



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GOP/08

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - IX**

**GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP**

**RECOMPOSIÇÃO DA UHE JIRAU – BLACK START COM 13 UNIDADES GERADORAS EM TEMPO INFERIOR  
A 20 MINUTOS**

**MATOS, F. H. S. (\*)  
ESBR**

**LUCENA, R.  
ESBR**

**NUNES, J. C.  
ESBR**

**COLLINS, B. B.  
ESBR**

**FERREIRA, R. C.  
ESBR**

**RESUMO**

Este artigo apresenta as modificações implementadas e melhorias realizadas para tornar possível o processo de recomposição da UHE Jirau com o sincronismo de 13 Unidades Geradoras (UGs) em rede isolada em um intervalo de tempo inferior a 20 minutos, após uma situação de blecaute. O procedimento de autorrestabelecimento da UHE Jirau obedece a RO-RR.BR.01 (Testes Reais de Recomposição nas Usinas de Autorrestabelecimento) do Módulo 10 - Submódulo 10.22.

**PALAVRAS-CHAVE**

Autorrestabelecimento, black start, barra morta, sincronismo, anel de emergência

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O Complexo do Madeira (UHE Jirau, UHE Santo Antonio e SE Coletora PVH) inicialmente foi projetado para que o seu sistema de transmissão fosse em Corrente Contínua (CC). Esse fato exige que as duas usinas necessariamente tenham capacidade de autorrestabelecimento, uma vez que o Elo CC (Back-to-Back e Bipolo) não permite o Sistema Interligado Nacional (SIN) restabelecer as usinas.

O edital de licitação da UHE Jirau não especificou o seu autorrestabelecimento. Porém, devido às características do sistema do Complexo do Madeira, foi solicitado pela ANEEL e ONS a mudança do planejamento inicial.

Atendendo ao pedido da ANEEL e ONS, foram realizadas várias adequações na usina que permitiram o autorrestabelecimento.

**2.0 - DESENVOLVIMENTO DO PROJETO**

A UHE Jirau é composta por 50 Turbinas Bulbo (Kaplan de Eixo Horizontal) com potência nominal de 75MW, totalizando 3750MW de capacidade instalada. A usina é dividida em Casa de Força da Margem Direita (CFMD – 28 UGs) e Casa de Força da Margem Esquerda (CFME- 22 UGs). O sistema de transmissão é composto de 3 Linhas de Transmissão (LT) interligando a usina à SE Coletora PVH. Além disso, existe uma linha de transmissão que interliga a CFMD à CFME, conforme Figura 1.

