



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

CB/GAT/09

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - IV

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

**ANÁLISE DE CONTINGÊNCIAS E MONITORAÇÃO DE OSCILAÇÕES NO PACDYN PARA AVALIAÇÃO DE
SEGURANÇA DINÂMICA DE SISTEMAS DE POTÊNCIA**

Thiago J. Masseran A. Parreiras (*)
CEPEL

Sergio Gomes Junior
CEPEL, UFF

Tiago S. Amaral
CEPEL

RESUMO

Este artigo apresenta duas novas funcionalidades implementadas no programa PacDyn: a análise de contingências e a monitoração de oscilações em tempo real (RTMO). Na análise de contingências, diversas funções do PacDyn podem ser executadas automaticamente para o caso base e uma lista de contingência. Na RTMO, modos de oscilação do sistema são calculados, monitorados e podem ser visualizados como funções do tempo, considerando pontos de operação entregues periodicamente ao PacDyn e também uma lista de contingências. São apresentados resultados de simulações e testes dessas novas funcionalidades, utilizando um sistema exemplo de pequeno porte.

PALAVRAS-CHAVE

Estabilidade a pequenos sinais de sistemas de potência, Avaliação de segurança dinâmica a pequenos sinais, Análise modal, Análise de contingências, Monitoração de oscilações em sistemas de potência.

1.0 - INTRODUÇÃO

Devido à intensa busca por um atendimento adequado e seguro à demanda de energia elétrica dos países, diversos tipos de estudos devem ser realizados nos sistemas elétricos de potência, com o intuito de se realizar o seu planejamento e a sua operação de uma forma cada vez mais robusta, permitindo que esses sistemas possam operar em diversos cenários, em operação normal ou em situações de emergência, com riscos minimizados de falhas no suprimento de energia elétrica aos seus consumidores [1].

Neste contexto, surgem as avaliações de segurança de sistemas elétricos de potência, onde podem ser destacadas a avaliação de segurança de tensão (*voltage security assessment*, VSA), a avaliação de segurança transitória (*transient security assessment*, TSA) e a avaliação de segurança a pequenos sinais (*small-signal security assessment*, SSA) [1-9]. As avaliações de segurança transitória e a pequenos sinais constituem a avaliação de segurança dinâmica (*dynamic security assessment*, DSA). A TSA avalia a estabilidade transitória e perda de sincronismo de máquinas, além de violações como sobretensões, subtensões e sobrecargas, causadas por grandes distúrbios (tais como, curtos-circuitos e contingências) [1-9]. A TSA utiliza um modelo não linear do sistema e baseia-se nos resultados de simulações no domínio do tempo. Por outro lado, o principal objetivo da SSA, foco deste trabalho, é a avaliação do comportamento dinâmico em relação a oscilações do sistema, utilizando os modelos linearizados de análise de pequenas perturbações para avaliação da frequência e amortecimento das principais oscilações naturais presentes no sistema.

A manutenção da segurança dos sistemas elétricos de potência durante toda a sua operação é fundamental. Para isto é necessário que a segurança seja continuamente monitorada, de forma que a sua estabilidade possa ser sempre garantida, com o objetivo de se determinar e evitar possíveis problemas relacionados a margens de estabilidade e de segurança [1-3], minimizando os riscos de cortes de carga.

Nessas avaliações, a análise de contingências desempenha um papel fundamental para que se possa ter uma ideia do comportamento global desses sistemas, quando as principais falhas de suas redes elétricas acontecem. Através dessa análise, é possível definir reforços estruturais ou medidas operativas necessárias para que esses sistemas possam operar de forma segura, mesmo na ocorrência de determinadas situações de emergência.

Para que a avaliação de segurança do sistema apresente uma robustez adequada, a análise de contingências deve ser realizada ao longo da monitoração da estabilidade desse sistema de potência, que, por sua vez, consiste na monitoração das frequências e dos fatores de amortecimento de modos de oscilação de interesse [1], presentes no sistema monitorado, principalmente os modos eletromecânicos do tipo inter-área, que são extremamente importantes e influentes no comportamento global do sistema elétrico que está sendo analisado.

Este artigo irá focar nos desenvolvimentos realizados para análise dinâmica das oscilações naturais do sistema, tanto no que se refere a análise de contingências como na avaliação de segurança. Com esse objetivo, novas funcionalidades foram implementadas no programa PacDyn [10], desenvolvido pelo CEPEL.

Na análise de contingências do PacDyn, os estudos de estabilidade a pequenos sinais de sistemas de potência podem ser realizados considerando, além do próprio caso base, os casos modificados por diversas situações de contingências nas redes elétricas desses sistemas. Com isso, pode-se determinar, claramente, o impacto que essas contingências causam nas oscilações do sistema de uma forma automatizada.

A outra funcionalidade relacionada com a avaliação de segurança permite que seja realizada a monitoração de oscilações em sistemas de potência em tempo-real (RTMO) e, conseqüentemente, de sua estabilidade a pequenos sinais, que fornecerão importantes informações sobre o comportamento dinâmico desses sistemas. Durante a monitoração, é possível realizar a análise de contingências, permitindo identificar os estados de insegurança do sistema, que poderiam causar desligamentos e cortes de carga, caso as contingências ocorressem.

