



**XXIII SNPTEE
SEMÍNÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GAT/05
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO –IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT

SIMULAÇÃO DINÂMICA AUTOMÁTICA DA RECOMPOSIÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Rodrigo R. Ferreira *
EPE

Tatiana M. L. Assis
COPPE/UFRJ

Glauco N. Taranto
COPPE/UFRJ

RESUMO

Este trabalho apresenta um procedimento para a simulação dinâmica automática da recomposição de sistemas de energia elétrica, permitindo a avaliação simultânea da estabilidade eletromecânica e do ponto de operação do sistema em cada etapa do processo.

O monitoramento dos sinais elétricos e de controle é realizado de forma que permita um controle em tempo real sobre o sistema a ser estudado atendendo as restrições e limites referentes às faixas de tensão e de frequência durante a recomposição. O método utilizado inclui a modelagem da atuação dos operadores para manter os valores de tensão e frequência em patamares seguros.

PALAVRAS-CHAVE

Recomposição de sistema elétrico, Controle de Tensão e Frequência, Sincronismo

1.0 - INTRODUÇÃO

A expansão do sistema de transmissão e das interligações entre as regiões que transportam estes grandes blocos de energia vem aumentando cada vez mais, tornando assim a topologia do Sistema Interligado Nacional mais complexa [1]. Embora o planejamento da operação considere a possibilidade de ocorrência de defeitos severos no sistema, eventos raros associados a condições adversas podem levar a blecautes de grandes proporções.

Após a ocorrência de um blecaute, inicia-se o processo de recomposição do sistema, cujo objetivo é retornar, no menor tempo possível, à condição normal de operação. Porém, existem inúmeras possibilidades para determinar a correta trajetória da recomposição dos sistemas de potência [2-3-4] e devido a isso são necessários estudos de regime transitório, de regime permanente e de desempenho da proteção para determinar a melhor alternativa para cada caso de recomposição.

Por meio destes estudos, alguns aspectos que devem ser analisados durante a recomposição são [5-6-7-8]: sobretensões sustentadas, sobretensões de manobra, auto-excitação, esforço torsional e falhas de proteção.

Este trabalho tem como objetivo avaliar um procedimento de simulação dinâmica automática da recomposição de sistemas de energia elétrica [9]. Com o procedimento utilizado, o estudo de recomposição é automatizado, permitindo a avaliação simultânea da estabilidade eletromecânica e do ponto de operação do sistema em cada etapa do processo. A técnica desenvolvida inclui a modelagem da atuação dos operadores para manter os valores de tensão e frequência em patamares seguros.

Seguindo as diretrizes das instruções operativas de recomposição do ONS, foram selecionados dois subsistemas elétricos que envolvem a recomposição da área Rio de Janeiro: um referente ao tronco de 500 kV a partir da UHE

Marimbondo e outro referente ao tronco de 138 kV a partir da geração local das UHEs Nilo Peçanha e Fontes. O procedimento proposto foi então aplicado aos dois subsistemas, cuja interligação permite um atendimento maior de carga prioritária na área.

Além da seção introdutória, este trabalho é composto por outras três seções desenvolvidas de acordo com a seguinte estrutura:

- A Seção 2 apresenta a metodologia proposta para automação da análise da recomposição;
- A Seção 3 apresenta os resultados de um estudo de caso;
- A Seção 4 apresenta as conclusões deste trabalho.

2.0 - METODOLOGIA PROPOSTA

Durante a fase fluente de recomposição, existem corredores energizados radialmente e com isso são necessários procedimentos que visam à recomposição de áreas geoeletricas, sempre compatibilizando carga e geração. Nesta fase, à medida que os trechos são energizados, é preciso garantir níveis adequados de tensão e frequência.

Em certo momento, é necessário interligar esses corredores de forma segura e o sincronismo entre eles é realizado com auxílio do relé de verificação de sincronismo (função 25). Caso as condições mínimas de sincronismo não sejam atendidas, ajustes podem ser feitos na geração de um corredor ou de ambos, e o ponto de operação é alterado de forma que o fechamento do disjuntor de interligação seja seguro, minimizando esforços mecânicos prejudiciais aos geradores.

Durante a simulação do processo de recomposição, a ação dos operadores e dos sistemas de controle dos geradores é fundamental para manter as variáveis do sistema dentro das faixas aceitáveis de operação. Neste trabalho a simulação destas atividades dos operadores (ação humana) foi automatizada por meio de blocos adicionais nos reguladores de tensão e velocidade das unidades de geração envolvidas, com o objetivo de reproduzir o controle de tensão e frequência ao longo do estudo de recomposição.

A metodologia de automação da simulação proposta neste trabalho utiliza como base a estratégia de controle automático proposta em [10], onde sinais adicionais de controle são utilizados nos reguladores de tensão e velocidade dos geradores. A automatização da ação constante dos operadores sobre os ajustes nos controles dos geradores e a entrada de equipamentos para controle de tensão como reatores e compensadores síncronos tem o intuito de buscar melhores resultados e dar mais confiabilidade aos mesmos.

Detalhando melhor a metodologia aplicada, a fase de controle de tensão e frequência foi dividida em duas etapas adicionais de controle: ponto de operação e interligação.

