

ESTUDO SOBRE O FUNCIONAMENTO E OPERAÇÃO DE GERADORES COMO COMPENSADORES SÍNCRONOS, INTERLIGADOS AO SIN, NA UHE - BARRA GRANDE.

Ricardo Barbosa Mota¹

Silvio Moraes de Oliveira²

Francieli Lima de Sá³

RESUMO

Este artigo apresenta o estudo sobre o funcionamento e operação do sistema de geração como compensador síncrono instalado na usina hidrelétrica (Barra Grande) e como objetivo principal a averiguação sobre a contribuição e importância para o SIN - Sistema Interligado Nacional no controle de “reativos” e “estabilidade de tensão”. Também apresenta a contribuição dos compensadores para o aumento da taxa de disponibilidade das UG - Unidades Geradoras e para o bom funcionamento de uma usina hidrelétrica na geração e fornecimento de energia elétrica de boa qualidade.

Palavras-chave: Usinas hidrelétricas. Compensadores síncronos. Geração de energia.

ABSTRACT

This paper presents the study on the operation and operation of the generation system as a synchronous compensator installed in the hydroelectric power plant Barra Grande and its main objective to investigate the contribution and importance to the SIN - National Interconnected System in the control of

¹Aluno de graduação do curso de Engenharia Elétrica - UNIFACVEST.

E-mail: ricardobarbosamota@hotmail.com

² MSc. Eng. Eletricista e Professor do curso de Engenharia Elétrica - UNIFACVEST.

E-mail: silviomoliveir@gmail.com

³Dra. Eng. Eletricista, Professora e coordenadora do curso de Engenharia Elétrica - UNIFACVEST. E-mail: francielilimadesa@gmail.com

“reactive” and “Tension stability”. It also presents the contribution of the compensators for the increase in the availability rate of the generating units and for the good functioning of a hydroelectric plant in the generation and supply of good quality electricity.

Keywords: Hydroelectric power plants. Synchronous compensators. Power generation.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica que era integrado, nas últimas décadas, passou a ser dissociado em dois campos distintos de atividade: Geração e venda de energia elétrica e Gerenciamento das operações do SIN – Sistema Interligado Nacional. Após sua privatização parcial, o gerenciamento da rede abrange serviços fundamentais para sua confiabilidade, estabilidade, qualidade do perfil de tensão, sendo denominados “serviços ancilares”. Segundo a regulamentação vigente no Brasil os serviços ancilares são os controles primário e secundário de frequência e suas reservas de potência, reserva de prontidão, o suporte de reativos, o auto-restabelecimento das unidades geradoras (“blackstart”) e o sistema especial de proteção. Estas informações estão detalhadas no Submódulo 14.1 dos Procedimentos de Rede do ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Dentre os serviços ancilares prestados destaca-se o fornecimento dinâmico de potência reativa, pelos geradores síncronos, que é foco deste artigo.