Neste trabalho também são apresentados resultados de simulações e testes realizados das novas funcionalidades do PacDyn, utilizando-se um sistema exemplo de pequeno porte, com o objetivo de se evidenciar os benefícios trazidos com as novas implementações realizadas.

2.0 - ANÁLISE DE CONTINGÊNCIAS

A análise de contingências é um estudo fundamental para se obter um melhor planejamento de sistemas elétricos de potência e, conseqüentemente, uma melhor operação desses sistemas. Neste item, são descritos maiores detalhes sobre esta nova funcionalidade no programa PacDyn.

A análise de contingências, implementada no programa computacional PacDyn, consiste na execução das diversas funções existentes neste programa, para o caso base e para diversas situações de contingências ou emergências, que são fornecidas ao programa através de um arquivo em formato texto contendo a lista de contingências a considerar. Um exemplo de um arquivo deste tipo é apresentado na Figura 1, onde cada contingência é definida por um conjunto de linhas no mesmo formato do código de execução DEVT do ANATEM.

```
( Detalhamento dos Campos
( Ident = Identificacao da contingencia
( TP = Tipo de contingencia a ser simulada no ANATEM
( No PacDyn apenas o tipo "ABCI" e utilizado para a identificacao dos dados da contingencia
( EL = Barra DE da linha de transmissao cuja contingencia sera avaliada
( PA = Barra PARA da linha de transmissao cuja contingencia sera avaliada
( NC = Numero do circuito da linha de transmissao cuja contingencia sera avaliada
( FIMCTG = Indica o fim dos dados da contingencia
CONTINGENCIA
( Ident ) (-----)
LT_0007-0008 LT_0007-0008
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und (Bl)P ( Rc ) ( Xc )
APCL 1.000000 0007 0008 1 0.50
ABCI 1.100000 0007 0008 1
FIMCTG
( Ident ) (-----)
LT_0008-0009 LT_0008-0009
(Tp) ( Tempo) ( El ) ( Pa)Nc( Ex) ( % ) (ABS ) Gr Und (Bl)P ( Rc ) ( Xc )
APCL 1.000000 0008 0009 1 0.50
ABCI 1.100000 0008 0009 1
FIMCTG
FIM
```

FIGURA 1 – Listagem de arquivo exemplo de definição de contingências para a análise do PacDyn.

A análise de contingência é acionada por meio de um botão "Ctg" criado na interface gráfica do programa, conforme mostrado na Figura 2, em destaque. Quando acionado, o programa PacDyn executa as funções escolhidas pelo usuário para o caso base (com o sistema em análise operando em condições normais, ou seja, sem contingências) e para as variadas situações de emergências (que foram previamente escolhidas e listadas pelo usuário do programa) do sistema elétrico de potência, tendo como resultados as respostas desse sistema para os diferentes cenários considerados e analisados.

Praticamente todas as funções de análise disponíveis no programa PacDyn, incluindo cálculo de polos, zeros, resíduos, mode-shapes, resposta em frequência, resposta no tempo, root-locus, podem ser utilizadas na análise de contingências. Os resultados são apresentados no programa Plot Cepel, que permite a visualização gráfica destes resultados individualmente ou em conjunto, para fácil comparação. Outro botão criado foi o de simulação não linear, realçado em vermelho, também apresentado na Figura 2, que permite a simulação das contingências pela chamada automática do programa ANATEM [15].



FIGURA 2 – Botões de análise de contingências e simulação não linear criados na interface do PacDyn.

Na Figura 3, o algoritmo da função de análise de contingências implementada no programa PacDyn é mostrado, onde é possível observar as diversas etapas desse modo de execução do programa, para que sejam obtidas as respostas do sistema em análise para todos os cenários que devem ser avaliados.

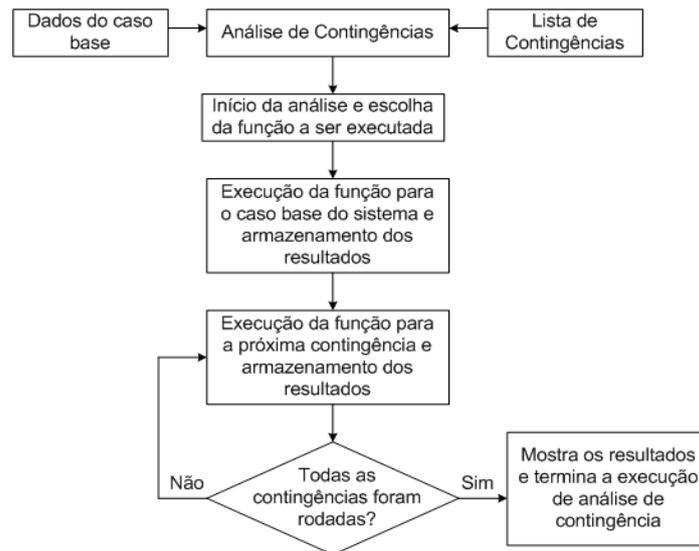


FIGURA 3 – Algoritmo da função de análise de contingências implementada no PacDyn.