A seguir serão detalhadas cada etapa de controle e suas respectivas adaptações no sistema de recomposição elétrico.

2.1 Controle do Ponto de Operação

Durante a fase fluente da recomposição é necessário manter o controle da tensão e frequência da barra terminal dos geradores, garantindo que todo o sistema elétrico opere dentro dos limites estipulados.

Este controle reflete em constantes ajustes durante o processo de recomposição que atualmente é feito pelos operadores do ONS em conjunto com os operadores da planta de geração. Logo, com intuito de automatizar esta etapa, foi incluído um bloco de controle adicional aos reguladores de tensão e velocidade dos geradores envolvidos no processo de recomposição conforme Figura 1 e Figura 2, respectivamente.

Na simulação, a ação do operador é modelada por um bloco PI adicional, tanto no regulador de tensão quanto no regulador de velocidade. No regulador de tensão (Figura 1), é possível observar que o controlador PI anula o erro proveniente da comparação entre o módulo da tensão (V_t), medida na barra terminal do gerador, com a tensão de referência (V_r). De forma análoga, pode-se observar no regulador de velocidade (Figura 2) que também existe um controlador PI que anula o erro proveniente da comparação entre a frequência (f) medida no gerador com a frequência de referência (f_r).

Todavia, os ganhos proporcional (K_{pv} e K_{pf}) e integral (K_{iv} e K_{if}) devem ser definidos durante os estudos buscando um desempenho adequado. As saídas dos blocos adicionais de controle de tensão e frequência, respectivamente, V_{saa} e f_{saa} , atuam diretamente nos reguladores de tensão e velocidade como um sinal adicional para o controle do corredor energizado.

2.2 Controle de Interligação entre os Subsistemas

A interligação entre dois subsistemas elétricos isolados ocorre conforme ilustrado na Figura 3 e deve ser realizada de forma coordenada visando minimizar oscilações que possam prejudicar o sistema por conta da ocorrência de esforços mecânicos nos eixos dos geradores. O ponto ideal para o fechamento do disjuntor que interliga os subsistemas equivale ao momento onde o módulo da tensão, o defasamento angular e a frequência são iguais nos terminais do disjuntor.

Um dos subsistemas (ex: Subsistema A), deve ser definido como atuador na correção das tensões e frequência pelos reguladores dos geradores e o outro subsistema (ex: Subsistema B) deve ser considerado como referência neste caso. Logo, o subsistema A, por meio da atuação de seus controles, irá alterar seu ponto de operação aproximando os sinais de tensão e frequência na Barra A de acordo com a referência medida na Barra B.

Esse controle também reflete em constantes ajustes dos operadores durante o processo de recomposição. Logo, com intuito de automatizar esta etapa também foi incluído um bloco de controle adicional aos reguladores de tensão e velocidade dos geradores envolvidos no processo de sincronismo conforme Figura 1 e Figura 2.

É possível observar que existe um controlador PI com a função de anular o erro proveniente da comparação entre o módulo da tensão (V_A), com o módulo da tensão de referência (V_B). De forma análoga, pode-se observar que também existe um controlador PI com a função de anular o erro proveniente da comparação entre a frequência (f_A), também medida na Barra A, com a frequência de referência (f_B) medida na Barra B. Também é importante definir os ganhos de forma análoga ao controle do ponto de operação.

O fechamento do disjuntor de interligação deve ocorrer por meio do relé de verificação de sincronismo (função 25) e deve permitir o fechamento do disjuntor de acordo com a lógica da Figura 4, onde a tensão de referência (V_B) é a tensão da Barra B, e a tensão monitorada na Barra A (V_A) é a tensão do lado do subsistema que pertence à geração a ser controlada.

Para que o relé 25 permita o fechamento do disjuntor, os fasores de tensão V_A e V_B devem estar dentro da área hachurada, o que significa que a diferença fasorial é inferior a um valor pré-estabelecido (ΔV). Além disso, esses fasores deverão permanecer dentro da área hachurada por um tempo mínimo pré-definido (t_{cr}) garantindo que o desvio de frequência entre as barras terminais é aceitável.

