falha com neutro remoto ou correntes de surto, além de formar um plano equipotencial para toda a usina.

As barras de aço das paredes e pisos de concreto são consideradas como parte do sistema de aterramento. Com a finalidade de evitar a circulação de altas correntes pelas barras de aço, uma malha de baixa densidade formada por cabos de cobre é embutida no concreto dos pisos da Casa de Força, criando um caminho preferencial para a circulação das correntes de falha. Esta malha é firmemente conectada às barras de aço, garantindo a formação de uma malha única cobre + aço.

Nas subestações o sistema de aterramento é composto por uma malha de cabos de cobre dispostos horizontalmente enterrada em toda a extensão da subestação.

UHE BELO MONTE

Hastes verticais serão conectadas aos cabos horizontais em todo o perímetro da malha e próximas a para-raios.

Uma malha de cobre densa é embutida no concreto nos locais onde são instalados painéis ou outros equipamentos eletrônicos sensíveis. Nas subestações, uma malha densa é instalada junto aos equipamentos de manobra de operação manual (seccionadoras), para maior segurança do operador.

As malhas individuais de cada setor são interligadas por, no mínimo, dois cabos de cobre para garantir o mesmo potencial em todas as áreas e para reduzir a resistência equivalente total do sistema de aterramento.

- Sistema de aterramento exposto

Conjunto de cabos de cobre que conectam os equipamentos elétricos e estruturas ao sistema embutido e enterrado.

O sistema exposto é formado, também, por condutores instalados nas vias de cabos (leitos, eletrocalhas, dutos) acompanhando os cabos dos circuitos de força, com finalidade de proporcionar um caminho de retorno para correntes de sequência zero de baixa impedância próximo aos cabos de fase, reduzindo ruídos, interferências e circulação de correntes espúrias pela usina.

- Sistema de aterramento aéreo

Conjunto de condutores, captos e acessórios destinados à proteção dos equipamentos e estruturas contra descargas atmosféricas.

Este sistema é conectado ao sistema embutido e enterrado por meio de cabos de cobre ou pelas barras de aço das estruturas de concreto das edificações.

O arranjo do sistema de proteção contra descargas atmosféricas é projetado com base nos requisitos nas normas ABNT ou IEC. De maneira particular, o sub-sistema de aterramento aéreo (captos) terá sua configuração determinada com a utilização do método eletrogeométrico.

As conexões e emendas de todos os condutores de cobre enterrados ou embutidos serão feitas pelo processo exotérmico. Os cabos de cobre embutidos são conectados às barras de aço das estruturas do concreto por meio de braçadeiras aparafusadas. As conexões expostas são efetuadas com conectores de pressão (aparafusados).

Sistema de vias de cabos

O sistema de vias de cabos é constituído por todos os meios e materiais utilizados para a instalação de cabos isolados, independentemente de sua aplicação (cabos de força, média e baixa tensão, cabos de comando, comunicações, fibras-ópticas, etc.).

As vias de cabos utilizadas são, por ordem preferencial:

- Leitos de cabos.
- Eletrocalhas fechadas.
- Perfis metálicos com tampa.
- Conduítes metálicos.

UHE BELO MONTE

- Bancos de dutos.
- Canaletas.

A passagem de cabos de um piso a outro será feita através de *block-outs* no piso.

Os tipos de vias e seu arranjo são definidos de modo a evitar interferências entre diferentes circuitos, assegurando uma adequada compatibilidade eletromagnética.

a) Sistema de cabos isolados

Os seguintes tipos de cabos serão utilizados:

