



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

CB/GOP/19

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP

INTEGRAÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE SSA AO SISTEMA EMS SAGE

**Marcelo Rosado da Costa (*)
CEPEL**

**Sergio Gomes Junior
CEPEL, UFF**

**Thiago J. Masseran A. Parreiras
CEPEL**

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo descrever a integração da função RTMO (*Real-Time Monitoring of Oscillations*) do PacDyn ao sistema SAGE EMS, de modo a permitir a avaliação de segurança dinâmica a pequenos sinais (*Small-signal Security Assessment - SSA*) de sistemas de potência, onde modos de oscilação podem ser monitorados em tempo real. São apresentados resultados, utilizando um sistema teste com 65 barras e 5 usinas, que permitem avaliar a solução de integração implementada, com o intuito de se demonstrar a importância da ferramenta desenvolvida. Também são discutidos os resultados da avaliação de segurança a pequenos sinais do sistema teste.

PALAVRAS-CHAVE

Avaliação de segurança, Avaliação de segurança a pequenos sinais, SSA, Sistema EMS, Operação em tempo-real.

1.0 - INTRODUÇÃO

O sistema elétrico brasileiro se caracteriza pela transferência de grandes blocos de energia entre fontes geradoras distantes dos grandes centros de carga. Esta característica faz com que a operação desse sistema em tempo real seja uma tarefa bastante complexa, tornando imprescindível a utilização de um sistema EMS (*Energy Management System*) capaz de identificar possíveis situações inadequadas da operação e auxiliar na tomada de decisão dos operadores. Para isso, o Cepel desenvolve o sistema SAGE EMS (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia), amplamente utilizado em diversos centros de controle de diferentes empresas do setor elétrico brasileiro, que evolui continuamente com a agregação de novas funcionalidades.

Ao longo dos últimos anos, o CEPEL vem desenvolvendo uma ferramenta computacional integrada para avaliar a segurança de sistemas de potência em tempo real, considerando tanto o seu comportamento estático (*Voltage Security Assessment - VSA*), quanto o comportamento dinâmico (*Dynamic Security Assessment - DSA*) utilizando os programas ANAREDE e ANATEM [1-2]. A integração desta ferramenta ao sistema SAGE EMS foi apresentada no último SNPTEE [3], onde ficou clara a importância das avaliações de segurança estática e dinâmica na supervisão da operação em tempo real.

No intuito de complementar as avaliações VSA e DSA, o CEPEL também vem desenvolvendo uma ferramenta de avaliação de segurança de sistema de potência frente a pequenas perturbações (*Small-signal Security Assessment - SSA*) no programa PacDyn, de análise e controle do amortecimento de oscilações em sistemas de potência. A partir desta avaliação, será possível determinar, com base em critérios pré-determinados, se o sistema elétrico possui modos de oscilação naturais pouco amortecidos ou crescentes que possam gerar problemas de instabilidade, tanto para o ponto de operação corrente quanto para uma lista de contingências pré-definida.

Uma proposta de avaliação de segurança a pequenos sinais foi apresentada no último SNPTEE [4], baseada na

determinação de nomogramas de amortecimento. Dando continuidade aos desenvolvimentos dos trabalhos relacionados à avaliação de segurança, foi realizado o desenvolvimento de uma função no PacDyn para a monitoração da estabilidade a pequenos sinais de sistemas de potência, denominada Monitoração de Oscilações em Tempo Real (*Real-Time Monitoring of Oscillations - RTMO*).

Este artigo tem como objetivo descrever a integração dessa nova ferramenta de SSA do PacDyn (RTMO) ao SAGE, de forma a apresentar ao operador a situação da segurança da rede elétrica em relação a oscilações naturais a partir de gráficos de fatores de amortecimento e de frequências dos polos dominantes do sistema elétrico, informando em tempo-real se o nível de amortecimento está ou está se tornando inadequado.

2.0 - FUNÇÃO RTMO DO PACDYN

O programa computacional PacDyn é desenvolvido pelo CEPEL e tem por objetivo a análise e o controle do amortecimento de oscilações em sistema elétricos de potência. Nos últimos anos, algumas funcionalidades voltadas para a avaliação de segurança dinâmica a pequenos sinais (SSA) de sistemas de potência vêm sendo desenvolvidas, com o intuito de se fornecer novas informações sobre a estabilidade e sobre a segurança dinâmica de sistemas elétricos.

Uma primeira proposta de avaliação de segurança a pequenos sinais baseado na definição das regiões de segurança e na utilização dos nomogramas de amortecimento foi desenvolvida e apresentada no último SNPTTE através do trabalho [4]. Como uma continuação já prevista em [4] dessa linha de pesquisa, foi implementada no programa PacDyn uma função de SSA, denominada Monitoração de Oscilações em Tempo Real (RTMO), cujo objetivo é a determinação dos modos de oscilação dominantes de sistemas elétricos de potência e a monitoração de seus fatores de amortecimento e de suas frequências naturais de oscilação em tempo-real.