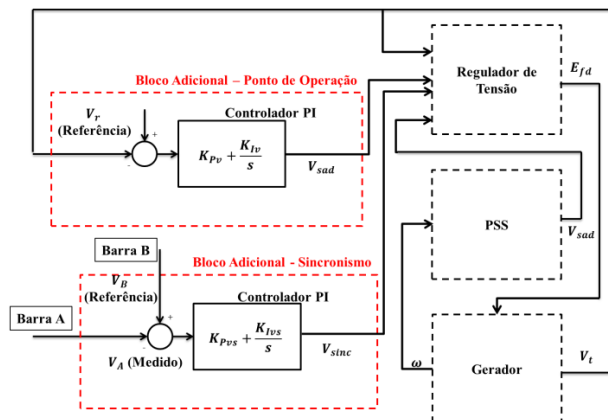


Figura 1 – Alteração do regulador de tensão com sinais dos blocos adicionais

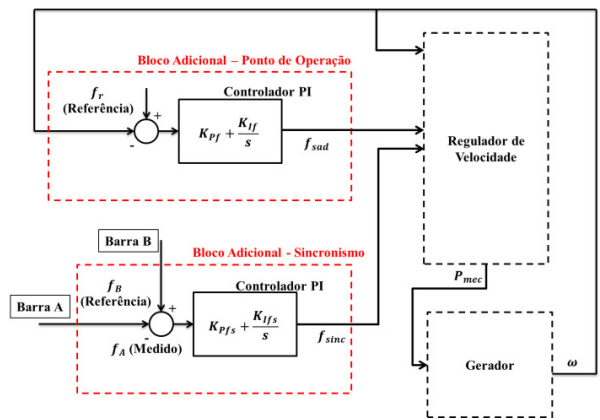


Figura 2 – Alteração do regulador de velocidade com sinais dos blocos adicionais

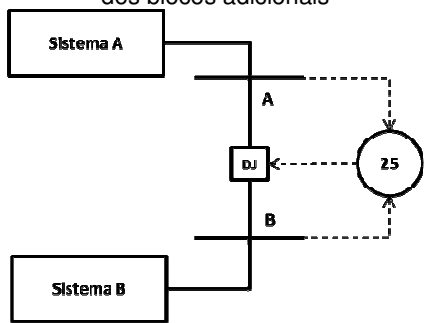


Figura 3 – Interligação entre dois subsistemas isolados

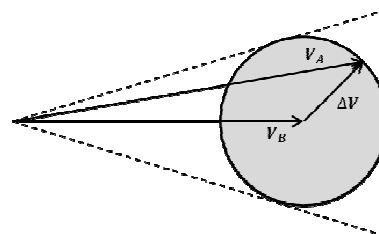


Figura 4 – Região de permissão de fechamento do disjuntor de interligação (relé 25).

3.0 - ESTUDO DE CASOS

Entre as instruções de operação disponibilizadas pelo ONS, foi selecionada a instrução de recomposição da área Rio de Janeiro [11] como caso de estudo, por ser um exemplo prático de dois subsistemas radiais em paralelo onde, a partir de certo momento, durante a recomposição fluente, ocorre à necessidade de interligá-los.

De acordo com esta instrução, a recomposição da área Rio de Janeiro, é feita pelo tronco de 500 kV a partir da UHE Marimbondo, com suporte do tronco de 138 kV feito a partir da geração local pelas UHEs Nilo Peçanha e Fontes. A interligação entre estes dois sistemas permite um atendimento maior da carga prioritária na área, além de melhorar a robustez do sistema restaurado. Devem ser respeitados os limites de tensão e frequência estabelecidos pelos Procedimentos de Rede do ONS, tanto em regime permanente quanto em regime dinâmico [12-13].