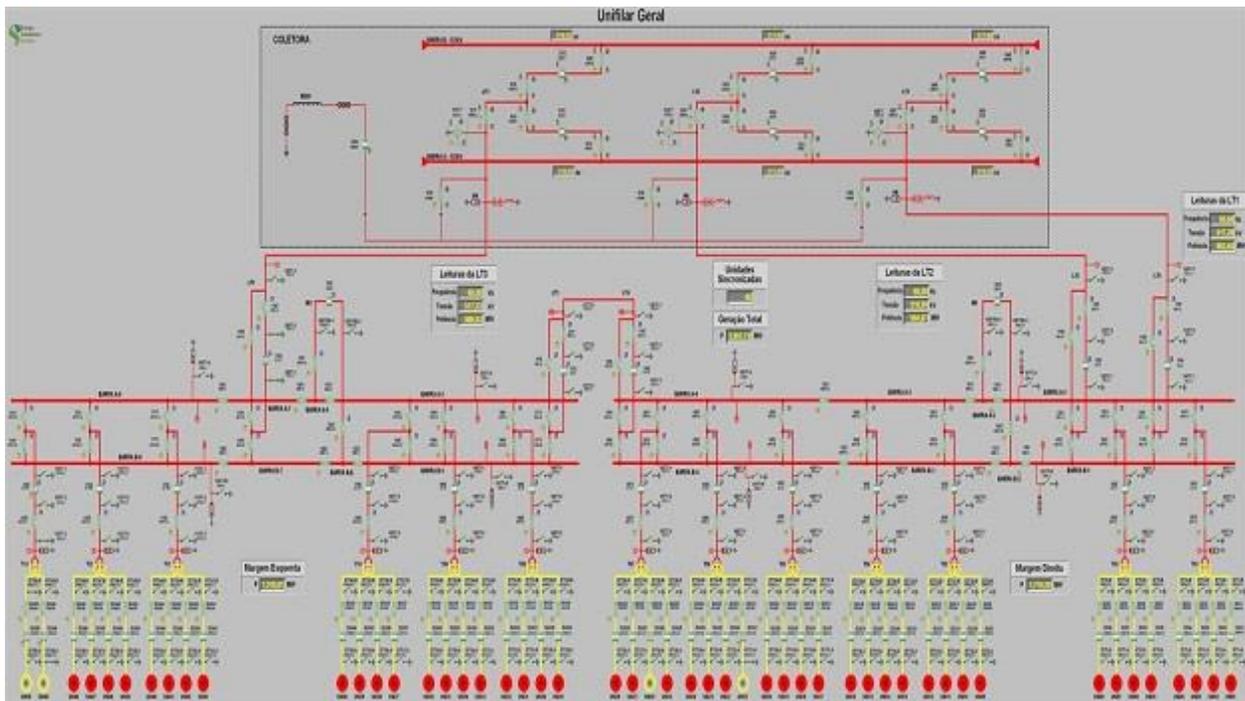


FIGURA 1 – Unifilar Geral

O contrato de autorrestabelecimento determina que a recomposição deve ser realizada na CFME, com um número total de 13 Ugs em um tempo máximo de 30 minutos. Para tanto, foram necessárias alterações nos serviços auxiliares (elétrico e mecânico), nas unidades geradoras (sistemas lubrificação, regulação e etc.) e na subestação.

### 2.1 Rede de Emergência

A CFME conta com uma rede de emergência em anel que alimenta todo serviço auxiliar, conforme Figura 2. Interligado ao anel de emergência, existem três Grupos Geradores Diesel de Emergência (GE), cada um com capacidade de 1MW de potência.