Para o cálculo desses modos de oscilação, é necessário fornecer ao PacDyn os dados de fluxo de potência da rede elétrica e os dados dos modelos dinâmicos dos equipamentos do sistema de interesse.

A função RTMO implementada no PacDyn é capaz de monitorar os dados de fluxo de potência de um determinado sistema elétrico de interesse e, sempre que esses dados são atualizados, o PacDyn recalcula os modos de oscilação que estão sendo monitorados e atualiza as informações dos fatores de amortecimento e das frequências desses modos, que são observados em tempo-real através de gráficos que mostram o comportamento dessas variáveis com o passar do tempo.

Além das informações dos fatores de amortecimento e das frequências dos modos de oscilação monitorados, a função RTMO também permite a monitoração de diversas funções previamente existentes no programa PacDyn, tais como, o cálculo de respostas no tempo lineares, o cálculo de respostas em frequência, o cálculo do lugar das raízes e o cálculo de sensibilidades.

Todas as funções disponibilizadas na função RTMO do PacDyn são extremamente importantes para a monitoração da estabilidade a pequenos sinais de sistemas elétricos de potência, trazendo informações complementares à monitoração, propriamente dita, dos fatores de amortecimento e das frequências dos modos.

A Figura 1 apresenta o algoritmo da função de Monitoração de Oscilações em Tempo Real implementada no programa computacional PacDyn.

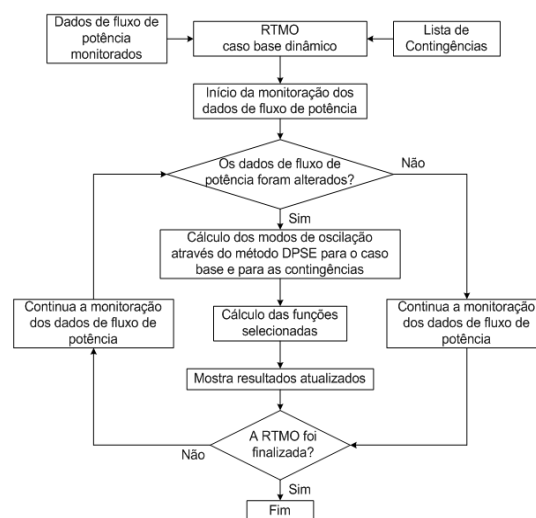


FIGURA 1 – Algoritmo da função RTMO do PacDyn.

A função RTMO pode ser utilizada para a monitoração de sistemas de potência em tempo-real ou para a realização de análises pós-operativas desses sistemas.

Para a utilização da RTMO na realização de análises pós-operativas, o usuário do PacDyn deve possuir os dados de fluxo de potência referentes ao período de operação do sistema de interesse que deseja analisar e deve ir fornecendo esses pontos de operação sequencialmente, de forma a simular uma monitoração desse sistema. Com isso, é possível recriar determinadas situações de operação e o comportamento do sistema elétrico pode ser avaliado para a melhoria de seu desempenho.

Para a utilização da RTMO na monitoração de sistemas de potência propriamente dita, o usuário do PacDyn deve utilizar a função RTMO integrada a um sistema EMS/SCADA, como o sistema SAGE, capaz de utilizar um estimador de estados para gerar as informações dos dados de fluxo de potência do sistema monitorado em tempo-real e enviar essas informações ao PacDyn para a realização dos cálculos dos modos de oscilação do sistema e para a atualização dos gráficos dos fatores de amortecimento e das frequências.

Neste trabalho, foi realizada uma integração entre a função RTMO do PacDyn e o sistema SAGE, que será descrita com mais detalhes posteriormente, com o objetivo de se realizar uma monitoração em tempo-real de um sistema elétrico de pequeno porte, que serviu como teste das novas ferramentas de SSA desenvolvidas pelo CEPEL, com o intuito de se determinar a performance dessas funcionalidades.

3.0 - O SAGE

O sistema SAGE EMS é um sistema computacional que tem por objetivo executar as funções de supervisão e controle em tempo-real e ainda de gerenciamento de energia em sistemas elétricos de potência [5]. O SAGE EMS foi concebido com adesão integral ao conceito de Sistemas Abertos. Para atender essa exigência foi dado destaque à robustez, à flexibilidade, à facilidade de manutenção e à capacidade de comunicação através dos diferentes protocolos em uso no Brasil.