- Cabos para circuitos de força, classe 8,7/15 kV
Cabos formados por fios de cobre eletrolítico nus, têmpera mole, isolamento em EPR ou XLPE, cobertura de PVC.
- Cabos para circuitos de força, classe 0,6/1,0 kV
Cabos unipolares, com condutor de cobre eletrolítico, têmpera mole, classe de encordoamento 4 ou 5, isolação em EPR 90°C e cobertura externa em PVC.
- Cabos para circuitos de iluminação e tomadas, classe 750 V
Cabos unipolares, com condutor de cobre eletrolítico, têmpera mole, classe de encordoamento 4 ou 5, isolação em PVC 70°C sem cobertura externa.
- Cabos para circuitos de controle, classe 1,0 kV
Cabos para condução de sinais analógicos de baixa tensão, como circuitos secundários de TC e TP, sinais aquisitados por cartões de entradas digitais de PLCs, contatos de relés convencionais e de proteção, terão classe de isolamento de 1,0 kV, com blindagem coletiva de fita de cobre.
- Cabos para instrumentação, classe 300 V
Os cabos para a condução de sinais analógicos de extra baixa tensão, como por exemplo, transmissores ou transdutores (4 a 20 mA) e RTDs, são denominados de "instrumentação para sinais analógicos". Estes cabos terão classe de isolamento 300 V, formação em pares ou ternos torcidos com passo inferior a 100 mm, com blindagem por par ou por terno e blindagem coletiva, ambas de fita de poliéster aluminizada e fio de dreno de cobre, estanhado.
Para condução de sinais binários, serão empregados cabos multicondutores, blindados com fita de poliéster aluminizado.
- Cabos para comunicações
Os cabos para interligação entre painéis modulares de sistema de cabeamento estruturado, central telefônica, DG e estruturas serão próprios para redes telefônicas internas ou externas, com condutores de cobre, estanhados e isolados em PVC.
Os cabos do sistema de cabeamento estruturado serão do tipo STP, categoria 6, classe D, conforme ISO/IEC 11801. A formação será de 4 pares torcidos com blindagem por par e blindagem coletiva, ambas de fita de poliéster aluminizada.
Os fios telefônicos serão do tipo FI, constituídos por dois condutores de cobre estanhado de 0,6 mm de diâmetro, isolados com PVC.

UHE BELO MONTE

- Cabos de fibras ópticas.

Os cabos de fibra óptica serão do tipo multimodo ou monomodo, conforme aplicação, totalmente dielétricos, dotados de capa externa com boa resistência mecânica e à abrasão.

- b) Sistema de iluminação e tomadas

O sistema de iluminação atenderá a todas as áreas internas das estruturas civis principais e auxiliares, tais como barragem, tomada d'água, vertedouro, etc., bem como os pátios externos e as vias de acesso, estendendo-se até os limites dos portões principais do empreendimento. O sistema de tomadas inclui tomadas trifásicas e monofásicas 220/127 V instaladas nas paredes das áreas construídas.

Os equipamentos de iluminação são definidos e distribuídos de maneira a obter os melhores resultados luminotécnicos, de acordo com os níveis de iluminamento recomendados pelas normas técnicas da ABNT.

O sistema de iluminação é dividido em:

- Iluminação normal

É a iluminação geral e principal da usina, alimentada pelos pela fonte principal e alternativa do sistema de serviços auxiliares CA (transformadores auxiliares). No caso de falha no sistema CA esses circuitos de iluminação são desligados.

A iluminação normal representa aproximadamente 70% dos níveis de iluminamento requeridos.

- Iluminação essencial

Os circuitos de iluminação essencial são normalmente alimentados pela fonte principal e alternativa. Em caso de falha nessas fontes, os circuitos essenciais são alimentados pelos grupos geradores de emergência, através das barras essenciais dos painéis de distribuição.

A iluminação essencial representa aproximadamente 30% dos níveis de iluminamento.

- Iluminação de emergência (rotas de fuga)

A iluminação de emergência tem por objetivo prover iluminação e balizamento necessários para garantir uma evacuação segura quando os circuitos de iluminação normal e essencial estiverem desligados. Para isto, em todas as áreas da usina serão instalados módulos de iluminação autônomos com lâmpadas fluorescentes ou halógenas, com bateria interna, alimentados a partir dos circuitos essenciais do sistema de tomadas. Esses módulos apresentarão uma autonomia mínima de 2,5 horas, ativadas automaticamente na ausência de tensão CA de alimentação, permanecendo apagadas durante a operação normal do sistema de iluminação.

UHE BELO MONTE

10.11. SISTEMA DE SUPERVISÃO, CONTROLE E PROTEÇÃO DA USINA E DA SUBESTAÇÃO

10.11.1 Sistema Digital de Supervisão e Controle

Considerações gerais

A Usina Belo Monte será projetada com recursos para permitir operação não atendida, ou seja, de modo que possa ser controlada e supervisionada a partir de um sítio externo, embora, dada a sua magnitude, provavelmente vá ter equipes de operação no local, 24 horas por dia.