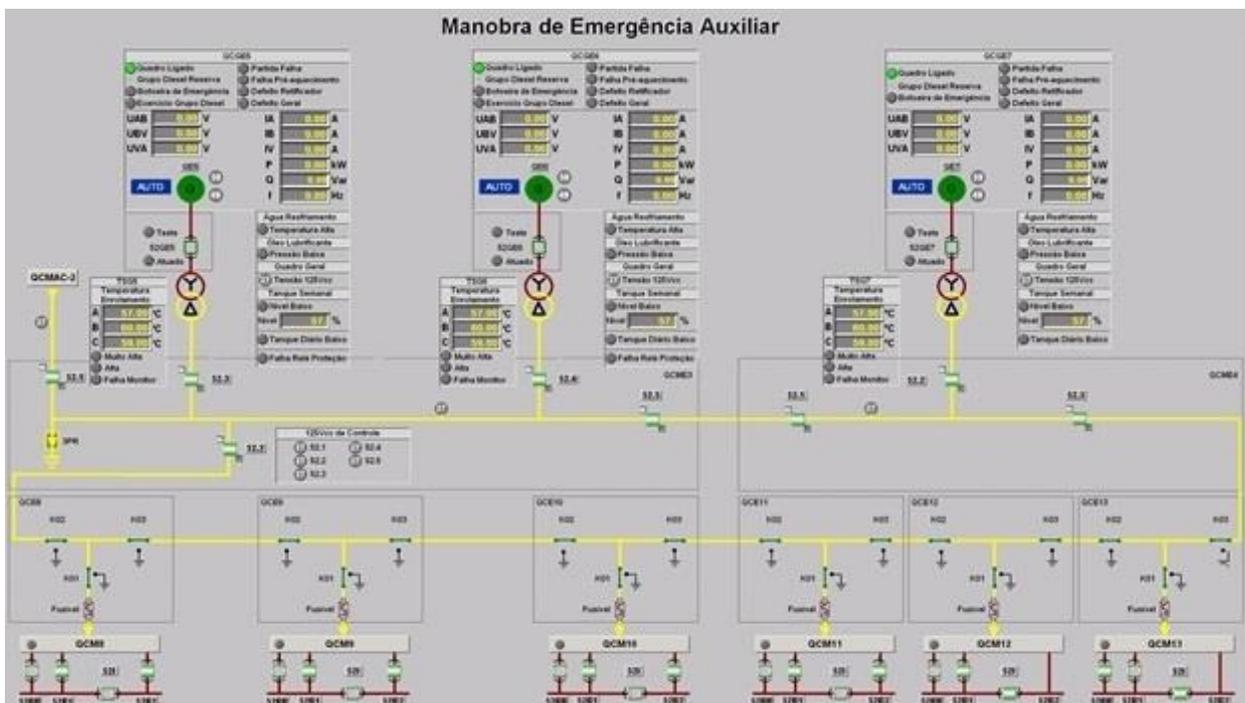


FIGURA 2 – Anel de Emergência CFME

Afim de evitar a sobrecarga dos GEs, foi implementada uma lógica para ligar somente as cargas essenciais. Após um desligamento, atua subtensão no anel de emergência e aciona a partida dos três GEs. O primeiro gerador diesel a ligar, conseguirá alimentar o anel e todas as cargas essenciais. Os demais geradores de emergência vão sincronizar com o primeiro.

A lógica determina que as cargas essenciais liguem de forma escalonada, bloqueando as demais. Isso garante a segurança da usina e permite uma recomposição mais confiável.

### 2.1.1 Cargas Essenciais

Para garantir a segurança da usina e agilizar a recomposição das unidades geradoras, foram selecionadas as cargas abaixo:

- Bombas do Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem é responsável por garantir que não inunde a usina. Por isso, foi determinado como sendo uma carga essencial.

- Válvula do Sistema de Óleo de Lubrificação (Mancal)

O sistema de lubrificação é composto por um Tanque Superior (TQS) e um Tanque Inferior (TQI). O óleo é bombeado do TQI para o TQS, descendo por gravidade lubrificando os mancais e retornando ao TQI, conforme Figura 3. Após a parada completa da UG, não há necessidade de lubrificação dos mancais. Portanto, a válvula da tubulação que interliga o TQS com os mancais deve ser fechada. Assim, não será necessário recalcar o óleo do TQI para o TQS, diminuindo o tempo de partida da UG.