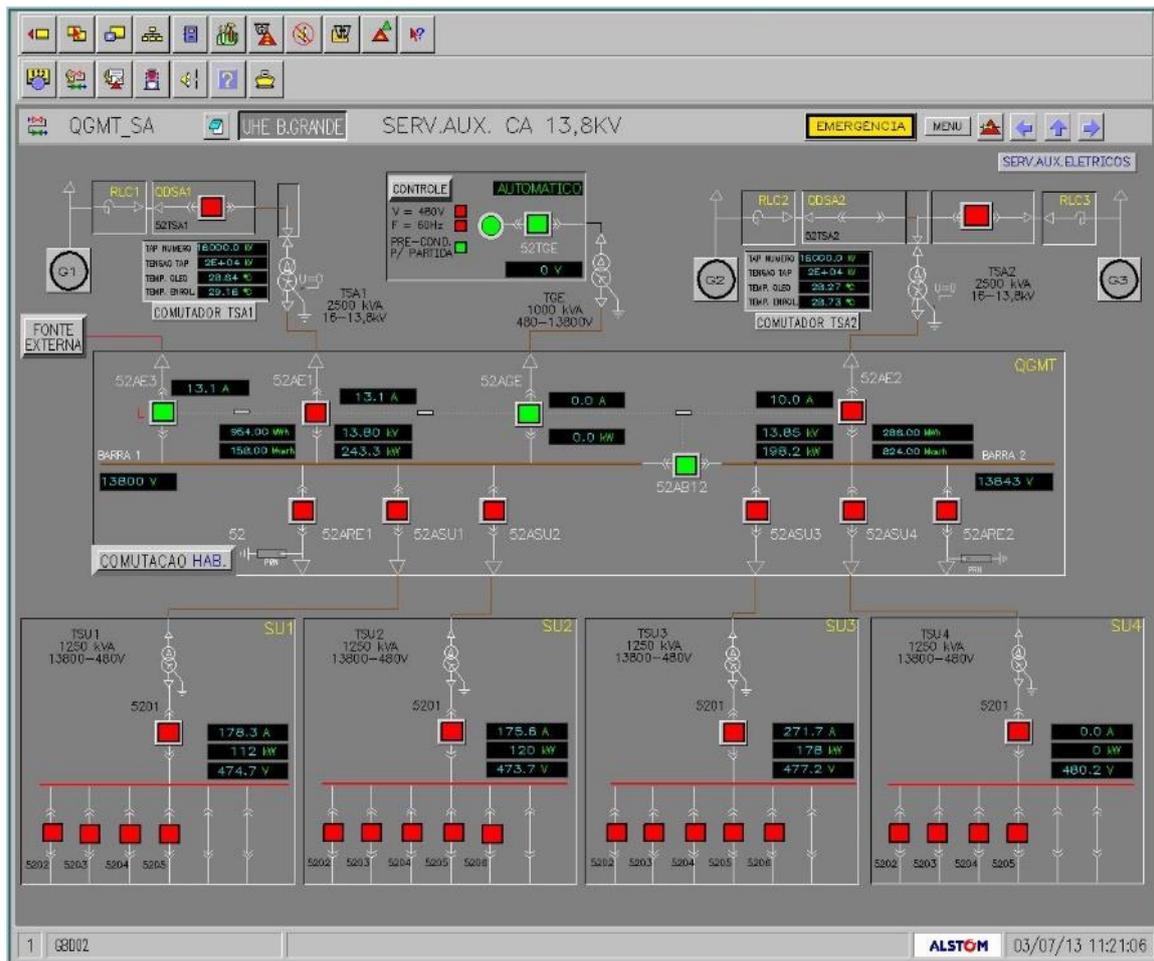
Para a operação satisfatória de um sistema elétrico, é necessário prover um suporte adequado de potência reativa garantindo assim a denominada “estabilidade de tensão”. Esta ocorre quando o sistema consegue manter a tensão de todas as barras do SIN, dentro de uma faixa de tolerância, inclusive após a ocorrência de distúrbios. A perda desta estabilidade, ou instabilidade de tensão, acontece quando ocorre uma diminuição progressiva e incontrolável da tensão de pelo menos um barramento do sistema elétrico conduzindo ao fenômeno referido como colapso de tensão. No Brasil, isto já ocorreu em 11 de março de 1999, devido ao esgotamento de recursos sistêmicos de potência reativa no período que antecede o horário de pico de demanda, devido à elevada

demanda de potência ativa, levando a um apagão (“blackout”) de grandes proporções.

Quando uma UG – Unidade geradora está sincronizada ao SIN, conforme solicitação do ONS, pode continuar como “gerador síncrono” e passar a operar como “compensador síncrono”. Também conforme solicitação do ONS o gerador pode passar funcionar como compensador e motor síncrono absorvendo energia externa para acionar a turbina, mantendo em rotação todo o conjunto. Ou seja, a turbina que normalmente aciona o gerador, agora é arrastada por ele.

Em uma usina hidrelétrica, toda a energia utilizada nos sistemas de iluminação e serviços auxiliares em CA – Corrente Alternada, provém dos geradores da própria usina. Através de uma derivação do barramento principal de cada gerador, se conectam a transformadores que alimentam todo serviço auxiliar da UHE, como mostra a Figura 1. Quando é necessário a parada (desligamento) dos grupos geradores, o serviço auxiliar será suprido por um grupo gerador com motor diesel. Caso ocorra algum defeito de funcionamento do grupo gerador diesel, a alimentação será suprida por uma fonte externa a usina, que será fornecida pela concessionária de energia local. Esta última opção pode ser bastante onerosa para a usina, devido ultrapassagem da demanda contratada.