Através da utilização do algoritmo mostrado na Figura 3, foi possível realizar a implementação de um modo de execução do PacDyn para a análise de contingências, que pode ser bastante explorado e pode gerar excelentes contribuições para a melhoria do planejamento e da operação de sistemas de potência.

3.0 - MONITORAÇÃO DE OSCILAÇÕES EM TEMPO-REAL

A análise de contingências, embora bastante importante, não é a única avaliação para garantir a sua segurança. A monitoração da estabilidade de sistemas de potência em tempo-real também é de fundamental importância para a manutenção da segurança do sistema de interesse. Por esse motivo, outra função foi implementada no PacDyn para a realização da monitoração de oscilações em tempo-real [1].

Através da monitoração de oscilações em tempo-real (*real-time monitoring of oscillations*, RTMO) é possível realizar essa importante monitoração da estabilidade a pequenos sinais de sistemas de potência, onde é feita a monitoração de determinados modos de oscilação presentes no sistema estudado, sendo verificados, periodicamente, os fatores de amortecimento e as frequências naturais de oscilações desses modos [1].

O principal objetivo da RTMO é verificar a existência ou a proximidade de possíveis problemas de oscilações, de forma que o operador do sistema possa reagir a tempo, com o intuito de aumentar o amortecimento dessas oscilações do sistema, mantendo sempre uma operação segura neste aspecto [1].

A monitoração de oscilações em tempo-real (*real-time monitoring of oscillations*, RTMO) implementada no programa computacional PacDyn, consiste na monitoração da estabilidade a pequenos sinais do sistema de potência de interesse, onde são monitorados os fatores de amortecimento e as frequências de determinados modos de oscilação. Na monitoração de oscilações em tempo-real, os modos de oscilação são monitorados no caso base (que representam o sistema em sua operação normal) e em diversas situações de emergências previamente escolhidas (que representam o sistema operando em contingências). O mesmo arquivo de dados da análise de contingências, apresentado na Figura 1, pode ser utilizado também na RTMO.

A janela de diálogo da RTMO, acionada de dentro da interface gráfica do PacDyn pelo menu de funções, é apresentada na Figura 4. A partir desta janela de diálogo, o usuário pode selecionar as funções que deseja que sejam executadas durante a monitoração em tempo real.

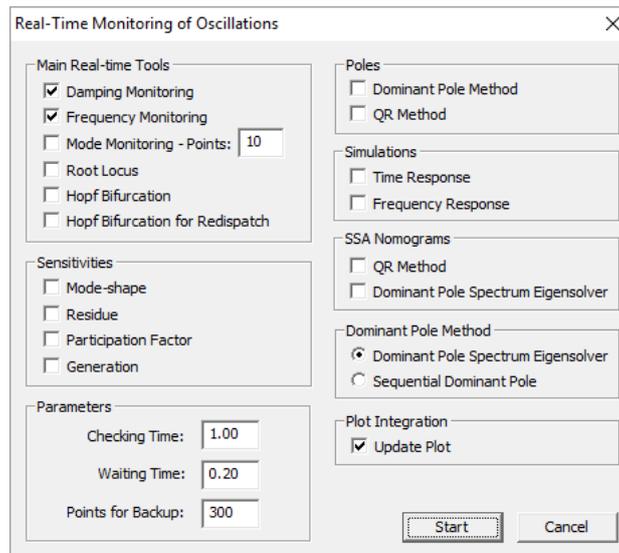


FIGURA 4 – Janela de diálogo da monitoração de oscilações em tempo real.

A RTMO é acionada pelo botão "Start" da Figura 4. Durante a RTMO, o PacDyn fica verificando os dados de fluxo de potência do sistema monitorado e, toda vez que esses dados são atualizados, o programa recalcula os modos de oscilação e todas as funções selecionadas, mostrando os resultados atualizados com as informações dos novos pontos de operação analisados no programa Plot Cepel.

Uma das funções mais importantes da RTMO é o cálculo dos modos de oscilação do sistema monitorado, através do método DPSE [11] ou SDP [12]. Outras funções que podem ser selecionadas são resposta em frequência, resposta no tempo, outros métodos de cálculo de pólos, cálculo de sensibilidades, dentre outras. As funções são executadas para o caso base e para as variadas situações de emergências do sistema de potência que está sendo monitorado, periodicamente, de tal forma que a sua estabilidade frente a pequenas perturbações seja monitorada em tempo-real, através da monitoração dos modos de oscilação presentes nesse sistema e das diversas funções disponibilizadas para monitoração no programa PacDyn.

Na Figura 5, o algoritmo da função monitoração de oscilações em tempo-real implementada no programa PacDyn é mostrada, onde é possível observar as diversas etapas desse modo de execução do programa, para que seja realizada a monitoração de modos de oscilações presentes no sistema de interesse.