Este sistema pode ser configurado para diversas aplicações no processo de automação das empresas de energia elétrica, incluindo usinas e subestações, suportadas por arquiteturas de baixo custo, ou aplicações nos níveis hierárquicos superiores, tais como Centros de Operação de Sistemas (COS), suportadas por redes de alto desempenho. O SAGE EMS provê ainda suporte para a integração da base de dados de tempo-real (BDTR) com a rede de gestão corporativa da empresa, através da base de dados histórica disponibilizada em um banco de dados relacional de mercado.

O COS pode ser provido com a estrutura básica do sistema SAGE EMS, o qual é composto por um sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) e pelas funções de Análise de Redes (Configurador de Redes, Estimação de Estado, Análise de Contingência, Fluxo de Potência do Operador) [6].

As funções de Análise Estática de Redes do SAGE EMS têm por objetivo monitorar a condição operativa corrente do sistema elétrico, fornecendo ao operador uma estimativa confiável do estado do sistema, informando quando da ocorrência de condições operativas não desejáveis e produzindo estratégias de controle que permitam alterar o ponto de operação para uma condição operativa normal.

Essas funções permitem monitorar e informar ao operador o nível de segurança estática do sistema elétrico. No caso do sistema elétrico estar operando em uma região insegura é possível produzir estratégias de controle capazes de mudar o ponto de operação para uma região segura.

O uso destas funções possibilita, ainda, a realização de estudos relativos a condições de pós-operação, análise detalhada da condição operativa corrente, possibilitando a simulação de manobras na rede, além de permitir às equipes de programação e supervisão o estabelecimento e a revisão do Programa de Operação do Sistema Elétrico.

4.0 - INTEGRAÇÃO DA FUNÇÃO RTMO AO SAGE

A integração da função RTMO do PacDyn ao SAGE que está sendo desenvolvida utiliza um esquema de troca de informações entre o sistema SAGE e função RTMO do PacDyn para a monitoração de sistemas de potência, que é executada em um computador dedicado e de forma independente. A principal informação é o ponto de operação atual do sistema obtido pela função de Estimação de Estado do SAGE, que é exportado periodicamente para o PacDyn.

A função de Monitoração de Amortecimento em Tempo Real (RTMO) implementada no programa PacDyn, calcula então os fatores de amortecimento e as frequências dos modos de oscilação do sistema elétrico de interesse para

esse ponto e para as contingências propostas (previamente definidas), que são apresentados na forma de gráficos temporais e podem ser visualizados pelo operador tanto no computador dedicado como no ambiente do SAGE, que recebe os resultados obtidos pela função do PacDyn.

Além disso, alarmes de fatores de amortecimento indesejados, que violam determinado critério de segurança, podem ser gerados no visualizador do SAGE. A avaliação SSA da rede elétrica deverá ser executada de forma periódica, a cada ponto de operação fornecido pelo estimador de estados do SAGE, com a atualização das informações a serem utilizadas pelo operador do sistema.

Tendo em vista a dificuldade, para o operador, de identificar as ações no sistema elétrico capazes de melhorar os fatores de amortecimento determinados, a ferramenta de SSA fornece novas informações aos operadores desse sistema, com o objetivo de auxiliar na tomada de decisões que visem a melhoria de seu desempenho dinâmico.

A Figura 2 apresenta um esquema que representa o funcionamento da integração entre a função RTMO implementada no PacDyn e o sistema SAGE.

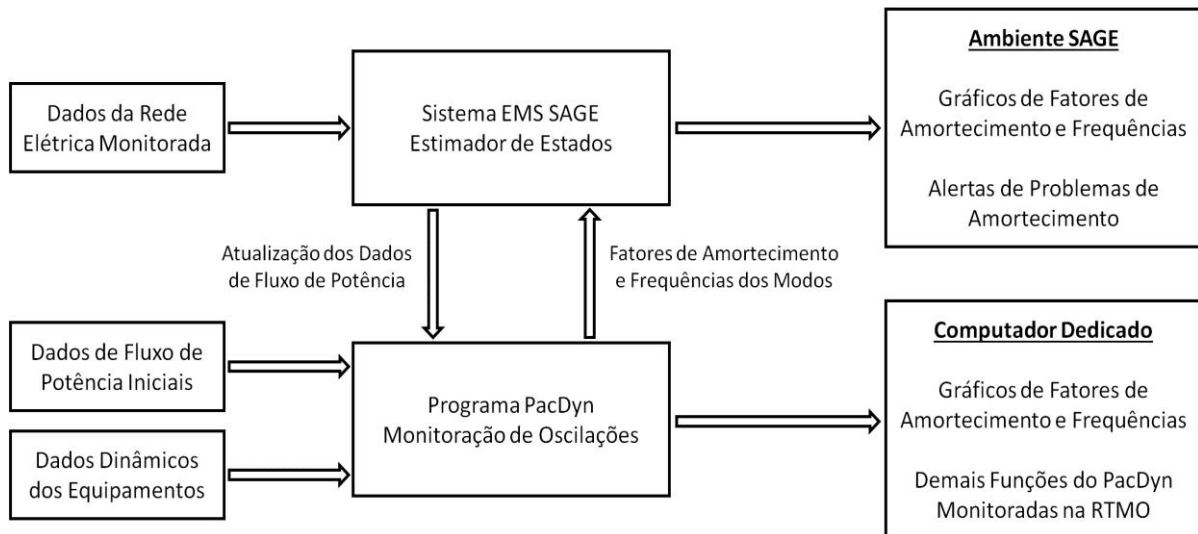


FIGURA 2 – Esquema da integração da função RTMO do PacDyn ao SAGE.