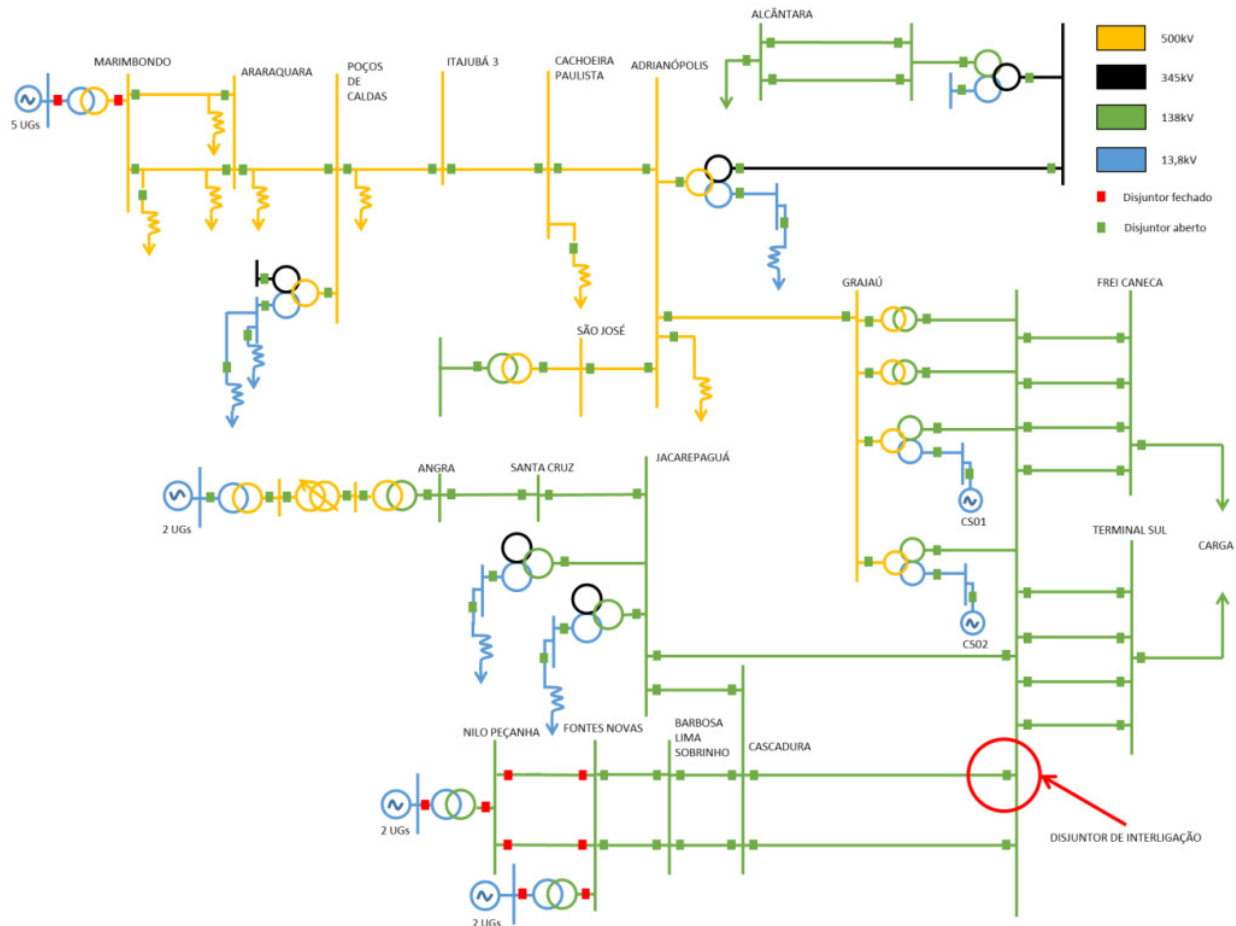


Figura 5 – Diagrama unifilar de recomposição da Área Rio

Primeiramente, foi necessário coletar todos os dados dos equipamentos envolvidos na base de dados de regime permanente e de estabilidade (transitórios eletromecânicos) que são disponibilizados pelo ONS [14-15]. Em seguida, estes dados foram implementados no software Simulight [16], desenvolvido pela COPPE/UFRJ.

Os ganhos referentes aos controladores PI implementados foram dimensionados tendo como base o desempenho do sistema durante a simulação de recomposição. Diferentes parâmetros foram analisados, e aqueles que proporcionaram os melhores resultados são mostrados na Figura 6 e na Figura 7, para o controle do ponto de operação e da interligação, respectivamente.

Conforme ilustrado na Figura 6 e na Figura 7, além dos blocos adicionais dos controladores PI, foi inserido (a):

- uma chave “liga-desliga” para habilitar o controle de uso dos mesmos, em ambos os blocos de controle adicionais;
- o bloco “delay” no controle adicional da interligação, de forma que possa simular o tempo de atraso na comunicação entre a planta de geração e a subestação em que se encontra o disjuntor de interligação. O valor foi fixado em 50ms.

3.1 Recomposição através dos Troncos de 500kV a partir da UHE Marimbondo e do Tronco de 138kV da Light

Ao todo são 8 unidades de 190 MVA na UHE Marimbondo, porém, a energização de 5 unidades com capacidade

de “black-start” [17] é o suficiente para atender aos critérios de recomposição no tronco de 500 kV. O tronco de 138kV se inicia pela geração local de Nilo Peçanha e Fontes Nova, localizadas no Complexo de Fontes no Rio de Janeiro e o mesmo é energizado até o terminal da LT 138 kV Grajaú - Cascadura que se interligará (fechamento de paralelo) com o corredor de 500 kV. Ao todo são 4 unidades geradoras de 71 MVA na UHE Nilo Peçanha e 2 unidades geradoras de 44 MVA na UHE Fontes Nova. Porém de acordo com a instrução de recomposição do ONS, a energização de 4 unidades no total (2 unidades de Nilo Peçanha + 2 unidades de Fontes Nova) é o suficiente para atender aos critérios de recomposição.

Conforme Figura 8 e Figura 9, os níveis de tensão nos barramentos de 500 kV e 138 kV atenderam aos critérios estabelecidos pelo ONS, onde as tensões de 500 kV em regime permanente devem se manter entre 0,9 e 1,1 pu e, no regime dinâmico, devem se manter entre 0,9 e 1,3 pu. Além disso, os níveis de tensão nos barramentos de 138kV em regime permanente devem se manter entre 0,9 e 1,1 pu e, para o regime dinâmico, devem se manter entre 0,85 e 1,25 pu.