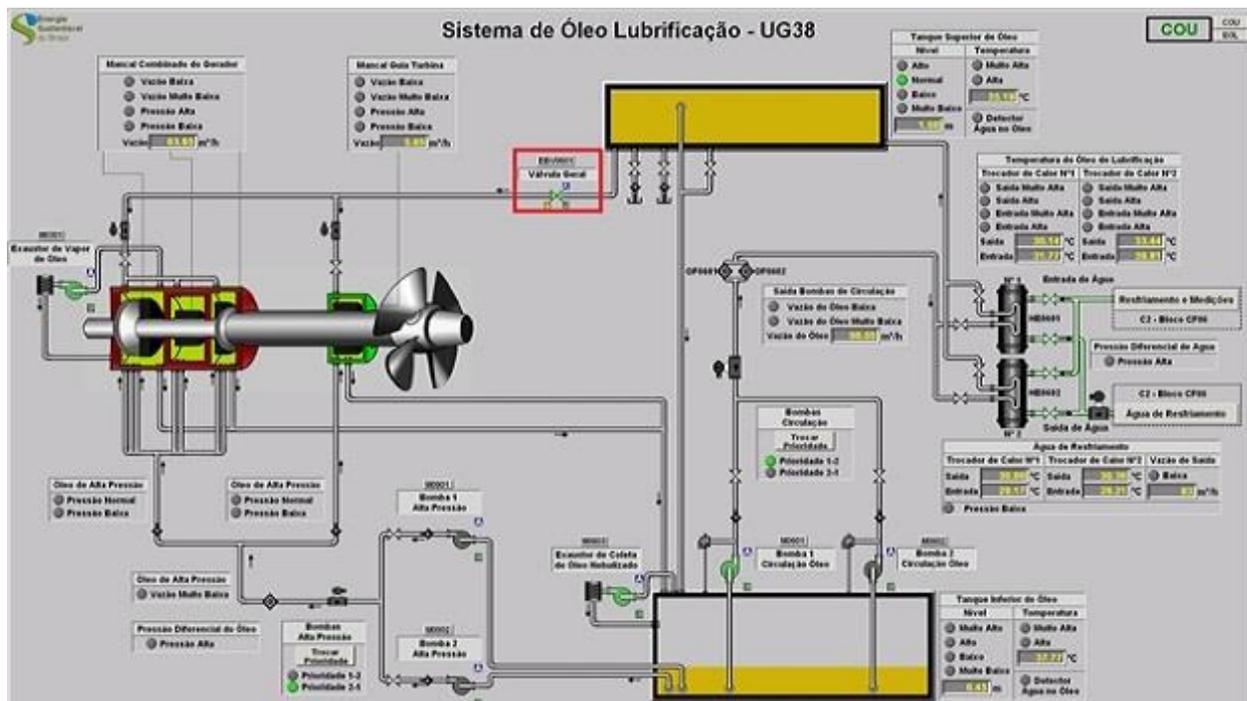


FIGURA 3 – Sistema de Óleo de Lubrificação

- Válvula do Sistema de Água de Resfriamento dos Geradores

A UHE Jirau é composta por 13 Ilhas de Geração. Cada ilha é formada por quatro UGs, com exceção da última ilha que possui duas UGs. As ilhas possuem um sistema de resfriamento individualizado. Para o funcionamento pleno das quatro UGs, são necessárias quatro bombas ligadas. Além dessas, existem mais duas bombas reservas, conforme Figura 4.

Cada gerador tem uma válvula que permite a entrada de água nos seus radiadores. Após a parada completa das UGs, essas válvulas devem ser fechadas. Quando é iniciada a partida de uma UG, é ligada uma bomba do sistema de resfriamento e aberta a sua válvula de resfriamento. Caso as válvulas das demais UGs da Ilha estejam abertas, ocorrerá a falha hidráulica daquela bomba. Essa falha, causa o desligamento da bomba, e o impedimento da partida da UG.