Figura 1 – Diagrama unifilar simplificado do serviço auxiliar da UHE.



Fonte: UHE Barra Grande – telas SDSC 2005/2019.

Em condição de baixa carga, demanda no SIN, o ONS solicita ao agente em tempo real, a dispensa de geração, conseqüentemente será necessário realizar a parada (desligamento) dos grupos geradores. Porém, para as usinas com sistema de compensador síncrono, os geradores, passam a operar no modo de compensador, para o controle do reativo do sistema, mantendo a unidade sincronizada ao SIN (evitando a parada da UG) e ainda será possível manter a alimentação do serviço auxiliar, modo “gerador síncrono” ou consumir da rede no modo “compensador síncrono”.

A metodologia de estudo utilizada foi através de revisão bibliográfica, pesquisa quanti-qualitativa do acervo técnico de dados da UHE Barra Grande. Os procedimentos de rede do ONS e também no acompanhamento da operação do sistema em funcionamento.

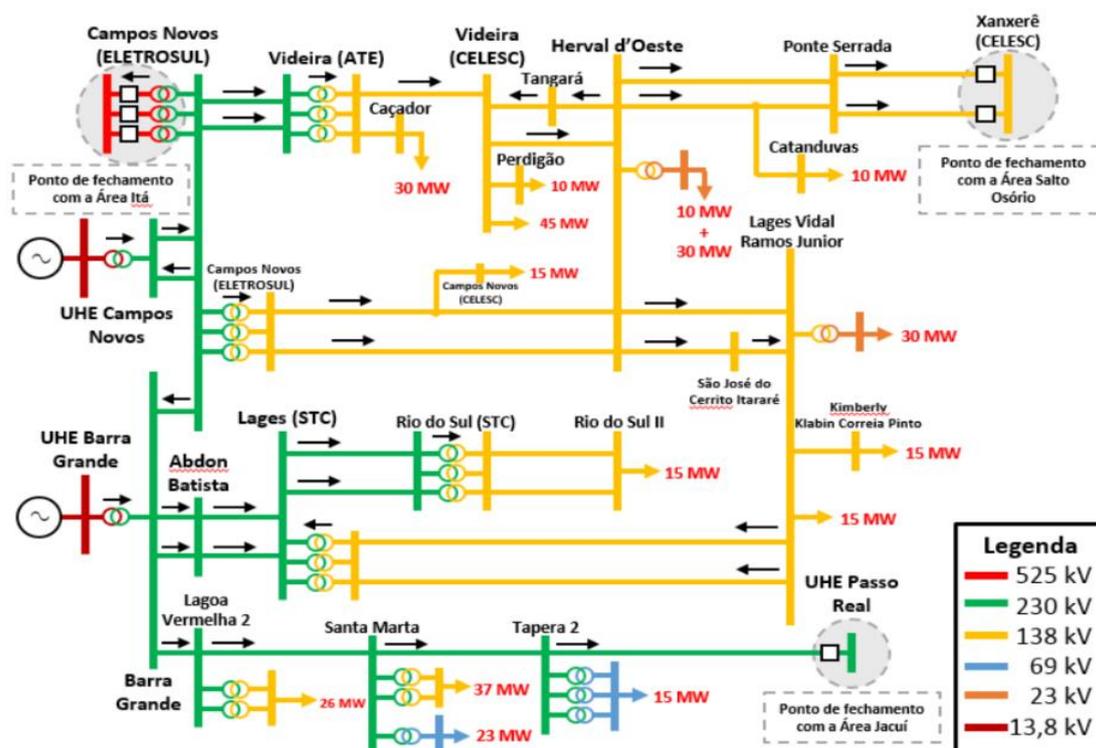
2 Usina hidrelétrica de Barra Grande

Segundo MASSEFI (2008), “A UHE Barra Grande é um dos maiores e o mais importante empreendimento das serras catarinense e gaúcha.” Construída no leito do rio Pelotas, entre os municípios de Anita Garibaldi (SC) e Pinhal da Serra (RS), ativou a primeira unidade geradora em novembro de 2005.