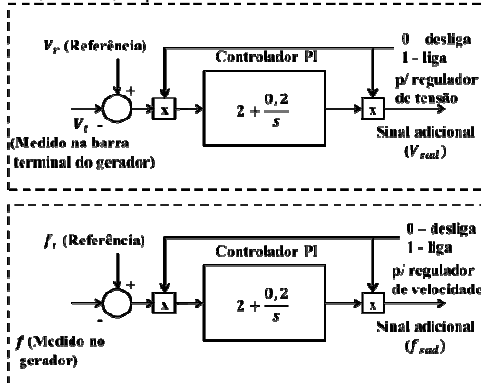


Figura 6 – Bloco adicional para controle automático do modo ponto de operação

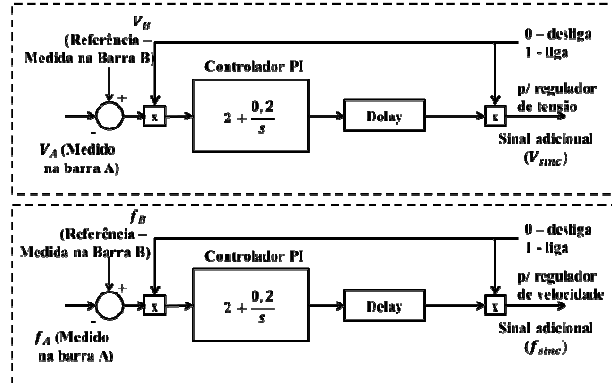


Figura 7 – Bloco adicional para controle automático do modo sincronismo

Os reguladores de tensão atuaram adequadamente em cada evento, e após a alteração na topologia da rede a tensão é estabilizada para um novo ponto de operação. Conforme Figura 12 e Figura 13, o bloco adicional discutido na Seção 2 para o controle de tensão automático foi habilitado e auxiliou em manter a tensão terminal dos geradores da UHE Marimbondo em 0,9 pu durante toda a fase fluente e em controlar tensão terminal dos geradores da UHE Nilo Peçanha, conforme a necessidade de manter a tensão entre 139 kV e 141 kV nos barramentos de 138 kV da SEs Nilo Peçanha e Fontes Nova. O automatismo neste caso se mostrou eficaz ao controlar o ponto de operação após cada perturbação na rede durante a recomposição.

Conforme Figura 10 e Figura 11, os reguladores de velocidade também atuaram adequadamente em cada evento e após a alteração na topologia da rede, a frequência é estabilizada para um novo ponto de operação. Em ambos os troncos, o bloco adicional discutido na Seção 2 para o controle de frequência automático não foi habilitado, pois durante a recomposição a frequência se manteve próxima de 60 Hz, não havendo a necessidade de restabelecer a mesma para um novo ponto de operação. Portanto, a frequência se estabilizou corretamente dentro dos limites impostos, onde a frequência para o regime dinâmico deve se manter entre 56,5 e 66,5 Hz.

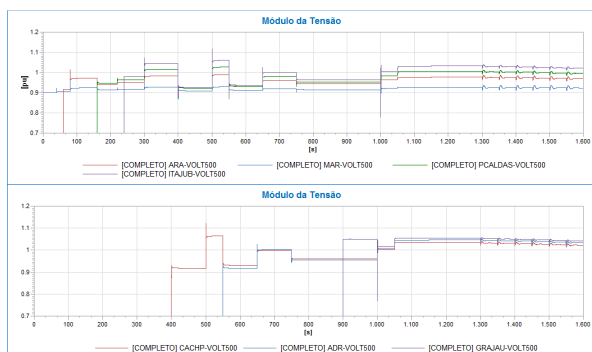


Figura 8 – Tensões nos barramentos de 500 kV até o momento do fechamento do paralelo

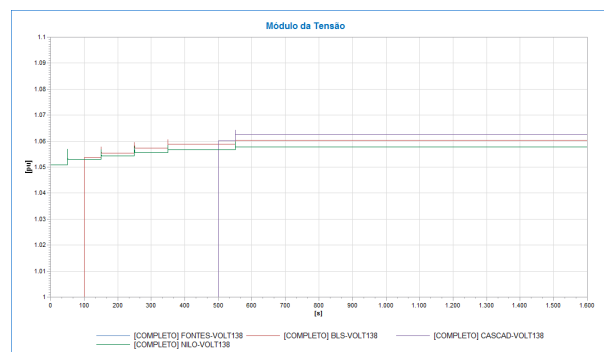


Figura 9 – Tensões nos barramentos de 138 kV até o momento do fechamento do paralelo

3.2 Interligação entre os Subistemas: Sincronismo

Nesta fase, tanto o tronco de 500 kV quanto o tronco de 138 kV já foram energizados até os locais estabelecidos pelos Procedimentos de Rede do ONS. A partir deste momento, deve ser fechado o disjuntor de acoplamento entre os dois corredores com o auxílio do relé de verificação de sincronismo (função 25), conforme Figura 14.

Para isso, o controle de sincronismo deve ser aplicado e o controle da tensão e frequência em ambos os terminais do disjuntor de acoplamento é feito da seguinte forma:

- Comutação dos blocos de controle do ponto de operação por meio do comando “liga-desliga” para o controle da barra do disjuntor de acoplamento;
- Seleção de uma entre as 5 unidades geradoras da UHE Marimbondo para realizar o controle da interligação. Esta unidade passa a monitorar a Barra A (Barramento de 138 kV da SE Grajaú) tomando como referência a tensão no terminal da LT 138 kV Grajaú – Cascadura (Barra B) e o controle então atua de forma que o relé 25 confirme as condições necessárias para fechamento do disjuntor de interligação;
- Assim que o disjuntor de interligação é fechado, deve-se realizar novamente a comutação entre os blocos adicionais pelos comandos “liga-desliga”, retornando ao controle do ponto de operação.