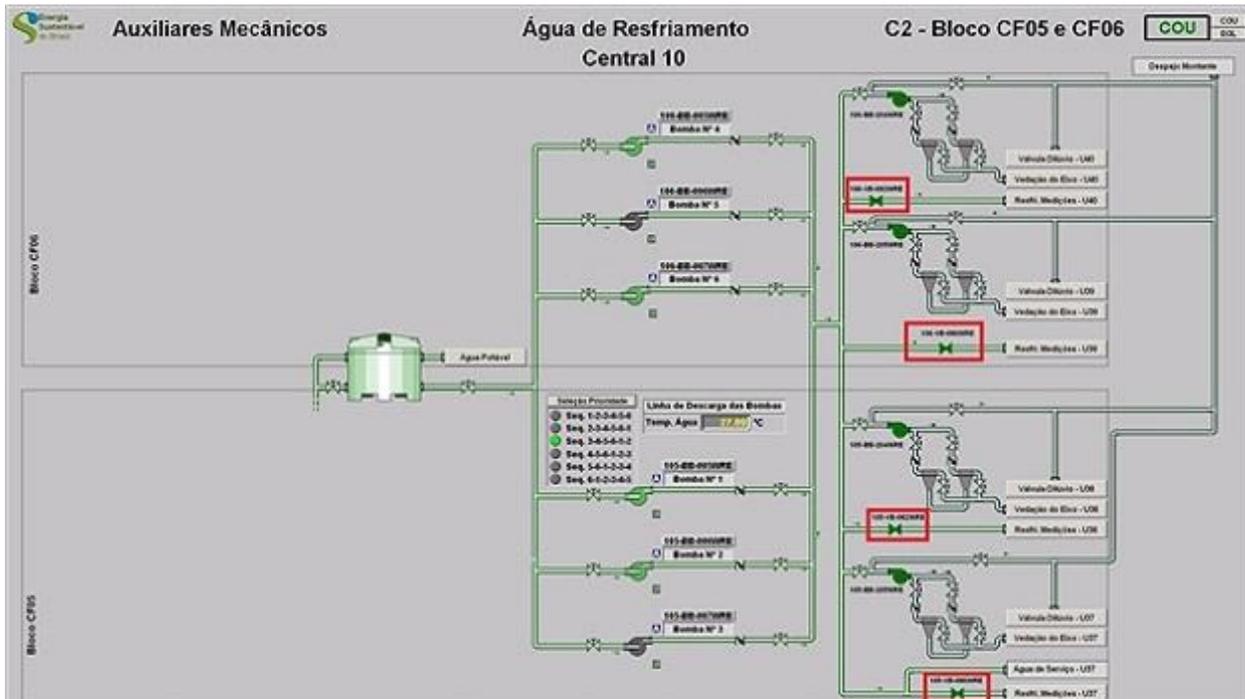


FIGURA 4 – Sistema de Água de Resfriamento dos Geradores

- Bombas do Tanque de Infiltração do Sistema de Óleo de Regulação

Uma característica inerente à Turbina Bulbo é o vazamento controlado de óleo no cabeçote Kaplan. Esse óleo é conduzido ao tanque de infiltração. O sistema de infiltração não é estanque, portanto as bombas de infiltração devem ser cargas essenciais.

## 2.2 Processo de Partida/Parada das Unidades Geradoras

Na UHE Jirau o processo de partida e parada contém cinco estados estáveis: Unidade Parada (UP), Unidade Pronta para Partir (UPPP), Unidade em Marcha a Vazio não Excitada (MVNE), Unidade Pronta para Sincronizar (UPSIN) e Unidade Sincronizada (US).

Em um desligamento total da usina, as UGs são paradas sem a fonte do serviço auxiliar. Isso acarreta em consumo de óleo dos sistemas de lubrificação (nível do tanque superior) e regulação (nível e pressão dos tanques). Uma das pré-condições para completar o processo de parada, é a normalização do nível e pressão de óleo do sistema de regulação. Isso atrasava consideravelmente a parada total da UG. Essa ação foi ajustada para ser realizada após a parada completa da UG.

Após o desligamento, as UGs precisam retornar ao sistema em um curto espaço de tempo. No processo de partida, os parâmetros de nível e pressão de óleo ainda não estão devidamente ajustados. Porém, o estado estável UP exige que todas as cargas da UG estejam desligadas (bombas de lubrificação, regulação, ventiladores do gerador, exaustores, etc.). Uma das melhorias implementadas foi permitir a partida da UG com as cargas ligadas. Isso adianta o processo de partida sem nenhum dano a UG. Para isso, foi criado um estado estável complementar denominado de Unidade em Repouso (UR).

## 2.3 Sincronismo em Barra Morta

A condição de sincronismo em barra morta não estava prevista no projeto original do quadro de sincronismo (QSIN). A pré-condição de UG excitada não permitia o fechamento do disjuntor da UG em barra morta.

Foram realizadas adequações nos QSINs da usina para possibilitar o fechamento do disjuntor da UG e somente depois realizar a excitação. Essa ação é necessária para que o conjunto UG/Transformador Elevador seja excitado gradativamente (em rampa). A excitação gradativa permite que seja evitada uma alta corrente de inrush. Isso garante que a UG não desligue por subexcitação ou corrente elevada no fechamento do disjuntor (50SI – Sincronização Errada e Energização Inadvertida).

Esse procedimento permite energizar gradativamente todos transformadores elevadores da CFME ao mesmo tempo, com apenas uma UG. Com os transformadores energizados, o serviço auxiliar de toda usina é reestabelecido, possibilitando partir todas UGs em paralelo.

#### 2.4 Comutação de Fonte de Alimentação dos Serviços Auxiliares

Durante o processo de recomposição, é necessário realizar a comutação da alimentação da rede de emergência para a fonte de alimentação principal, conforme Figura 5. Esse procedimento desliga todos equipamentos e provocava falha, atrasando o processo de recomposição.

Para evitar atrasos na recomposição e desligamentos das UGs durante a comutação de fontes, foi implementada uma lógica que, após uma subtensão, as cargas previamente ligadas, religam sem ocorrência de falhas.