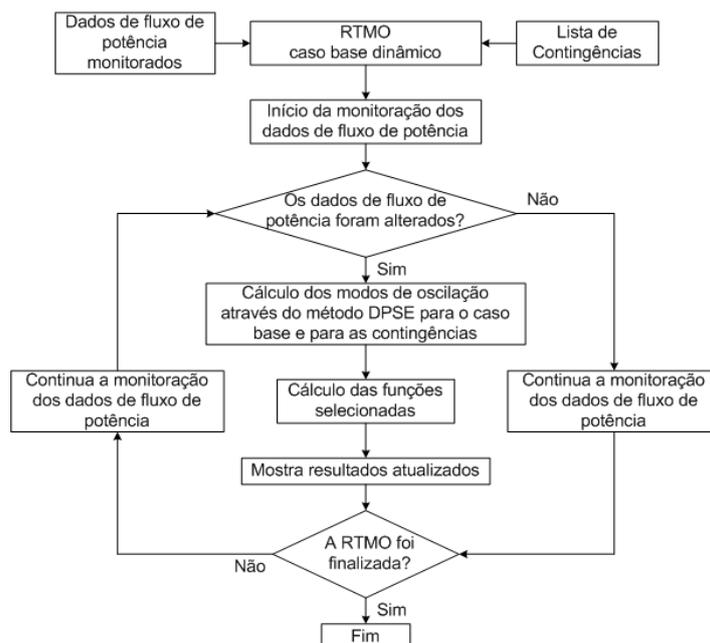


FIGURA 5 – Algoritmo da função de monitoração de oscilações em tempo-real implementada no PacDyn.

Através da utilização do algoritmo mostrado na Figura 5, foi possível realizar a implementação da monitoração de oscilações em tempo-real (RTMO) no PacDyn, para a monitoração, em tempo-real, da estabilidade a pequenos sinais de sistemas de potência, que também pode ser bastante explorada e pode gerar importantes contribuições para a melhoria da operação e da manutenção da segurança de sistemas de potência.

4.0 - SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Neste trabalho, foram realizados testes e simulações das novas funcionalidades implementadas, no programa computacional PacDyn, para a análise de contingências e para a monitoração de oscilações em tempo-real, que podem ser de grande utilidade para o planejamento e a operação de sistemas de potência.

Durante as simulações e os testes citados anteriormente, foi utilizado o sistema exemplo “Duas Áreas”, proveniente do livro do Kundur [13], porém com pequenas modificações de topologia, de carga e de despacho, em relação à sua versão original, estando bastante semelhante ao sistema utilizado em [14].

Esse sistema exemplo contém onze barramentos e quatro usinas geradoras, divididas em duas áreas elétricas (os geradores das barras 1 e 2 formam a área 1 e os geradores das barras 3 e 4 formam a área 2). O diagrama unifilar desse sistema utilizado nos testes por ser observado na Figura 6, mostrada a seguir.

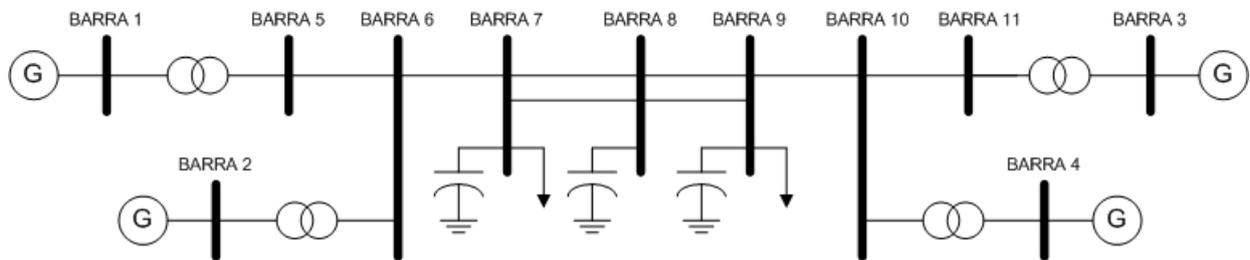


FIGURA 6 – Diagrama unifilar do sistema exemplo “Duas Áreas” utilizado nos testes e nas simulações.

4.1 Testes da Análise de Contingências

Para os testes realizados na função de análise de contingências do PacDyn, foi considerada uma pequena perturbação como evento para o caso base e foram considerados, como lista de contingências, os desligamentos de um dos circuitos das linhas de transmissão entre as barras 7 e 8, e entre as barras 8 e 9.

Foram realizados os cálculos da resposta em frequência e da resposta no tempo linear frente a uma perturbação degrau de 0.01 pu, para a função de transferência que possuía como variável de entrada o sinal de referência do regulador de tensão (VREF) da usina da barra 3 e como variável de saída a velocidade do rotor (WW) dessa mesma máquina, cujos resultados podem ser observados através das imagens apresentadas na Figura 7.