A UHE Barra Grande possui três unidades geradoras de eixo vertical, com potência instalada de 232,75 MW cada, acionadas por turbina Francis numa queda nominal líquida de 154,00 m. Sua potência outorgada pela ANEEL é de 690 MW. Energia assegurada 372,8 MW; média de 8947,20 MWh. Sendo que suas UG's podem operar como compensadores síncronos, sendo que como motor síncrono podem consumir aproximadamente - 6MW de energia do SIN.

Como mostra a Figura 2, sua localização “Geométrica”, possibilita a interligação ao anel de 525 kV do SIN, através de sua conexão de despacho “Subestação Barra Grande 230 kV” com a “Subestação Campos Novos 230/525 kV” distantes 35 km.

Figura 2 – Diagrama unifilar simplificada área de Campos Novos.



Fonte: ONS - Manual de procedimento da operação. Módulo 10.

A UHE Barra Grande é considerada pelo ONS como usina de: “auto reestabelecimento” das unidades geradoras para a recomposição de área (realiza anualmente o teste de Black start); controle automático de geração (CAG); controle primário de tensão e suporte de reativo do sistema (objeto do estudo). A usina se caracteriza por ter o principal reservatório de acumulação da bacia com volume total 4.904,45 hm³ em nível/cota 647,00 metros acima do mar, possibilita o “deplecionamento” em 30 metros como reserva de energia potencial. Estas condições operativas garantem a usina emolumento por serviço ancilares. Estas informações estão no “Submódulo 14.1” dos Procedimentos de Rede do ONS, que especifica sobre o uso de compensadores síncronos interligados ao SIN, como serviço ancilar.

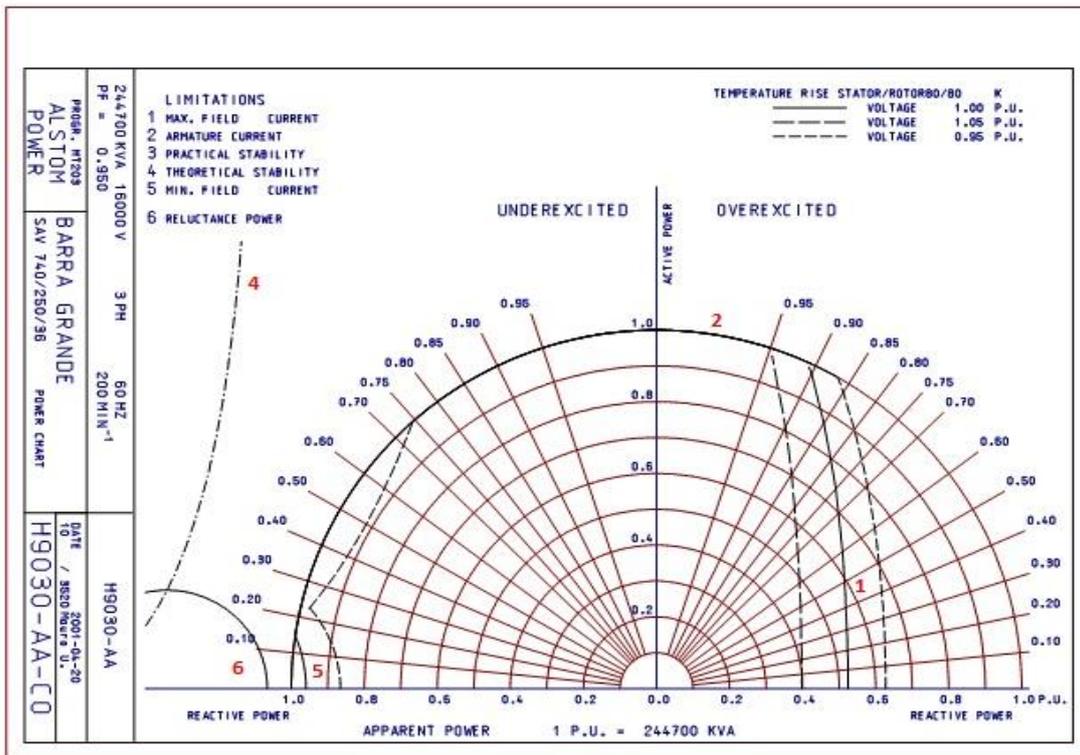
3 COMPENSADOR SÍNCRONO

Os compensadores síncronos rotativos foram desenvolvidos especificamente para estabilização de tensão e correção de fator de potência em redes de energia elétrica.