5.0 - RESULTADOS

Os resultados que serão apresentados no trabalho permitirão avaliar a integração mencionada entre os sistemas computacionais, considerando o desempenho e a adequação da implementação. Na obtenção destes resultados, uma rede elétrica exemplo, contendo 65 barras e 5 usinas, cujo diagrama unifilar é apresentado na Figura 3, foi utilizada para explorar tanto a segurança elétrica a pequenos sinais desta rede como avaliar a solução de integração da função RTMO do PacDyn ao SAGE desenvolvida.

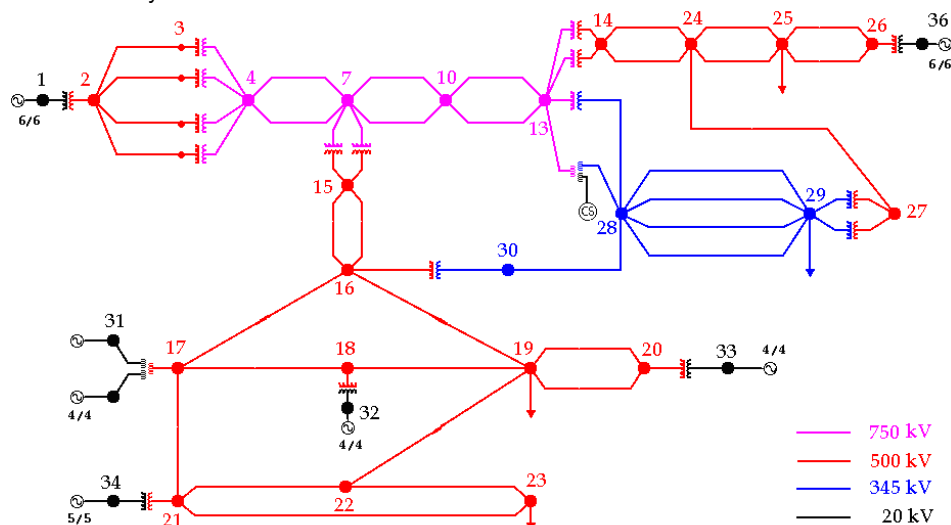


FIGURA 3 – Sistema teste de 65 barras e 5 usinas.

Os resultados apresentados a seguir foram criados em um ambiente de testes. Este ambiente possui um simulador digital de redes elétricas para treinamento de operadores, chamado de Topsim, também desenvolvido pelo CEPEL, o qual simula o comportamento real de um Sistema Elétrico de Potência - SEP a partir da solução de fluxo de potência da rede elétrica, da curva de carga e dos controles simulados, como: set-point de geração, trip ou close de disjuntores, etc. A comunicação de dados entre o simulador e o SAGE EMS é realizada através de um protocolo de comunicação de dados da função do SCADA do SAGE de forma a permitir a aquisição e o controle do SEP, como ilustrado na Figura 4.

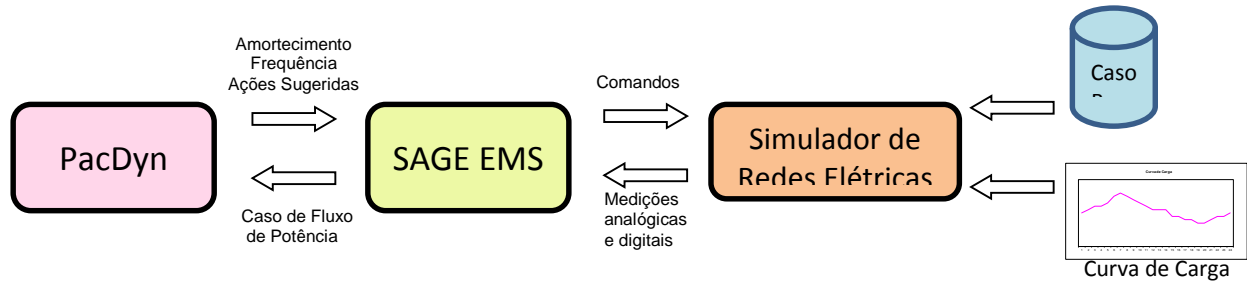


FIGURA 4 – Arquitetura de teste da integração

Durante a execução da monitoração em tempo real do sistema teste, a curva de carga apresentada na Figura 5 foi utilizada para simular a evolução dos cenários e dos pontos de operação desse sistema, representando a sua operação ao longo de 2 horas e 15 minutos, entre o período de 10:15 até 12:30. Com isto, as cargas do sistema teste sofreu uma variação de +15% e -15% no período de teste. No entanto, o horário das curvas de monitoração das oscilações é o tempo da simulação (horário Brasília), por exemplo, a simulação da rede elétrica iniciou as 13:16 com o horário inicial de 10:15 da curva de carga.