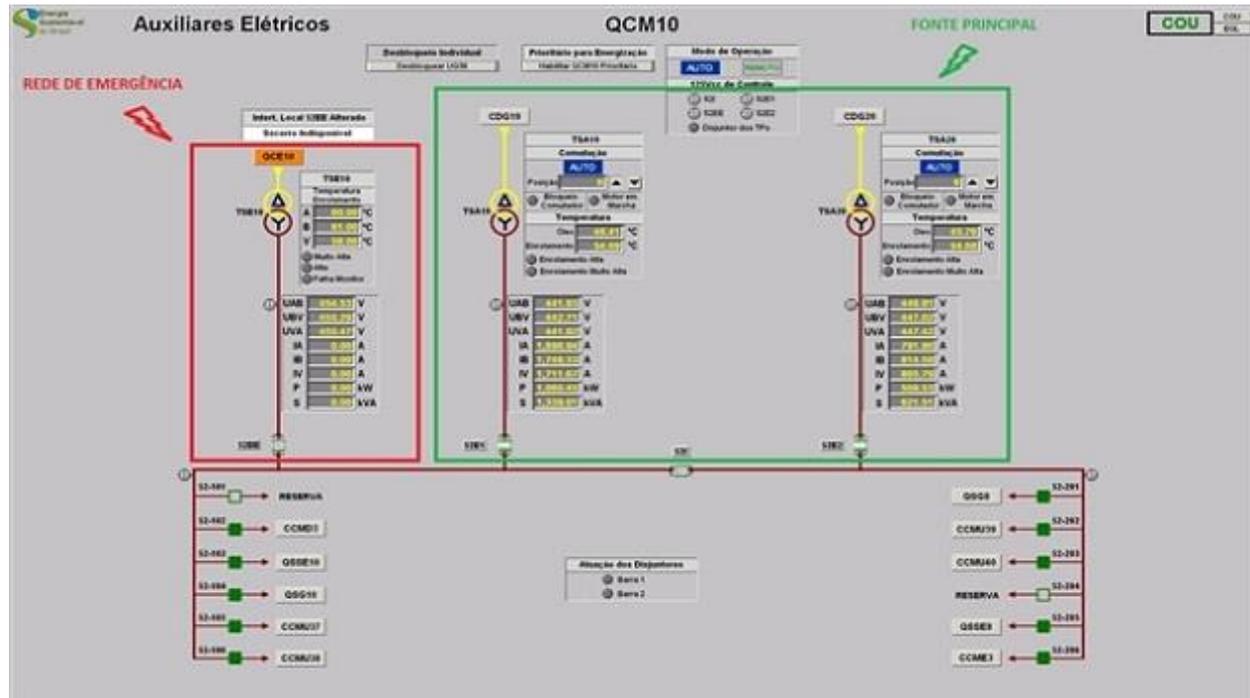


FIGURA 5 – Quadro de Alimentação dos Serviços Auxiliares

#### 2.5 Relé de Sincronismo

A condição de sincronismo das UGs depende do tempo de resposta (taxa de variação) do Regulador de Velocidade (RV - frequência) e do Regulador de Tensão (RT - tensão). O relé de sincronismo não estava parametrizado com a taxa de variação desses reguladores. Portanto, o tempo de sincronismo de uma UG era longo (em torno de 5 minutos) mesmo com uma baixa taxa de erro inicial (diferença de frequência e tensão). Isso atrasava bastante o processo de recomposição.

A partir dessa condição, foi necessário realizar ajustes no relé de sincronismo de todas UGs, para que em um único pulso, o disjuntor da unidade consiga ter condições de fechar em sincronismo com outra unidade em rede isolada, ou com o SIN, independente do valor de erro inicial. Com isso, foi possível reduzir o tempo de sincronismo das UGs para valores em torno de 30 segundos.

#### 2.6 Regulador de Velocidade

Quando duas UGs sincronizavam em rede isolada, ocorria motorização (atuava potência inversa em uma das UGs). O sincronismo era realizado com os reguladores de velocidade em modo de regulação de potência. Nesse modo, a malha do regulador trabalha com um ganho mais elevado. Isso provoca uma maior sensibilidade na potência das UGs, a depender das variações das mesmas.

Para evitar a motorização entre UGs, foi mudado o modo de regulação no momento de sincronismo para modo de abertura. Nesse modo, a malha do regulador trabalha em um ganho menor, o que torna possível controlar as variações das UGs.

Com essa modificação e outros ajustes de parâmetros no regulador de velocidade, foi possível sincronizar as 13 UGs em rede isolada, conforme solicitação do ONS.

### 2.7 Sincronismo na SE Coletora Porto Velho

A condição de sincronismo em vivo/vivo na SE Coletora não estava prevista no projeto original das LTs da UHE Jirau. Inicialmente, a recomposição era realizada através do fornecimento de tensão da SE Coletora para a usina (Barra Viva/Linha Morta).