A importância de um compensador síncrono para o SIN, é em relação à sua versatilidade. Respondem automaticamente as variações de tensão do sistema, tanto fornecendo como absorvendo reativos, como gerador de usinas hidrelétricas que permitem variar seus valores de corrente de excitação. A Figura 3, mostra a curva de capacidade dos geradores da UHE Barra Grande, a qual estabelece os limites operativos da UG operando como gerador ou compensador (Indutivo ou Capacitivo).

Assim como outras máquinas rotativas, esse sistema apresenta como desvantagem o alto custo de instalação e manutenção.

Figura 3 – Curva de Capabilidade do gerador da UHE.



Fonte: UHE Barra Grande - Manual de operação 2005/2019.

3.1 Operação do sistema de compensador síncrono

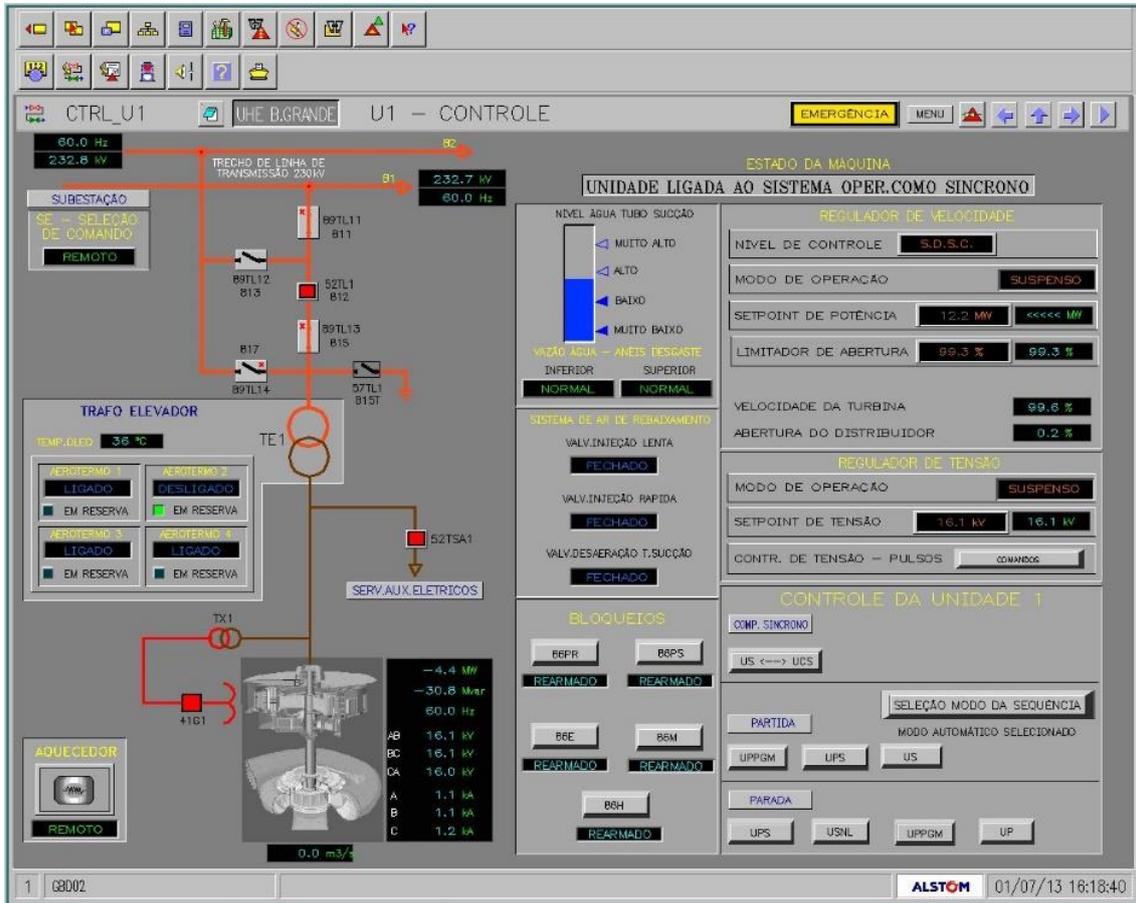
Na operação normal de uma UG na condição de US – Unidade Ligada ao sistema operando como gerador síncrono, é a turbina que aciona o gerador para geração de energia. Para a condição LCS, Unidade Ligada ao sistema operando como compensador síncrono, é o gerador que faz a turbina girar. O gerador funciona como motor síncrono consumindo energia elétrica do SIN.