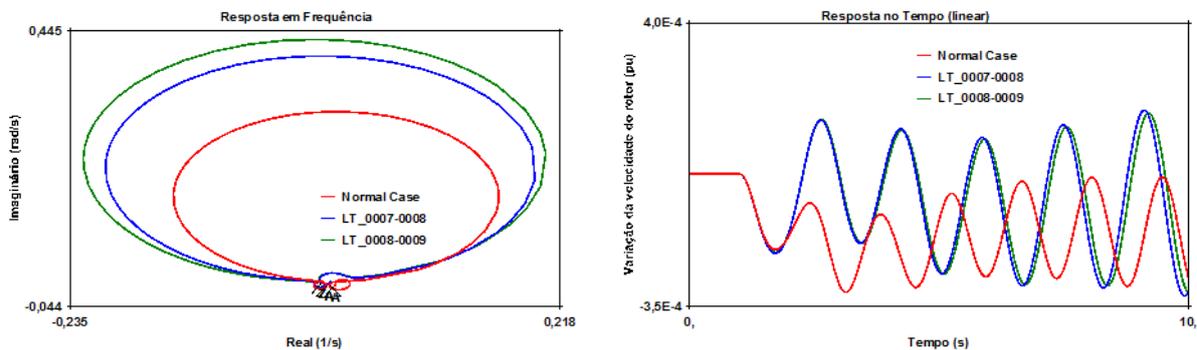


FIGURA 7 – Resposta em frequência e resposta no tempo linear.

Em seguida, foi realizado o cálculo da resposta no tempo não-linear (utilizando uma comunicação entre os programas PacDyn [10] e ANATEM [15], ambos desenvolvidos pelo CEPEL) e foram observadas as tensões terminais e as frequências das quatro usinas do sistema. Deve-se dizer que, na simulação da resposta no tempo não-linear, ainda foi considerado um curto-circuito de 100 ms no meio das linhas de transmissão consideradas na lista de contingências. Os resultados dessa simulação podem ser observados na Figura 8.

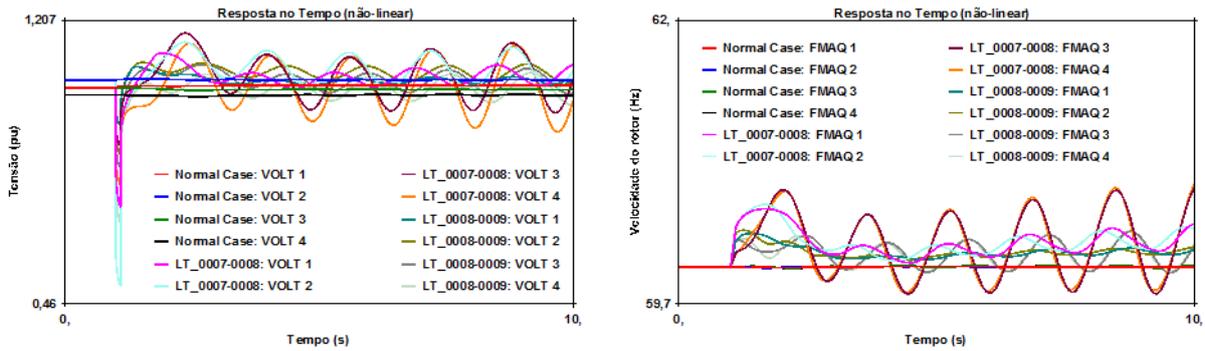


FIGURA 8 – Resposta no tempo não-linear de tensões terminais e frequências das usinas.

Foram, ainda, calculados os modos de oscilação do sistema exemplo, através do método QR [16,17], para o caso base e para as duas situações de contingências consideradas, cujos resultados podem ser vistos na Figura 9.

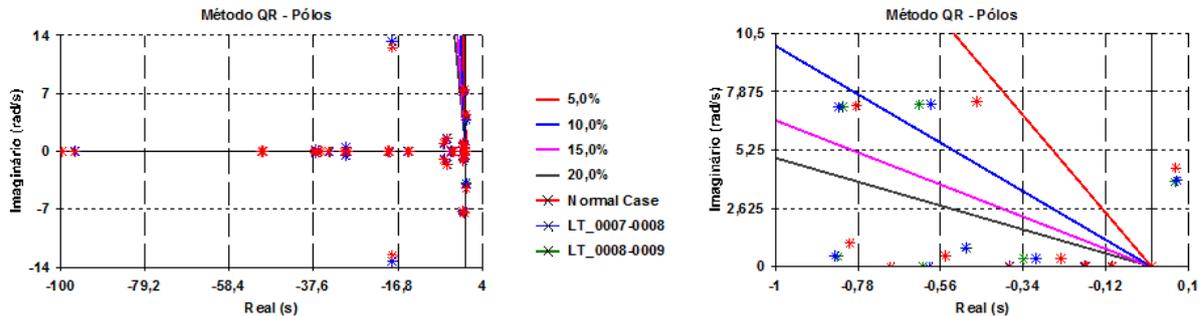


FIGURA 9 – Cálculo dos modos de oscilação do sistema, através do método QR.

Analisando os resultados da Figura 9, é possível notar a existência de modos de oscilação mal amortecidos (com fatores de amortecimento negativos). Por isso, foi realizado um reajuste de um estabilizador de sistemas de potência (PSS), utilizando o diagrama de Nyquist com amortecimento [18,19], para aumentar os fatores de amortecimento desses modos. O diagrama de Nyquist original, calculado para um fator de amortecimento 10%, e o diagrama de Nyquist compensando através do PSS projetado podem ser observados na Figura 10.