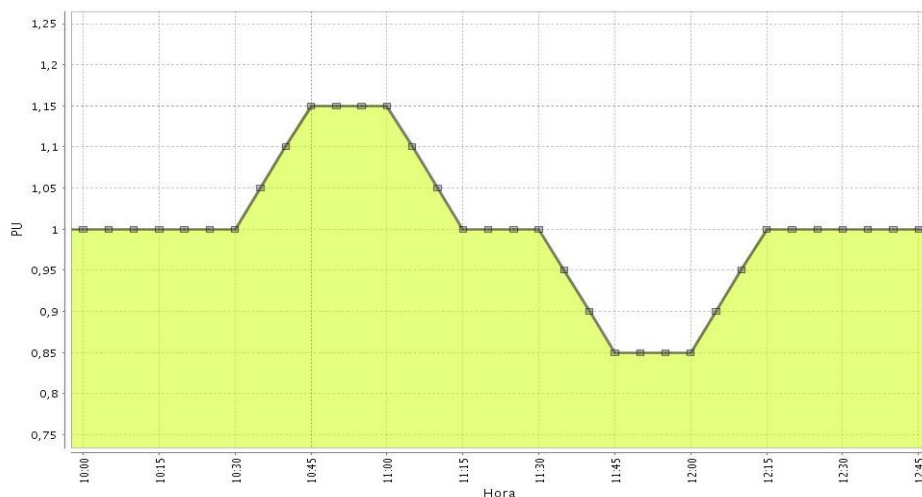


FIGURA 5 – Curva de carga utilizada durante a monitoração.

Antes de iniciar a monitoração das oscilações, foi necessário identificar os modos de oscilação menos amortecidos do sistema teste. Dois modos de oscilação foram identificados no caso base do sistema teste, que são:

- ✓ O modo de, aproximadamente, 7 rad/s, que representa uma oscilação existente entre as usinas US10 e US11 do sistema;
- ✓ O modo de, aproximadamente, 5 rad/s, que representa uma oscilação existente entre a usina US01 e as demais usinas do sistema.

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos para os fatores de amortecimento e para as frequências dos dois modos de oscilação menos amortecidos do sistema teste, que foram monitorados durante o período de teste mencionado anteriormente. Além do caso base foram ainda consideradas duas contingências (LT 15-16 e 28-29), no entanto o impacto das contingências é muito pequeno neste caso como pode ser observada na monitoração.

Observando a Figura 6, verifica-se que a variação da frequência é bem mais moderada, comparada com a do fator de amortecimento. É ainda possível notar a existência de pontos de operação onde pelo menos um dos modos monitorados apresentou um fator de amortecimento indesejado (inferior a 5%) para um acréscimo de até 15% da carga. Quando isso acontece, o sistema SAGE emite um sinal de alerta ao operador.

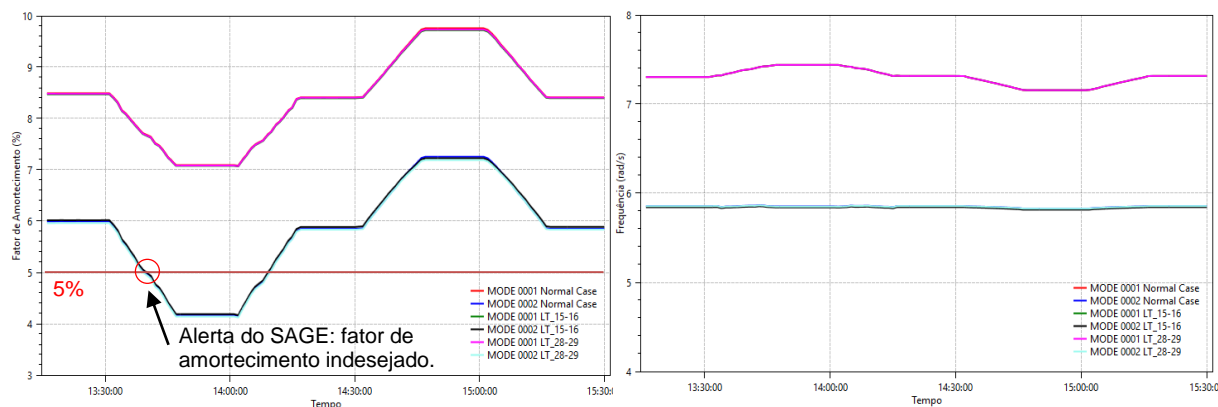


FIGURA 6 – Resultado da monitoração em tempo real do sistema teste.