Para que o consumo seja o menor possível, o rotor da turbina, que normalmente funciona “afogado” passa a ser confinado numa câmara de ar formada pelo sistema de ar de rebaixamento do nível de água (rotor da turbina). Operando desta forma, o rotor da turbina gera calor devido atrito do ar, cujo limite de aquecimento é controlado por um sistema auxiliar de resfriamento dos anéis de desgastes superior e inferior.

Com as UG's operando como LCS se evita paradas em períodos de baixa carga no SIN, reduzindo com isso a fadiga dos equipamentos, realiza o controle de tensão e reativo do SIN, a transferência de LCS para US possibilita o retorno

imediatamente como gerador síncrono em uma eventual perturbação do sistema. A figura 4 apresenta o sistema de controle da UG.

Figura 4 – Tela de controle da UG.



Fonte: UHE Barra Grande – telas SDSC 2005/2019.

3.2 Conversão de gerador para compensador síncrono.

Confirmada as pré-condições de conversão de “US” para “LCS” que são: UG sincronizada ao SIN; alimentação em 125 Vcc normal, para o comando do quadro válvulas e nível de água a jusante menor que 483,00 m, o operador validará comando para a conversão, a lógica do SDSC enviará um comando para bloquear a atuação do relé (32) de potência inversa, fechar o distribuidor, zerar a potência ativa e após confirmar a pressão de ar de rebaixamento normal, inicia-se o processo de conversão, estando a vazão de água dos anéis de desgastes inferior e superior indicar a condição normal, abre-se as válvulas de injeção de ar para o processo de rebaixamento da coluna de água no tubo de sucção, quando atingir o nível muito baixo, abrirá a válvula de desaeração do

tubo de sucção retirando o ar da bolha através do dreno da válvula de aeração, com a saída do ar o nível da coluna de água no tubo de sucção volta a subir oscilando entre a indicação de nível baixo e nível alto. A válvula de injeção de ar lenta abrirá quando a coluna de água atingir a indicação de nível alto e fechará quando atingir o nível baixo.

3.3 Reversão de compensador síncrono para gerador síncrono

A reversão de LCS para US pode ocorrer normalmente pela ação do operador por comando e validação para a reversão, ou automaticamente nas condições de nível de água muito alto da sucção, proteção de sub frequência atuada, baixa vazão de água de refrigeração, alta temperatura nos anéis de desgaste e abertura do disjuntor UG.

Na reversão para US, ocorrerá a abertura do distribuidor, fechamento válvulas de ar para rebaixamento, fechamento válvula de desaeração, transferência do regulador automático de velocidade para gerador e a normalização do relé 32 (potência inversa).

3.3.1 Reversão por atuação de proteção “86” parada de emergência.

Ocorrendo a atuação de uma das proteções do relé, “86PS” Parada Parcial Sem Rejeição de carga ou “86PR” Parada Parcial com Rejeição de carga, haverá a reversão para US, ocasionando o desligamento do sistema e da excitação da UG, fechamento das válvulas de injeção de ar de rebaixamento e fechamento da válvula de desaeração. Caso a reversão não seja concluída em determinado tempo, ocorrerá a atuação do rele de parada de emergência 86E por tempo longo de parada.