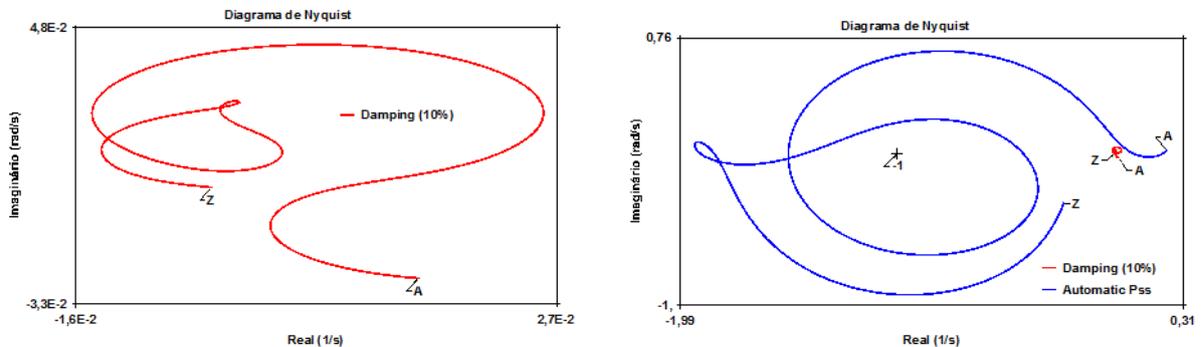


FIGURA 10 – Respostas em frequência utilizadas para o reajuste do PSS.

Em seguida, foi realizado o cálculo da resposta no tempo linear, considerando a aplicação de um degrau positivo de 0.005 pu na variável de entrada VREF do gerador da barra 1 e um degrau negativo de -0.005 pu na variável de entrada VREF do gerador da barra 3. Os gráficos das frequências de todas as quatro máquinas do sistema são apresentados no lado esquerdo da Figura 11 para o caso base e em contingência. No lado direito, é apresentada a resposta no tempo não-linear do caso base para os mesmos distúrbios e das contingências, considerando um curto-circuito trifásico franco no meio de cada linha, seguida da sua abertura, onde foram observadas as frequências das usinas, como pode ser visto na Figura 11.

Após isso, foram calculados os modos de oscilação do sistema exemplo, através do método QR, para o caso base e para as duas situações de contingências consideradas, com o estabilizador de sistemas de potência instalado na usina da barra 3, cujos resultados podem ser vistos na Figura 12, onde os modos de oscilação mal amortecidos passaram a apresentar um fator de amortecimento bem melhor (acima de 10%).

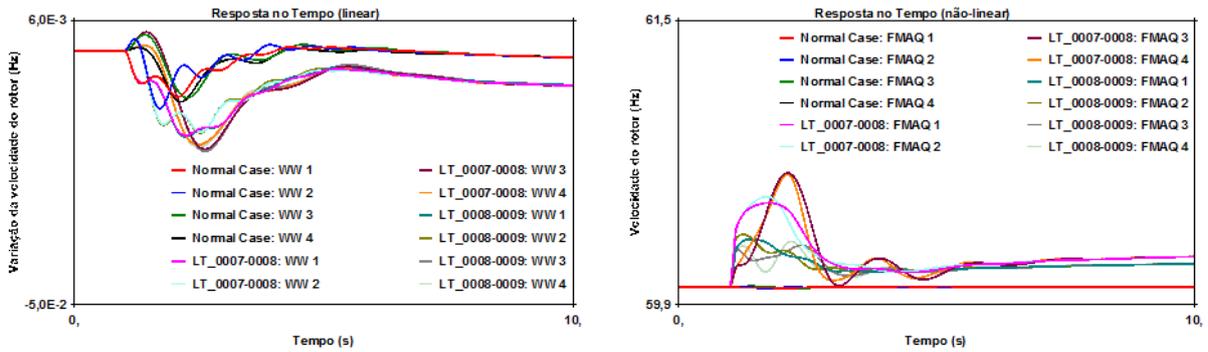


FIGURA 11 – Respostas no tempo linear e não-linear para o sistema com o novo PSS instalado.

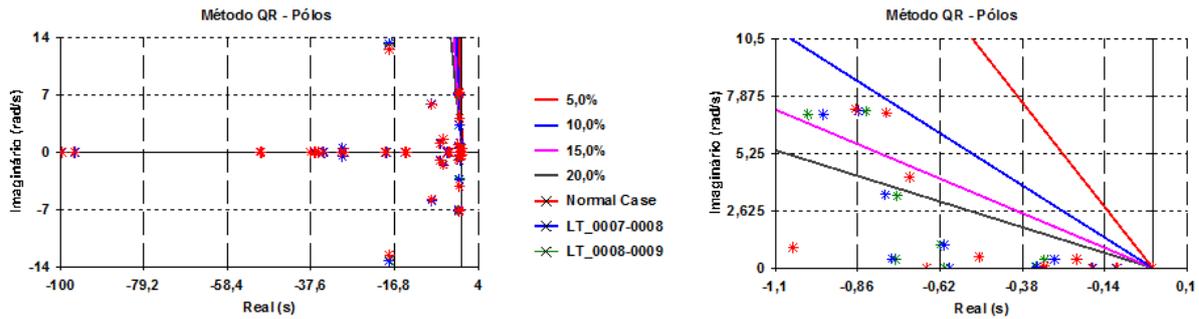


FIGURA 12 – Cálculo dos modos de oscilação do sistema com PSS, através do método QR [15,16].