Todos os equipamentos e sistemas principais serão dotados de instrumentos que permitam a supervisão contínua do estado operacional e a detecção de condições anormais. Desta forma, será possível implementar automatismos para garantir a continuidade dos serviços e prover o operador com as informações necessárias para tomar decisões corretas. Além disto, a instrumentação deverá detectar, na medida possível, a “causa primeira” da condição anormal, de modo que as equipes de manutenção com a especialização adequada possam ser acionadas prontamente.

No âmbito da própria usina, haverá níveis de controle local e centralizado; os modos de controle serão manual e automático.

Estrutura do sistema

O sistema de supervisão e controle da usina (SDSC) será composto por equipamentos digitais e convencionais (a relés).

O sistema digital, estruturado em rede hierárquica distribuída, será baseado em equipamentos microprocessados. O sistema convencional será utilizado essencialmente para as funções de segurança e como retaguarda.

A configuração será baseada em elementos da linha de produtos de automação, tais como controladores lógicos programáveis (CLPs), redes de comunicação, servidores de base de dados e estações de operação adequados para o ambiente de usinas e subestações. *Softwares* básicos e aplicativos deverão propiciar alto nível de confiabilidade e segurança de operação.

O controle e a supervisão da usina e da subestação serão efetuados normalmente a partir da sala de controle central. Desse local poderão ser operadas as unidades geradoras, as comportas da tomada de água, os sistemas auxiliares e a subestação. O sistema instalado na usina irá se comunicar também com o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, com o Centro de Operação Regional (COR) e com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE. Conversores de protocolo serão utilizados conforme necessários.

Os equipamentos do SDSC terão sincronização do relógio calendário a partir de centrais horárias que receberão sinais do sistema GPS.

Estão previstos os seguintes níveis hierárquicos de controle principais:

- Nível 3 (Externo);
- Nível 2 (Central);
- Nível 1 (Local);

UHE BELO MONTE

- Nível 0 (junto aos equipamentos).

O nível 3 corresponde ao ONS, que, através de canais de telecomunicação redundantes, receberá os dados da usina e poderá efetuar comandos pertinentes às suas atribuições, como controle da geração e ao COR.

O nível 2 será constituído pelas estações de operação, estação de engenharia, servidores de base de dados e processadores de comunicação. Nesse nível serão possíveis o controle e supervisão geral da usina e da subestação, a comunicação com os centros de operação do sistema, os comandos de partida manual e automática, sincronização, paradas normal e de emergência, controles de carga e de tensão, etc. Para os servidores de dados históricos será provido um sistema de “cluster” com meios para inserção de discos rígidos a quente.

O nível 1 será constituído pelos CLPs, dotados de dispositivo de interface humano - máquina. Os CLPs irão se comunicar com o nível 2 através de redes locais (LANs). A operação nesse nível ocorrerá em caso de indisponibilidade do nível central ou em situações de testes. O alcance das ações de controle, nesse caso, será limitado aos equipamentos vinculados a cada CLP, que fará interface com o processo (equipamentos e sistemas supervisionados / controlados), para coletar dados e para efetuar comandos, através de redes de comunicação digital e através de conexão fio a fio (“hard-wired”). A quantidade de CLPs e de módulos de entrada / saída distribuídos será determinada com base em critérios funcionais e geográficos.

Como regra geral, os equipamentos e sistemas que constituem o “processo” terão meios próprios para controle através de painéis instalados junto a eles (nível 0), seja para efetuar suas próprias lógicas e automatismos, como no caso dos reguladores de velocidade e de tensão, seja para fins de manutenção, testes e para permitir comandos locais em caso de perda de comunicação com os níveis superiores.

O SDSC da UHE Belo Monte será elaborado de modo a incorporar também funções relativas à UHE Pimental, de modo que esta usina possa ser supervisionada e comandada a partir da sala de controle de Belo Monte. Para este fim, haverá integração entre as redes de controle de ambas as usinas, através do sistema de telecomunicações. Deste modo, poderão ser controlados não só as unidades geradoras, a subestação e os sistemas auxiliares de Pimental, como também as comportas do vertedouro, que está localizado neste último sítio. Para facilitar a visualização geral das instalações, está prevista a instalação de um “vídeo wall” na sala de controle de Belo Monte.