Durante este teste, toda vez que o fator de amortecimento de um dos modos de oscilação do sistema ficava inferior a 5%, foi ativada a função do PacDyn para calcular o despacho ótimo que levaria o fator de amortecimento do modo correspondente para um valor próximo ao mínimo (5%). A monitoração considerando essas ações sugeridas de despacho nas unidades geradoras de forma automática e contínua é apresentada na Figura 7.

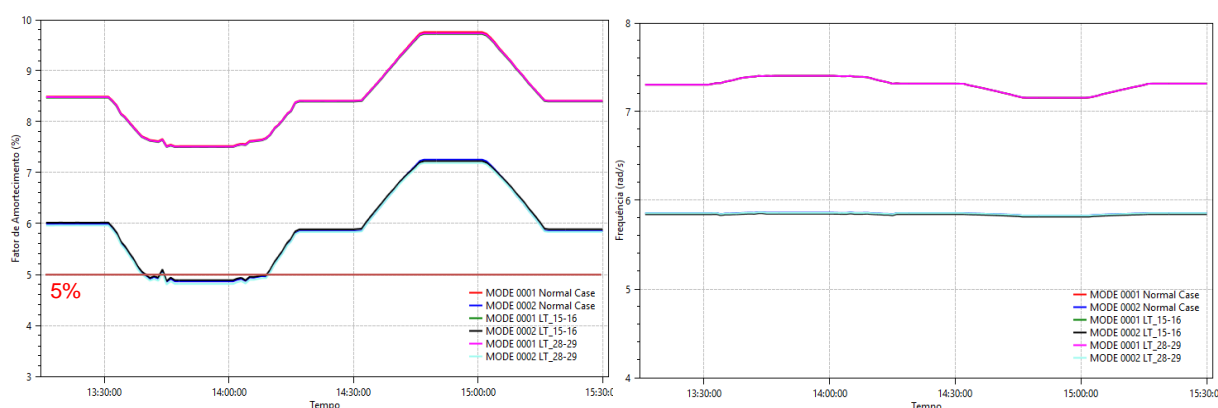


FIGURA 7 – Resultado da monitoração com despacho ótimo automático para fator de amortecimento mínimo.

A mesma simulação de monitoração em tempo real foi realizada novamente, porém, dessa vez, o operador tomou medidas de controle (Patamar 2) no SAGE para mitigar os problemas de amortecimento informados, através da utilização de um despacho ótimo calculado pelo PacDyn, quando o sistema estava com 15% de carregamento (Patamar 1), conforme valores apresentados na Tabela 1. Em seguida, o operador fez ajustes finais (Patamar 3) no sistema teste com o intuito de melhorar ainda mais o amortecimento do sistema teste. A Figura 8 apresenta os resultados obtidos para os fatores de amortecimento e para as frequências dos dois modos de oscilação menos amortecidos do sistema teste, na monitoração considerando essa atuação do operador.

Tabela 1 – Ações sugeridas pelo despacho ótimo do PacDyn considerando fator de amortecimento mínimo

Usina	Patamar de Geração		
	1 Valor Original (MW)	2 Despacho Ótimo (MW)	3 Ajuste Final (MW)
US01	2214,0	2101,3	2086,0
US07	1033,0	1033,0	1033,0
US08	1170,4	1192,8	1135,0
US10	1256,0	1204,7	1198,0
US11	1263,0	1222,3	1166,0
US17	3014,7	3232,6	3347,0

Observando a Figura 8, é possível notar que o tempo em que o sistema apresentou um fator de amortecimento indesejado (inferior a 5%) foi menor, uma vez que, quando o SAGE emitiu os alertas de baixo amortecimento, o operador atuou na rede elétrica para solucionar o problema apresentado. Essa ação do operador no sistema garantiu uma melhor operação, expondo o sistema a problemas de oscilação por menos tempo.