Através do modo de execução de análise de contingências implementado no programa PacDyn, esse tipo de análise se torna mais automático, trazendo facilidades para o estudo da estabilidade a pequenos sinais de sistemas de potência, permitindo a determinação dos impactos causados por contingências nesses sistemas.

4.2 Testes da Monitoração de Oscilações em Tempo-real

Após os testes da função de análise de contingências, foram realizados testes na função de monitoração de oscilações em tempo-real (RTMO) do PacDyn, onde foram considerados, como lista de contingências, os desligamentos de um dos circuitos das linhas de transmissão entre as barras 7 e 8, e entre as barras 8 e 9.

Para isso, o programa PacDyn foi colocado em modo de monitoração (através da execução da função de RTMO implementada neste trabalho), onde o programa ficava monitorando os dados de fluxo de potência do sistema exemplo, de tal forma que, sempre que esses dados eram atualizados, o PacDyn recalculava o modo de oscilação monitorado, para o caso base e para as situações de emergência consideradas na lista de contingências, e atualizava os gráficos do fator de amortecimento e da frequência desse modo.

Durante a simulação de monitoração em tempo-real do sistema exemplo utilizado, foi monitorado um modo de oscilação inter-área com uma frequência de aproximadamente 4 rad/s e diversas variações dos dados de fluxo de potência desse sistema foram realizadas, de forma manual, tais como, variações nas cargas das barras 7 e 9, e variações nos despachos e nas tensões terminais em todas as usinas do sistema.

Os resultados obtidos nessa simulação de monitoração de oscilações em tempo-real do sistema exemplo, que foi submetido a diversas variações em seus dados de fluxo de potência, com o intuito de se simular diferentes pontos de operação para esse sistema, podem ser observados na Figura 13.

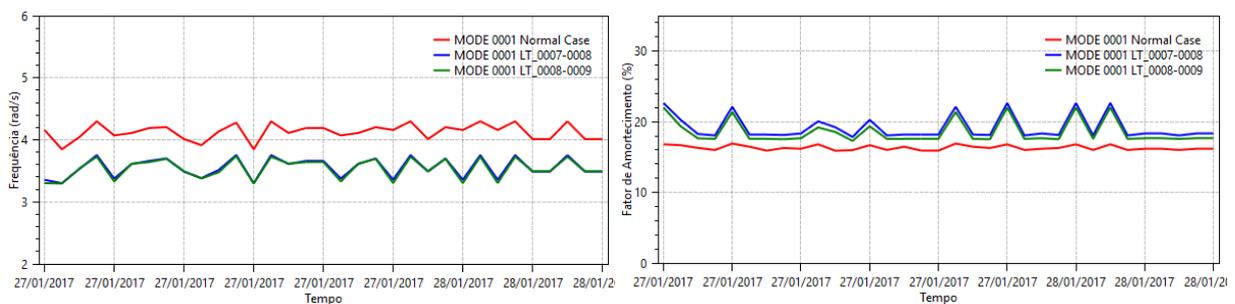


FIGURA 13 – Monitoração do modo de oscilação eletromecânica inter-área de interesse.

Através da função de monitoração de oscilações em tempo-real (RTMO) implementada no PacDyn, os operadores de sistemas de potência podem realizar a monitoração da estabilidade a pequenos sinais desses sistemas, em tempo-real, o que possibilita a melhoria de sua operação, permitindo uma operação mais segura e auxiliando na manutenção de um suprimento adequado de energia elétrica aos seus consumidores.

5.0 - CONCLUSÃO

As avaliações de segurança têm uma importância fundamental para que o planejamento e a operação desses sistemas se tornem robustos o suficiente, para que o suprimento de energia elétrica aos consumidores presentes em sua rede elétrica seja adequado e seguro. Para a execução dessas avaliações de segurança de sistemas de potência, é imprescindível que sejam realizadas as análises de contingências, que têm por objetivo determinar o comportamento dinâmico e de regime permanente do sistema que está sendo estudado, na ocorrência de situações críticas de emergência. Através da análise de contingências um melhor planejamento e uma melhor operação do sistema podem ser realizados.

Mas, para garantir um suprimento adequado e contínuo de energia aos consumidores do sistema, a monitoração de sua estabilidade em tempo-real é fundamental, pois, através dessa monitoração, é possível compreender melhor o comportamento dinâmico do sistema de potência que está sendo monitorado, nos pontos de operação atuais, em tempo-real, permitindo possíveis previsões de problemas, que podem estar associados a margens de estabilidade ou de segurança, permitindo uma melhor atuação dos operadores desse sistema de potência, visando resolver esses problemas e melhorando o seu comportamento dinâmico.

Por essas razões, foram implementadas no programa computacional PacDyn, novas funcionalidades para a análise de contingências e para a monitoração de oscilações em tempo-real (RTMO), para que a realização de avaliações de segurança dinâmica a pequenos sinais (SSA) de sistemas elétricos de potência, através da utilização desse programa, possa se tornar mais automatizada, facilitando esse tipo de análise.