A arquitetura orientativa do sistema é apresentada no desenho BEL-B-BM-DE-GER-330-0001- Sistema de Supervisão e Controle – Arquitetura Geral e no desenho BEL-B-BM-DE-SUB-330-0001 – SE Xingu 525 kV – Sistema de Supervisão e Controle – Arquitetura Geral.

Filosofia de partida e de paradas normal e de emergência, e de operação da usina e da subestação

A subestação da usina Belo Monte será do tipo GIS (SF6), em barras simples, composta de 5 segmentos, não interligados entre si, sendo que cada segmento corresponde a 4 ou 3 geradores, em um arranjo de 4 x 4 x 3 x 3 x 4 máquinas. As máquinas G1, G5 e G9 serão equipadas para operar como compensador síncrono.

UHE BELO MONTE

A partida e parada de cada unidade geradora poderá ser feita nos modos automático e manual.

Os seguintes “estados estáveis” são considerados para cada unidade: máquina parada, máquina pronta para partir, máquina em vazio não excitada, máquina pronta para sincronizar, máquina operando como gerador. As unidades G1, G5 e G9 terão também o estado estável “máquina operando como síncrono”. A transição de um estado estável para outro será feita através de uma sequência de comandos.

No modo automático, o operador apenas seleciona o estado estável desejado e efetua um único comando para execução da sequência correspondente; no modo manual, o operador comanda a execução da sequência passo a passo.

Em condições normais, as máquinas operarão no modo automático, ficando o modo manual para uso em caso de testes e manutenção.

As paradas de emergência serão sempre automáticas.

A operação da subestação SF6 dependerá do número de máquinas conectadas a cada um de seus 5 segmentos, conforme as conveniências do sistema elétrico.. .

Modos de parada de emergência

As paradas de emergência são as paradas não programadas, que ocorrem por atuação dos dispositivos de proteção. São previstos os seguintes modos de parada:

- parada de emergência mecânica: parada total, sem sobrevelocidade, e sem fechamento da comporta da tomada d'água;
- parada de emergência hidráulica: parada total, com rejeição de carga, e com fechamento da comporta da tomada d'água;
- parada de emergência elétrica: parada total, com rejeição de carga, e sem fechamento da comporta da tomada d'água;
- parada parcial (a máquina fica rodando à velocidade nominal desexcitada) sem sobrevelocidade;
- parada parcial com rejeição de carga.

As paradas de emergência serão comandadas de modo concorrente pelo sistema de controle digital e por um sistema convencional, com lógica a relés. Deste modo, ficará garantida a parada segura das unidades geradoras, mesmo em caso de falha do SDSC.

Por outro lado, atuando diretamente nos painéis de controle junto aos equipamentos, a partida da unidade geradora será possível mesmo em caso de indisponibilidade do respectivo CLP.

Se a unidade estiver em operação e ocorrer falha do respectivo CLP, ela continuará em operação no ponto em que se encontrava antes da falha, mantendo-se ativos todos os elementos de proteção; a carga poderá ser controlada, neste caso, por atuação direta nos reguladores de velocidade e tensão. O operador poderá comandar parada de emergência, se assim decidir.

Critérios básicos que nortearão a elaboração das Especificações Técnicas

As especificações técnicas do sistema de supervisão e controle serão elaboradas mediante interações com as equipes de engenharia do consórcio de empresas concessionárias do empreendimento, visando consolidar os critérios a serem utilizados.

Além dos conceitos acima expressos, vários outros deverão ser considerados:

- Atendimento aos Procedimentos de Rede do ONS.
- Utilização do conceito de sistemas abertos do ponto de vista da estrutura de comunicação de dados. Isto visa à facilidade para substituir hardwares, modificar softwares, e expandir os recursos do sistema, sem necessidade de uma completa substituição de equipamentos. Deverão ser considerados os atributos de interconectividade de hardware, portabilidade de software e interoperabilidade entre os vários programas aplicativos. Neste sentido, serão adotados, tanto quanto possível, os preceitos na norma IEC 61850.
- Utilização do conceito de tolerância a falha (redundância) segundo o qual a falha de um único elemento não deve inviabilizar a operação do sistema. A aplicação deste conceito deve ser analisada em vários níveis, como: equipamentos auxiliares (bombas de óleo de mancais e outras); canais dos reguladores de velocidade e de tensão; CPUs; redes de comunicação de dados; servidores de base de dados, etc.
- Disponibilização de recursos de controle de retaguarda (backup) para as funções que são essenciais para a segurança da usina e para as funções que são necessárias para a operação das unidades geradoras sob condições de emergência. Em especial, as seguintes funções deverão ser consideradas: parada de emergência e partida de unidades geradoras; operação das comportas do vertedouro e da tomada d'água; operação dos disjuntores e chaves isoladoras na subestação da usina; operação do sistema de drenagem da usina.
- Arquitetura modular do sistema de controle, para permitir a colocação em serviço, progressivamente, das 18 unidades geradoras, sem que a implantação de cada nova unidade prejudique as que já estão em funcionamento. O conceito será útil também para futura modernização do sistema de controle.
- Recursos de diagnóstico do software supervisor, de modo que, sempre que um comando não for efetuado, o operador seja informado das condições impeditivas.
- Requisito de disponibilidade global do SDSC.
- Requisito de desempenho do SDSC, fixando-se parâmetros mínimos a serem atingidos, como: tempo de implementação dos comandos; tempo desde a ocorrência de uma condição anormal até a apresentação da respectiva mensagem em tela; taxa de ocupação máxima dos processadores; tempo de resposta da IHM; tempo de atualização dos dados em tela; tempo de inicialização; resolução da estampa de tempo.
- Requisitos de compatibilidade eletromagnética, adequados ao ambiente de usinas e subestações.
- Requisitos de dimensionamento do estoque de peças sobressalentes.

UHE BELO MONTE

10.11.2 Sistemas de Proteção

Os Sistemas de Proteção elétrica das unidades geradoras, dos vãos de interligação Casa de Força - Subestação, das barras e das LTs de conexão com a SE Xingu serão constituídos por relés multifunção, com processamento numérico, recursos para armazenamento de dados e oscilografia, e meios para monitoramento e parametrização remotos. Os eventos armazenados nos relés deverão possuir estampa de tempo com resolução de 1 ms, utilizando sinais produzidos por um gerador de hora padrão sincronizado a satélites do sistema GPS.

Os sistemas de proteção deverão atender aos requisitos dos Procedimentos de Rede do ONS.

Os relés de proteção deverão ser interligados através de uma rede de comunicação a uma estação de proteção e oscilografia (EPO), instalada na usina Belo Monte. A partir dessa estação deverá ser possível adquirir os eventos e registros oscilográficos armazenados nos relés, e, mediante senhas, alterar a parametrização dos mesmos. Essa rede deverá permitir acesso não só aos relés da usina e da subestação Belo Monte, como também aos da subestação Xingu e aos da usina e subestação Sítio Pimental. Os dados deverão estar disponibilizados para análise também em um centro remoto ("off-site") de estudos e engenharia.

Os relés de proteção deverão ser integrados, para produção de alarmes, registro sequencial de eventos, desencadeamento de sequências de desligamento, parada e bloqueio, ao sistema de supervisão e controle dos sítios respectivos. Os sinais de desligamento, parada e bloqueio, produzidos pelos dispositivos de proteção deverão, entretanto, produzir seus efeitos independentemente do SDSC.

A arquitetura dos sistemas de proteção deverá seguir as recomendações da norma IEC 61850, sempre que aplicável.

Além das funções de proteção listadas a seguir, outras poderão ser adotadas (como proteção contra auto-excitação, esquemas de corte de geração, etc.) em função dos resultados de estudos do sistema elétrico.

Proteção das unidades geradoras

O sistema de proteção de cada unidade geradora da UHE constará de 2 conjuntos independentes, constituindo uma proteção primária e uma alternada. Cada conjunto conterà as seguintes funções: diferencial do gerador (87G), diferencial do transformador elevador (87T), proteção diferencial estendida (87U) abrangendo o vão de entrada na subestação SF6, diferencial de terra restrita do transformador elevador (87NT), sobrecorrente de neutro no transformador elevador (51NT), falta à terra no estator (64E-95% and 64E-100%), perda de excitação (40), sobretensão (59), subtensão (27), sobrecorrente de seqüência negativa (46), proteção de distância (21), perda de sincronismo (78), sobreexcitação (24), potência inversa (32), energização indevida (50EI), desbalanço de tensão (60), sobrecorrente com restrição de tensão (51V), sub e sobrefrequência (81), taxa de variação de frequência (df/dt), sobrecarga no estator (49) e falha de disjuntor (50BF). Proteção diferencial de fase dividida do gerador poderá ser fornecida, se necessária.