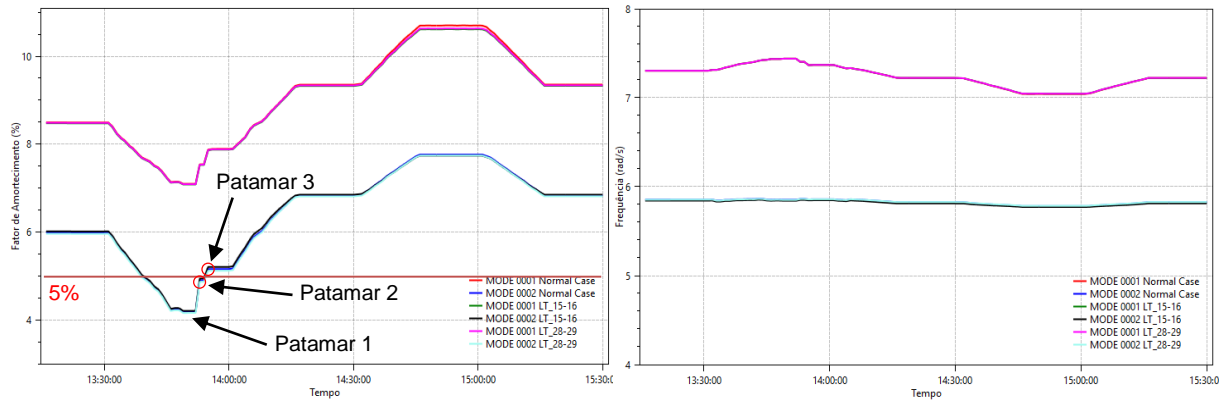


FIGURA 8 – Resultado da monitoração em tempo real do sistema teste com atuação do operador.

A Figura 9 compara os resultados dos fatores de amortecimento e frequências de acordo com a curva de carga sem qualquer atuação no sistema, com o despacho ótimo automático e com a atuação do operador. Verifica-se que a curva de amortecimento com atuação do operador, durante o Patamar 2, coincidiu com a curva de amortecimento com despacho ótimo calculado pelo PacDyn. Isto comprova a importância deste tipo de ferramenta para a operação em tempo real.

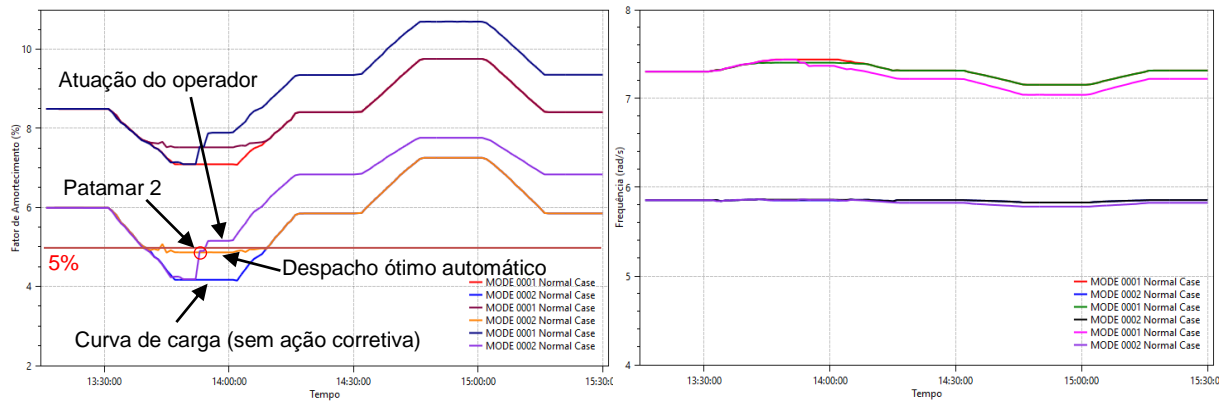


FIGURA 9 – Comparação dos resultados da monitoração em tempo real do sistema teste com ações corretivas.

Analisando os resultados obtidos através dos testes realizados no sistema elétrico exemplo, é possível notar que foi desenvolvida uma integração da função RTMO do PacDyn ao SAGE bastante satisfatória, com alto grau de desempenho e com pequeno esforço demandado por parte do operador.

Também deve ser destacado, a partir da avaliação dos resultados dos testes realizados, a importância da obtenção de informações sobre os fatores de amortecimento e as frequências dos modos de oscilação de sistemas elétricos de potência em tempo real, que permite uma melhor determinação do comportamento dinâmico desses sistemas, possibilitando a melhoria de sua operação.

6.0 - CONCLUSÃO

Neste artigo, foi apresentado e descrito o desenvolvimento da função de monitoração de oscilações em tempo real (RTMO) de sistemas elétricos de potência implementada no programa PacDyn, através da qual é possível monitorar os fatores de amortecimento e as frequências de modos de oscilação presentes nesses sistemas.

Além disso, também foi apresentada e descrita a integração da função RTMO implementada no PacDyn e o sistema SAGE EMS para realização da monitoração da estabilidade a pequenos sinais de sistemas de potência de pequeno ou grande porte e de seus modos de oscilação.

Através da integração da função RTMO do PacDyn ao SAGE, os operadores de centros de controle de diversas empresas do setor elétrico brasileiro poderão obter mais informações sobre a estabilidade do sistema, realizando a monitoração dos modos de oscilação dominantes desse sistema durante sua operação.