Após a descrição das implementações computacionais realizadas nesse trabalho, as novas funcionalidades desenvolvidas no PacDyn foram testadas, através da utilização de sistema exemplo de pequeno porte, que possuía onze barramentos e quatro usinas geradores em sua rede elétrica.

Através dos resultados obtidos para o sistema exemplo durante os testes das ferramentas de análise de contingências e de monitoração de oscilações em tempo-real implementadas no PacDyn, foi possível notar a influência das contingências na estabilidade eletromecânica desse sistema e a importância de se realizar a monitoração em tempo-real de sistemas elétricos de potência.

Portanto, é possível concluir que as novas funcionalidades desenvolvidas no PacDyn para a análise de contingências (de forma automatizada) e para a monitoração de oscilações em tempo-real (RTMO) são extremamente importantes para a melhoria dos estudos de estabilidade a pequenos sinais de sistemas elétricos de potência. Essas novas funções implementadas no programa computacional PacDyn apresentam informações fundamentais sobre o sistema em estudo, que servem como insumos para os planejadores e para os operadores, permitindo um melhor planejamento e uma melhor operação desse sistema.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PARREIRAS, T. J. M. A., GOMES JUNIOR, S., TARANTO, G. N., NETTO, N. A. R. L., AMARAL, T. S., UHLEN, K., "Avaliação de Segurança a Pequenos Sinais de Sistemas de Potência com o PacDyn", XXIII SNTPEE, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2015.
- (2) 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.
- (3) 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 SNTPEE, Brasília, DF, Brasil, 2013.
- (4) MORISON, K., HAMADANIZADEH, H., WANG, L., "Dynamic Security Assessment Tools", Power Engineering Society Summer Meeting, p. 282-286, IEEE, 1999.
- (5) KERIN, U., BALAURESCU, R., LAZAR, F., KREBS, R., BALASIU, F., "Dynamic Security Assessment in System Operation and Planning – First Experiences", Power and Energy Society General Meeting, p. 1-6, IEEE, 2012.

- (6) WANG, L., HOWELL, F., KUNDUR, P., CHUNG, C. Y., XU, W., "A Tool for Small-Signal Security Assessment of Power Systems", International Conference on Power Industry Computer Applications, p. 246-252, IEEE, 2001.
- (7) KERIN, U., TUAN, T. N., LERCH, E., BIZJAK, G., "Small Signal Security Index for Contingency Classification in Dynamic Security Assessment", PowerTech 2011 Trondheim, p. 1-6, IEEE, 2011.
- (8) MORISON, K., WANG, L., KUNDUR, P., "Power System Security Assessment", Power and Energy Magazine, v. 2, n. 5, p. 30-39, IEEE, 2004.
- (9) ASSIS, T. M. L., "Cálculo da Capacidade de Transmissão Dinâmica em Sistemas de Potência Através de Ferramentas Integradas e Sistemas Inteligentes", Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.
- (10) CEPEL, "PacDyn - Program of Small Signal Stability Analysis and Control - Version 9.8.1 - User's Manual", Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2017.
- (11) MARTINS, N., "The Dominant Pole Spectrum Eigensolver for Power System Stability Analysis", Transactions on Power Systems, v. 12, n. 1, p. 245-254, IEEE, 1997.
- (12) GOMES JUNIOR, S., MARTINS, N., PORTELA, C., "Sequential Computation of Transfer Function Dominant Poles of s-Domain System Models", IEEE Transactions on Power Systems, v. 24, n. 2, p. 776-784, 2009.
- (13) KUNDUR, P., "Power System Stability and Control", 4 ed., New York, McGraw-Hill, 1994.
- (14) GOMES JUNIOR, S., CASTRO, A., PARREIRAS, T. J. M. A., "Integração entre o PacDyn e ANATEM para Estudos Dinâmicos de Sistemas Elétricos", XX SNPTEE, Recife, PE, Brasil, 2009.
- (15) CEPEL, "ANATEM - Programa de Análise de Transitórios Eletromecânicos - Version 10.5.1 - Manual do Usuário", Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.
- (16) FRANCIS, J. G., "The QR Transformation a Unitary Analogue to the LR Transformation - Part 1", The Computer Journey, v. 4, n. 3, p. 265-271, 1961.
- (17) FRANCIS, J. G., "The QR Transformation - Part 2", The Computer Journey, v. 4, n. 4, p. 332-345, 1962.
- (18) GOMES JUNIOR, S., MARTINS, N., PINTO, H. J. C. P., "Utilização do Método de Nyquist para a Estabilização de Sistemas de Potência Envolvendo Alocação de Par de Pólos Complexos", XII CBA, 1998.
- (19) GUIMARAES, C. H. C., TARANTO, G. N., GOMES JUNIOR, S., "Projeto de Estabilizadores de Sistemas de Potência por Posicionamento Parcial de Pólos Complexos Conjugados", XIII CBA, 2000.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



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.



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.



Tiago Santana do Amaral graduou-se em Engenharia Elétrica em 2004 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, concluiu Mestrado também em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2007 e, atualmente, cursa Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Desde 2006 é pesquisador do Cepel trabalhando na pesquisa e desenvolvimento de programas computacionais para a análise de sistemas de potência. Suas principais áreas de interesse são: confiabilidade e dinâmica e controle de sistemas de potência.