Serão fornecidos dispositivos proteção para o sistema de excitação: sobrecorrente no transformador de excitação (51TEX) e proteção contra falta à terra no rotor (64R),

UHE BELO MONTE

além de dispositivos para proteção intrínseca, como “crowbar” (sobretensão no rotor), fusíveis para proteção das pontes de tiristores, limitadores de sobre e subexcitação, limitador de mínima excitação, etc.

Serão fornecidas as proteções intrínsecas do gerador e da turbina, como: vibração, entreferro do gerador, sobretemperatura dos mancais, sobretemperatura do óleo, baixo nível de óleo, sobrevelocidade, falha do regulador de velocidade, etc.

Serão fornecidas as proteções intrínsecas do transformador elevador, como: detecção de gás, imagem térmica, alívio de pressão, nível de óleo, etc.

Os relés de proteção atuarão sobre relés de bloqueio para parada de emergência da unidade respectiva.

Proteção das barras e proteção de falha de disjuntor da subestação SF6

O sistema de proteção de barras será individual para cada um dos cinco segmentos de barra. Será do tipo de sobrecorrente diferencial percentual (87B), distribuída. A comunicação da unidade central com as unidades periféricas será por fibras ópticas.

Será provido esquema de proteção para falha de disjuntor.

As proteções diferencial de barras e de falha de disjuntor provocarão abertura e bloqueio de fechamento dos disjuntores respectivos, além de transferência de disparo para a extremidade oposta da linha de transmissão respectiva e parada de emergência das unidades geradoras afetadas.

Sistema de Proteção das Linhas de Interligação, em 525 kV, Casa de Força Belo Monte – Subestação Xingu

Para cada linha de transmissão (LT), haverá um sistema de proteção principal e um sistema de proteção alternada.

Cada sistema conterá pelo menos as seguintes funções: diferencial de linha (87L), proteção de distância (21), direcional de sobrecorrente (67, 67N), religamento (79), sub e sobretensão (27/59), oscilação de potência (78), desbalanço de tensão (60), sobrecorrente de sequência negativa (46), verificação de sincronismo (25), e teleproteção. A proteção disponibilizará a função de localização de falta na linha. Na subestação Xingu (esquema disjuntor-e-meio), haverá proteção para “stub-bus”.

Proteção das barras e proteção de falha de disjuntor da Subestação Xingu

O sistema de proteção de barras será do tipo de sobrecorrente diferencial percentual (87B), distribuída. A comunicação da unidade central com as unidades periféricas será por fibras ópticas.

Será provido esquema de proteção para falha de disjuntor.

As proteções diferencial de barras e de falha de disjuntor provocarão abertura e bloqueio de fechamento dos disjuntores respectivos, além de transferência de disparo para a extremidade oposta da linha de transmissão respectiva.

Proteção da linha de transmissão Altamira (SE CELPA) – Belo Monte 69 kV

Haverá dois conjuntos de proteção, sendo um principal e um de retaguarda.

UHE BELO MONTE

O conjunto principal conterà pelo menos as seguintes funções: distância (21/21N), sobrecorrente direcional de neutro (67N), sub e sobretensão (27/59), sobrecorrente de sequência negativa (46), sobrecorrente de fase e de neutro (50/51, 50/51N), religamento automático (79), sobre e subfrequência (81), desbalanço de tensão (60), falha de disjuntor (50BF) e teleproteção (85).

O conjunto de retaguarda conterà as funções de sobrecorrente direcional de fase e de neutro (67/67N).

Proteção do transformador 69 kV – 13,8 kV, em Belo Monte

Haverá um sistema de proteção principal e um sistema de proteção de retaguarda, além das proteções intrínsecas do transformador.

O sistema principal conterà pelo menos as seguintes funções: diferencial (87), diferencial de terra restrita (87NT), sobrecorrente de neutro no transformador elevador (51NT), sobrecorrente de fase e de neutro (50/51, 50/51N), falha de disjuntor (50BF).

O sistema de retaguarda conterà as funções de sobrecorrente de fase (50/51).