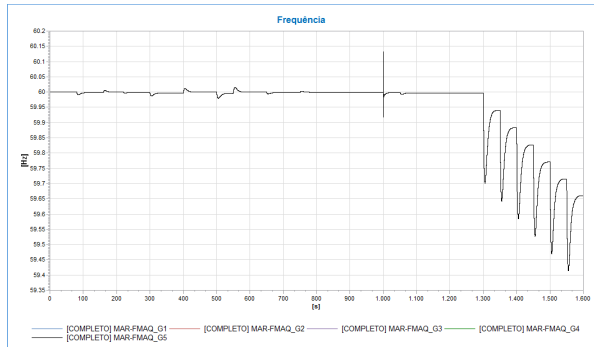


Figura 10 – Frequência – Geradores – UHE Marimbondo

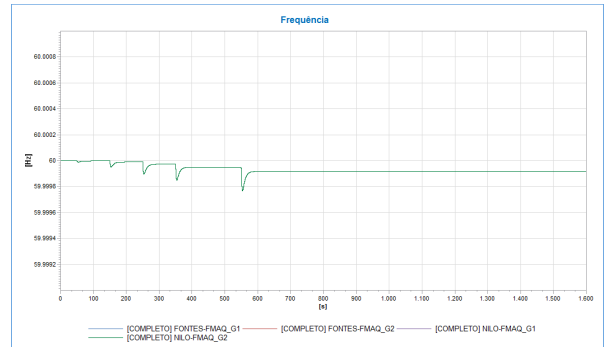


Figura 11 – Frequência – Geradores – UHEs Nilo Peçanha e Fontes Nova

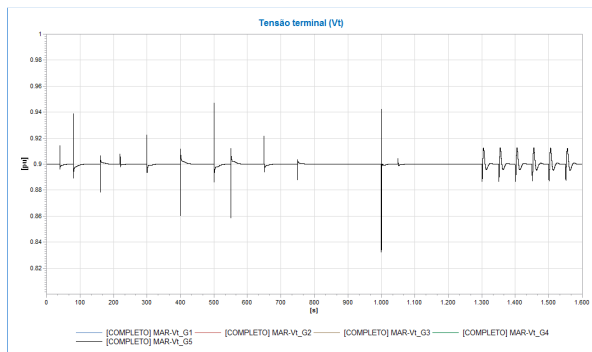


Figura 12 – Tensão Terminal – Geradores – UHE Marimbondo

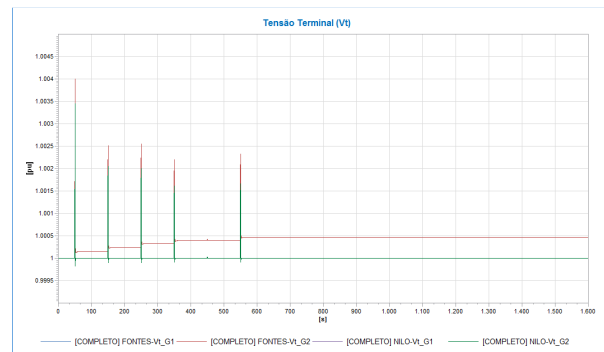


Figura 13 – Tensão Terminal – Geradores – UHEs Nilo Peçanha e Fontes Nova

Pode-se analisar que o controle adicional de sincronismo começa a atuar de forma que aproxime a tensão e frequência na Barra A com relação à referência da Barra B. Logo em seguida, o comando de verificação de sincronismo é enviado ao relé 25, em 1605s, onde o mesmo inicia o processo de monitoramento das condições de tensão, frequência e ângulo necessários para o correto fechamento do disjuntor de interligação entre os dois subsistemas.

Em 1610s, ocorre o chaveamento entre o bloco de controle do ponto de operação para o bloco de controle de sincronismo. Conforme Figura 15, a tensão na Barra A começa a subir, pois o bloco adicional de controle de sincronismo começa a atuar de forma que aproxime as tensões na Barra A e na Barra B.

No instante 1626s foi observado que as condições de sincronismo foram atendidas, e o próprio relé enviou um comando de fechamento para o disjuntor de interligação. Considerando que o sistema estabiliza em 1635s, todos os controles retornam a sua condição inicial em controlar a barra terminal dos geradores. De forma análoga, pode-se observar na Figura 17 que a frequência também foi ajustada pelos blocos adicionais de controle de sincronismo, de tal forma que a frequência na Barra A se aproxime a da Barra B.

Conforme Figura 16, pode-se analisar que a atuação do relé 25 foi correta, pois no momento que ambos os fasores de tensão da Barra A e Barra B estavam próximos ocorreu o comando de fechamento do disjuntor.

As manobras de operação dos disjuntores podem resultar em impactos mecânicos excessivos nos geradores elétricos, pois oscilações transitórias de potência aparecem durante os eventos causando esforços torcionais no grupo gerador-turbina. Estes eventos provocam uma condição de estresse acumulativo no sistema mecânico e isto causa a deterioração do sistema mecânico e redução da vida útil da máquina. Também foi monitorado o impacto de

esforço torcional nos geradores e conforme Figuras 15 a 18. Não houve problemas, uma vez que é considerada aceitável a variação instantânea máxima de potência igual a 50% da capacidade do gerador em MVA.

3.3 Etapa Final da Fase Fluente

Após a interligação dos dois corredores, o sistema se torna mais robusto e o controle de tensão e frequência passa ser feito somente pela UHE Marimbondo. Os níveis de tensão nos barramentos de 500 kV e 138 kV se mantiveram nos limites aceitáveis, e os reguladores de tensão e velocidade atuaram adequadamente em cada evento e após a alteração na topologia da rede.