Se ocorrer a atuação de um dos relés 86 de parada total e a UG esteja operando como LCS ocorre a abertura da válvula de desaeração para “afogar” a turbina diminuindo assim o tempo de parada da UG; a válvula de desaeração se fechará depois de atuar nível muito alto no tubo de sucção.

4 CONCLUSÃO

Considerando o fato que as redes de energia elétrica do Brasil estão interligadas, quase que em sua totalidade em um único sistema. O SIN pode ser classificado como um sistema hidrotérmico de grande porte e com predominância de usinas hidrelétricas, sendo que as cargas do sistema são compostas por resistores, capacitores e indutores, sua operação ao longo dia, dependendo do horário e demanda, terá resultantes diferentes. Por exemplo: em horário de baixa carga no sistema as linhas de transmissão com baixo carregamento deixam a resultante capacitiva, já em horários de ponta as cargas são mais indutivas, deixando a resultante indutiva. Quando cargas reativas estão presentes, tais como capacitores e indutores, o armazenamento de energia nessas cargas resulta em uma diferença de fase entre tensão e corrente. Uma vez que essa energia armazenada retorna para a fonte e não produz trabalho útil, um circuito com baixo fator de potência terá correntes elétricas maiores para realizar o mesmo trabalho (perdas do sistema), sendo necessário mais potência aparente para manter a mesma carga do que em um circuito com alto fator de potência. O aumento não controlado da energia reativa poderá desestabilizar o sistema e desligar grande número de usinas, sendo assim, as usinas que utilizarem de sistema de compensador síncrono não serão desligadas e suas unidades geradoras passaram a operar no modo compensador para o controle de tensão e reativo do sistema. Com isso o ONS ganha vantagem, tem mais segurança com a estabilidade de tensão. Para incentivar a instalação de compensador síncrono o ONS paga aos “agentes geradores” por serviços ancilares proporcional ao tempo em que as UG’s estiverem operando com compensadores síncronos.

Conclui-se com esse trabalho, que o sistema de compensador síncrono da UHE Barra Grande contribui significativamente no controle de reativos e estabilidade de tensão do SIN. Embora os custos de instalação sejam considerados altos (de aproximadamente seiscentos mil reais) somados aos custos de manutenção, estima-se o retorno do investimento em um prazo de quinze anos de operação. Considerado um bom tempo para o retorno do

investimento, comparado ao prazo de concessão de operação da usina que são de trinta anos, prorrogáveis por igual período.

Com os geradores em operação no modo LCS – Ligado como Compensador Síncrono, o tempo de reversão com potência ativa ao SIN é praticamente instantâneo (segundos) e de 1(um) a 2(dois) minutos para reestabelecer a carga de Setpoint da UG, contribuindo significativamente para o aumento do índice de disponibilidade e recebimento de compensação financeira pela prestação de serviço ancilar.

Outro fator importante é a considerável diminuição do número de paradas e partidas das UG's, pois se a usina não contar com o sistema de compensador, deve parar as unidades geradoras toda vez que o ONS dispensar a geração devido à baixa carga no sistema e ter nova partida e sincronização ao SIN por solicitação de potência ativa. A partir de dados da equipe de engenharia CPFL/Geração, estima-se que o processo de parada e partida de uma UG equivalem ao desgaste de 10(dez) horas em operação da UG em plena carga. A sequência frequente de parada e partida das UG's diminui a vida útil do equipamento e os índices de disponibilidades da usina.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAESA ENERGÉTICA BARRA GRANDE SA. Livro de ocorrências da operação, **Estado operativo das unidades geradoras**. Pinhal da Serra – RS, 2005 – 2019.

BAESA ENERGÉTICA BARRA GRANDE SA. Manual de operação **Descrição e características da usina**. Pinhal da Serra – RS, 2005 – 2019.

COSTA, W. M. da. **O Estado e suas políticas territoriais no Brasil**. São Paulo: Contexto: Edusp, 1988.

MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995.

Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Procedimentos de rede**. Manual de Procedimentos da Operação. ONS, 2018.

ROSA, L. P. et. al. **Impactos de Grandes Projetos Hidrelétricos e nucleares**. Aspectos Econômicos, Tecnológicos, Sociais e Ambientais. São Paulo: Marco Zero, 1988.