Teleproteção

Para as linhas de transmissão, pelo menos os seguintes esquemas de teleproteção serão providos: POTT (Permissive Over-reach Transfer Trip), PUTT (Permissive Under-reach Transfer Trip), DTT (Direct Transfer Trip), DCB (Directional Comparison Blocking), DCU (Directional Comparison Unblocking).

Para as funções de teleproteção, poderão ser usados tanto comunicação direta relé a relé como comunicação através de equipamentos de telecomunicações multiplexados. Em qualquer caso, os canais de teleproteção terão como suporte físico as fibras ópticas instaladas nos cabos OPGW das linhas de transmissão.

10.11.3 Sistema de Medição de Faturamento

O sistema de medição de energia será constituído de todos os instrumentos e dispositivos necessários para o atendimento aos requisitos estabelecidos nos Procedimentos de Rede do ONS.

Serão fornecidos os instrumentos para a medição de energia, estação central de coleta de dados e redes de comunicação.

Será medida continuamente a energia bruta de cada gerador; os pontos de medição de energia para faturamento serão determinados oportunamente em função dos acordos de comercialização de energia. Em caráter preliminar, são mostrados, nos diagramas unifilares pontos de medição em sítios externos, como na SE Xingu 525 kV.

Todos os medidores serão conectados de forma a constituir duas redes de comunicação: uma para conexão a uma Estação Central de Medição, a ser instalada sala de controle central de Belo Monte; outra disponibilizará os dados para a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, com canais independentes para leitura e auditoria. Os dados deverão estar disponíveis também no escritório central do Proprietário. Estarão integrados às mesmas redes os dados dos medidores de energia pertinentes à Usina Pimental. O sistema será provido com os dispositivos necessários para interface com o sistema de telecomunicações.

UHE BELO MONTE

O sistema será sincronizado a partir dos sinais produzidos por geradores de hora padrão, com base no sistema GPS.

Serão medidas e registradas as energias e demandas para todos os possíveis sentidos do fluxo de potência ativa e reativa.

Os medidores, assim como as borneiras e blocos de testes dos circuitos de medição, possuirão garantia de inviolabilidade, através de colocação de lacres, eletrônicos e/ou mecânicos.

Os medidores deverão ser polifásicos, 3 elementos, 4 fios. Deverão atender aos requisitos metrológicos pertinentes à classe 0.2S da norma IEC-60687 para todos os sentidos de fluxo de energia. Deverão ser dotados de um sistema de preservação dos registros durante perdas de alimentação, armazenando os dados em memória não volátil.

Os medidores deverão ter certificado de conformidade de modelo aprovado, emitido pelo INMETRO.

10.11.4 Sistema de Registro de Perturbações

Será provido um sistema de registro de perturbações para a usina, a subestação Belo Monte e a subestação Xingu, do tipo "stand-alone" (ou seja, independente dos relés digitais), com meios de comunicação para acesso remoto aos dados.

Os registradores digitais de perturbações (RDPs) irão monitorar, continuamente, o sistema elétrico. Quando alguma variação da entrada exceder um limite especificado, o RDP correspondente gravará os sinais analógicos e os eventos lógicos que ocorreram antes, durante e depois da perturbação. O RDP continuará a gravação até o término da perturbação ou até que exceda o limite de tempo de operação ajustado para pós-falta.

Todos os RDPs serão ser interligados em rede e sincronizados a partir dos sinais produzidos por geradores de hora padrão, com base no sistema GPS.

Os dados gravados pelos RDPs serão transmitidos a uma estação de proteção e oscilografia (EPO) instalada na usina Belo Monte. Os mesmos dados deverão estar disponíveis também em um posto remoto. Na EPO serão disponibilizados também os dados aquisitados pelos relés de proteção e os dados dos RDPs pertinentes à Usina Pimental. O sistema será provido com os dispositivos necessários para interface com o sistema de telecomunicações.

Todos os registros de longa e curta duração serão disponibilizados em arquivos de dados, na forma dos padrões COMTRADE ou ASCII.

Cada RDP deverá ter integrada a funcionalidade de medição de sincrofasores, de acordo com a norma C37.138 - "Standard for Synchrophasors for Power Systems".

O sistema de registro digital de perturbações deverá atender aos requisitos do ONS, estabelecidos nos Procedimentos de Rede.