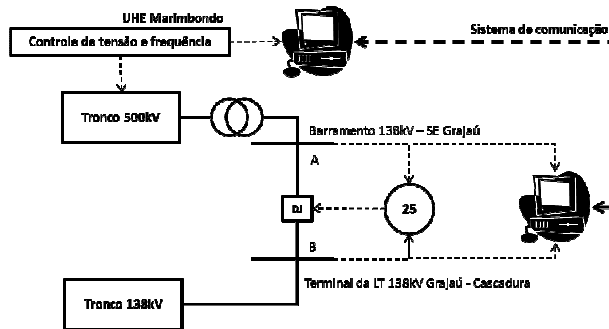


Figura 14 – Interligação entre os subsistemas

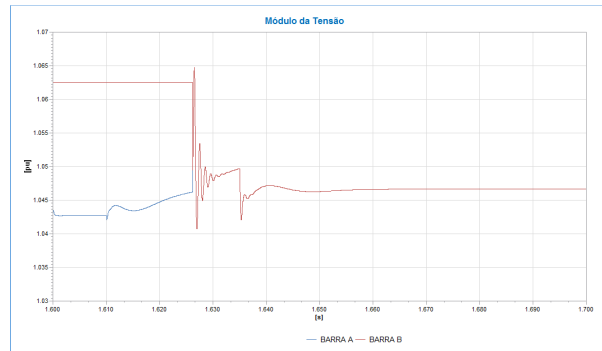


Figura 15 – Tensão – Barra A e Barra B

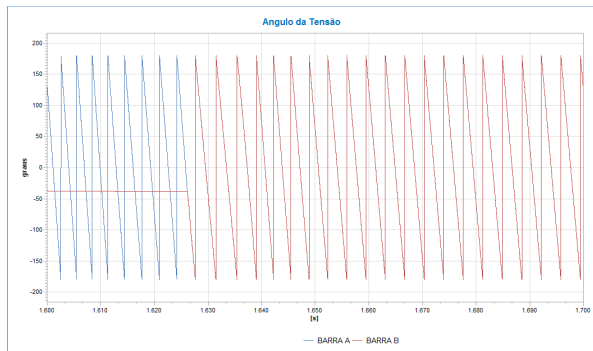


Figura 16 – Ângulo – Barra A e Barra B

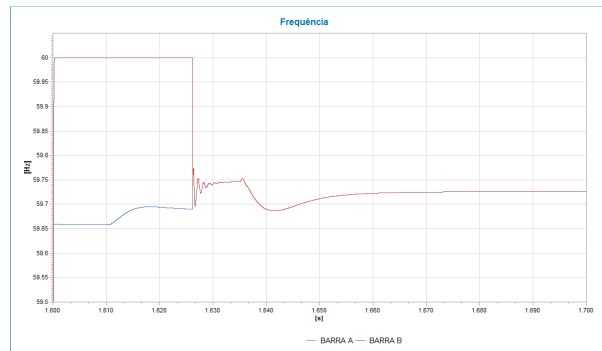


Figura 17 – Frequência – Barra A e Barra B

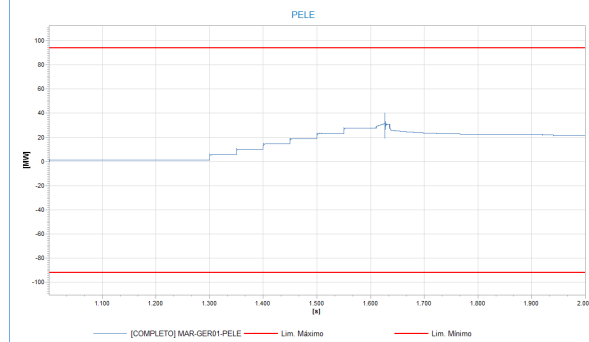


Figura 18 – Esforço Torcional (Potência elétrica) – Gerador 1 – UHE Marimbondo

4.0 - CONCLUSÃO

Uma estratégia de simulação automática para a recomposição do sistema elétrico foi proposta a partir de uma adaptação dos procedimentos de controle propostos em [10], onde é realizada a reconexão de alimentadores ativos ilhados à malha principal do sistema elétrico.

Muitos estudos são necessários para o sucesso da recomposição do sistema elétrico após a ocorrência de um blecaute, dentre os quais estão os estudos de regime permanente e dinâmico.

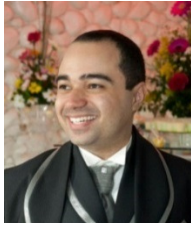
Este trabalho apresentou o desempenho dinâmico de dois subsistemas elétricos que envolvem a recomposição da área Rio de Janeiro e mostrou uma estratégia de simulação automática para controle do ponto de operação e da interligação automática entre os subsistemas envolvidos durante o processo de restauração do sistema elétrico. Logo, foram analisados dois tipos de controles adicionais a serem inseridos na malha de controle dos geradores: controle do ponto de operação e controle da interligação.