Durante a monitoração de sistemas de potência através da integração da função RTMO do PacDyn ao SAGE, diversos alertas de baixo amortecimento de modos de oscilação monitorados podem ser emitidos pelo sistema SAGE e podem ser sugeridas medidas operativas para mitigar esses problemas, auxiliando os operadores na manutenção

da segurança e melhoria da operação desses sistemas.

Portanto, pode-se dizer que as novas informações sobre a estabilidade de sistemas elétricos de potência obtidas a partir da realização de sua monitoração em tempo real, através da integração da função RTMO do PacDyn ao SAGE, são extremamente importantes para a melhoria da operação em tempo real desses sistemas.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ALVES, F. R. M., HENRIQUES, R. M., PASSOS FILHO, J. A., GOMES JUNIOR, S., BORGES, C. L. T., FALCÃO, D. M., RANGEL, R. D., AVELEDA, A. A., TARANTO, G. N., ASSIS, T. M. L., "Ferramenta Integrada para Avaliação da Segurança Estática e Dinâmica de Sistemas de Potência de Grande Porte", XII SEPOPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.

(2) HENRIQUES, R. M., ALVES, F. R. M., PASSOS FILHO, J. A., GOMES JUNIOR, S., RANGEL, R. D., BORGES, C. L. T., FALCAO, D. M., TARANTO, G. N., ASSIS, T. M. L., "Melhorias da Avaliação de Segurança de Sistemas Elétricos Através da Representação Detalhada de Equipamentos e Monitoração do Amortecimento de Oscilações", XXII SNPTEE, Brasília, DF, Brasil, 2013.

(3) GUHLE, B. D., COSTA, M. R., BORGES, C. L. T., ALVES, F. R. M., "Integração de uma Ferramenta VSA/DSA ao EMS SAGE", XXIII SNPTEE, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2015.

(4) PARREIRAS, T. J. M. A., GOMES JUNIOR, S., TARANTO, G. N., LEITE NETTO, N. A., AMARAL, T. S., UHLEN, K., "Avaliação de Segurança a Pequenos Sinais de Sistemas Elétricos de Potência com o PacDyn", XXIII SNPTEE, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2015.

(5) OLIVEIRA FILHO, A. L., SANTOS, H. T., PEREIRA, L. A. C., LIMA, L. C., LAMBERT, N., CRUZ, D., SCHIO, G. R., GOMES, D. B., LAMEIRÃO, A. M. M. S., "Soluções para a Rede de Gerenciamento de Energia do ONS – REGER", XXI SNPTEE, Florianópolis, SC, Brasil, 2011.

(6) COSTA, M. R., PEREIRA, L. A. C., ALVES, J. M. T., "A importância e a Evolução das Funções de Análise de Redes no Sistema de Supervisão e Controle", VIII EDAO, Recife, PE, Março, 2005.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Marcelo Rosado da Costa graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1993. Em 1998 recebeu grau de Mestre em Ciências pela COPPE-UFRJ. É pesquisador do Departamento de Automação de Sistemas do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL - desde 1996, atuando no desenvolvimento de aplicações computacionais de análise de redes no SAGE – Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia, desenvolvido pelo CEPEL. Suas áreas de interesse para pesquisa incluem algoritmos de análise de redes, sistemas de supervisão e controle, simulador para treinamento de operadores e sistema de gerenciamento de energia.



Sergio Gomes Junior graduou-se em Engenharia Elétrica em 1992 pela Universidade Federal Fluminense, concluiu Mestrado e Doutorado também em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1995 e 2002, em 2004 fez um pós-doutorado na *Northeastern University* em Boston, Estados Unidos e em 2016 um pós-doutorado na *Norwegian University of Science and Technology* em Trondheim, Noruega. Desde 1994 é pesquisador do Cepel trabalhando na pesquisa e desenvolvimento de programas computacionais para a análise de sistemas de potência e desde 2000 é gerente do projeto PacDyn no Cepel. Desde 2010 também é professor da Universidade Federal Fluminense. Suas principais áreas de interesse são: dinâmica e controle de sistemas de potência, eletrônica de potência, harmônicos e transitórios eletromagnéticos. É *Senior Member* do IEEE e membro do Comitê de Estudos B4 do Cigré-Brasil.



Thiago Jose Masseran Antunes Parreiras possui graduação (2009) e mestrado (2012) em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, e cursa doutorado em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é pesquisador II do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em sistemas elétricos de potência, atuando principalmente nos seguintes temas: estabilidade de sistemas de potência, análise modal de sistemas de potência, controle do amortecimento de oscilações em sistemas de potência, avaliação de segurança de sistemas de potência e monitoração de sistemas de potência em tempo-real.