A partir da determinação de autorrestabelecimento da UHE Jirau, a recomposição poderia ser realizada através da usina energizando a barra morta (Barra Morta/Linha Viva). Porém, como o estudo de energização da SE Coletora pelas usinas ainda não foi concluído, não é permitido realizar a energização em barra morta. Portanto, foi necessário implementar o sincronismo vivo/vivo com a subestação, após recomposição fluente das usinas.

Para isso, foi desenvolvida uma forma de comandar simultaneamente o controle de tensão e frequência das UGs em rede isolada, para fechar o disjuntor da usina em sincronismo vivo/vivo com a subestação.

A recomposição da UHE Jirau conclui com o sincronismo na SE Coletora.

### 3.0 - CONCLUSÃO

Todas essas ações permitiram garantir maior confiabilidade, disponibilidade e eficiência no processo de recomposição fluente da UHE Jirau.

Esse resultado demonstrou ao ONS a capacidade da UHE Jirau de restabelecer o sistema Acre-Rondônia e parte da região Sudeste (SE Araraquara) em um tempo recorde. Isso representa uma estratégia de melhoria para a confiabilidade/disponibilidade do SIN, no que tange restabelecimento de usinas hidrelétricas.

Como ação futura, foi planejada a implementação das melhorias da CFME na CFMD. Dessa forma, a UHE Jirau terá plena capacidade de realizar o Black Start.

### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ONS, Módulo 10 - Submódulo 10.22. Testes Reais de Recomposição nas Usinas de Autorrestabelecimento (RO-RR.BR.01) - Revisão 20. Brasil, 12/07/2016.
- (2) ESBR, Procedimento especial de Operação - Black Start (OP-PE-PO-01-005) – Revisão 0. Porto Velho, 07/04/2016.
- (3) SIPROTEC, 7VE61 and 7VE63. Manual C53000-G1176-C163-2. Alemanha, 11/2007.
- (4) SIPROTEC, 7VK61. Manual C53000-G1176-C159-4. Alemanha, 03/2013.
- (5) SICAM RTUs, SICAM AK. User Manual 3 DC2-017-2.03. Alemanha, 07/2014.

### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Fábio Hugo Souza Matos**, natural de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, nascido em 08/04/1992, engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal de Rondônia (UNIR) em 2013, com curso de pós-graduação pelo Instituto de Pós-Graduação de Goiânia (IPOG) em 2015. Trabalha há 2 anos na Energia Sustentável do Brasil (ESBR) concessionária da UHE Jirau, atuando no setor de Operação em Tempo Real.



**Rogério Lucena**, natural de Porto Velho, Rondônia, nascido em 10/02/1989, engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal de Rondônia (UNIR) em 2013, com curso de pós-graduação pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) em 2016. Trabalha há 2 anos e meio na Energia Sustentável do Brasil (ESBR) concessionária da UHE Jirau, atuando no setor de Manutenção do Sistema Digital de Supervisão e Controle.



**Jordan Cândido Nunes**, natural de Prata, Minas Gerais, nascido em 08/12/1965, engenheiro eletricitista formado pela Universidade de Uberaba (UNIUB) em 1988. Trabalhou na Cemig durante 22 anos na área de Proteção e Controle. Projetista de Sistema de Automação, Controle e Proteção de usinas na Engecam, aonde fez projetos e construção de Reguladores de Velocidade e Tensão para CGH, PCH e UHE. Trabalha há 4 anos na Energia Sustentável do Brasil (ESBR) concessionária da UHE Jirau, atuando na equipe de Dptoeng – Departamento de Engenharia.



**Bruno Barreto Collins**, natural de Porto Velho, Rondônia, nascido em 05/10/1989, engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal de Rondônia (UNIR) em 2013. Trabalha há 3 anos na Energia Sustentável do Brasil (ESBR) concessionária da UHE Jirau, atuando no setor de Manutenção Elétrica.



**Rômulo Carreiro Ferreira**, natural de Barra do Corda, Maranhão, nascido em 11/01/1989, engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal de Rondônia (UNIR) em 2013. Trabalha há 3 anos na Energia Sustentável do Brasil (ESBR) concessionária da UHE Jirau, atuando no setor de Sistemas Elétricos que engloba as áreas de Proteção, Subestação Isolada a Gás, Transformadores e Linhas de Transmissão.