- O controle do ponto de operação foi eficaz e reproduziu de forma bem realista, a ação dos operadores de usina em regular tensão e frequência dentro dos limites aceitáveis, após cada mudança de topologia;
- O controle da interligação monitorou corretamente as barras em torno do disjuntor de acoplamento e auxiliou automaticamente nos ajustes dos controles de geração, onde a tensão e a frequência foram controladas de forma mais suave, evitando impactos no fechamento do paralelo realizado com o auxílio do relé de sincronismo (função 25). Dessa forma, é possível reduzir o estresse mecânico nos geradores, que ocorre no momento do fechamento do paralelo entre os subsistemas da recomposição, aumentando assim sua vida útil.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) VIANA, E. M. *Ferramenta para maximização de carga na fase fluente de Recomposição de Sistemas Elétricos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.
- (2) PERES, W. *Contribuições ao Estudo de Recomposição fluente de sistemas elétricos de potência*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.
- (3) GUARINI, A. P. et al. "A Evolução do Processo de Recomposição do Sistema Interligado Nacional". In: *XIII SEPOPE*, Foz do Iguaçu, 2014.
- (4) GOMES, P.; LIMA, A. C. S. ; GUARINI, A. D. P. "Guidelines for Power System Restoration". *IEEE Transactions on Power Systems*, 2004.
- (5) ADIBI, M. M.; MARTINS, N. "Power System Restoration Dynamic Issues". *IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, Pittsburgh, PA, 2008.
- (6) ADIBI, M. M.; ALEXANDER, W.; AVRAMOVIC, B. "Overvoltage Control During Restoration". *Power Engineering Review, IEEE - Vol. 12*, Novembro 1992.
- (7) REPORT, IEEE WORKING GROUP. "IEEE screening guide for planned steady-state switching operations to minimize harmful effects on steam turbine-generators". *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. *PAS-99*, no. *4*, pp. 1519–1521, 1980.
- (8) APOSTOLOV, A. et al. "An Update to Protection Issues During System Restoration". *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, 2012.
- (9) FERREIRA, R. R. *Simulação dinâmica automática da recomposição de sistemas de energia elétrica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- (10) ASSIS, T. M. L.; TARANTO, G. N. "Automatic Reconnection From Intentional Islanding Based on Remote Sensing of Voltage and Frequency Signals". *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012.
- (11) ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *IO-RR.SE.MAR - Recomposição da Área Marimondo*. Rio de Janeiro, 2012.
- (12) ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *Procedimentos de Rede - Submódulo 23.3 - Diretrizes e critérios para estudos elétricos*. Rio de Janeiro, 2010.
- (13) ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *Submódulo 10.11 - Recomposição da rede de operação após perturbação*. Rio de Janeiro, 2010.
- (14) ONS. Casos de Referência - Regime Permanente. **ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico**. Disponível em: <http://www.ons.com.br/plano_ampliacao/casos_refer_regime_permanente.aspx>. Acesso em: Dezembro 2013.
- (15) ONS. Casos de Referência – Estabilidade – Transitórios Eletromecânicos. **ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/avaliacao_condicao/casos_eletromecanicos.aspx>. Acesso em: Dezembro 2013.
- (16) Simulight, "Simulador para Redes Elétricas com Geração Distribuída", Manual do Usuário, COPPE/UFRJ, 2010. Versão acadêmica disponível em: www.coep.ufrj.br/~tarang/Simulight.
- (17) FELTES, J. W.; GRANDE-MORAN, C. "Black Start studies for system restoration". *Proc. 2012 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2012.

DADOS BIOGRÁFICOS



Rodrigo Ribeiro Ferreira nasceu em Rio de Janeiro, Brasil, em 1983. Possui graduação em engenharia elétrica pela UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro (2009), mestrado em Sistema de Potência pela COPPE/UFRJ (2014). Já trabalhou na Omega (Abengoa) como Engenheiro de Operação e Manutenção de 2009 à 2011 e na Chemtech (Siemens) como Engenheiro Eletricista Pleno de 2011 à 2013. Atualmente trabalha na EPE desde 2013 como analista de planejamento de transmissão de energia. Tem experiência na área de operação e manutenção de subestações e linhas de transmissão, projetos elétricos de refinarias e plataformas e planejamento da expansão de redes de transmissão, de curto, médio e longo prazo em suas diversas análises (fluxo de potência; estabilidade eletromecânica; energização e rejeição de carga em regime permanente e curto-circuito).



Tatiana Mariano Lessa Assis possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (1998), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2000) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2007). De janeiro a março de 2009 atuou como pesquisadora visitante no Rensselaer Polytechnic Institute (EUA). Entre 2006 e 2011 foi professora da Universidade Federal Fluminense. Atualmente é professora adjunta da Universidade Federal do Rio de Janeiro e realiza pós-doutorado no Imperial College London. Tem experiência na área de planejamento da operação de sistemas interligados, aplicações computacionais em sistemas de potência, dinâmica e controle de sistemas de potência, qualidade de energia e eletrônica de potência. Atua como voluntária do IEEE desde 2010 e atualmente é vice-presidente da Seção Rio de Janeiro. É Senior Member do IEEE.



Glauco Nery Taranto possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1988), mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1991), doutorado em Engenharia Elétrica pelo Rensselaer Polytechnic Institute, EUA (1994) e pós-doutorado pelo Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano, Milão (2006). Professor Titular do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: small-signal stability, voltage stability, transient stability, robust control, optimal power flow, fast time-domain simulation, genetic algorithms, object-oriented modeling, phasor measurements, distributed generation e three-phase power flow. É Senior Member do IEEE e membro da CIGRÉ.