

## Grupo de Estudo de Operação de Sistemas Elétricos-GOP

### Monitoração online de oscilações de potência do SIN utilizando integração SAGE-PacDyn com validações de PMU

Marcelo Rosado da Costa (\*)  
CEPEL  
Tiago Santana do Amaral  
CEPEL  
Paulo Eduardo M. Quintão  
ONS

Alexandre Gomes Lages  
CEPEL  
Thiago J. Masseran A. Parreiras  
CEPEL  
Rafael de Oliveira Fernandes  
ONS

Sergio Gomes Junior  
CEPEL,UFF  
Hector Andrés Rodríguez Volskis  
ONS  
Renan Augusto da Costa Leites  
ONS

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar em detalhes a nova integração entre o sistema SAGE e o programa PacDyn de forma a realizar a monitoração de oscilações naturais do Sistema Interligado Nacional (SIN), utilizando dados reais do SAGE executado no Centro Regional de Operação Sudeste – COSR-SE. Além disso, o artigo pretende ainda apresentar comparações dessa monitoração baseada na análise modal realizada no PacDyn com a análise de distúrbios baseadas em medições sincrofásoriais. Essa análise é realizada por aplicativos do sistema CCPMS (*Control Center Phasor Measurement System*) do ONS.

## PALAVRAS-CHAVE

Monitoração de Oscilações, SSA, PacDyn, PMU, SAGE.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

O Sistema Interligado Nacional (SIN) possui dimensões continentais, é fortemente acoplado, e está constantemente sofrendo modificações em sua topologia, pela entrada de novos equipamentos definidos através de critérios de planejamento, falhas em equipamentos, desligamentos programados ou para melhor atendimento à demanda. Além disso, também é submetido a amplas variações dos seus pontos de operação, devido a grandes variações de intercâmbios entre suas diferentes áreas elétricas, com o objetivo do atendimento seguro, confiável e eficiente da demanda de energia, respeitando as restrições energéticas. Estas características tornam a operação do SIN bastante complexa, tanto em tempo real, como nos estudos do planejamento da operação. Um dos grandes desafios da sua operação é o conhecimento em tempo real dos modos de oscilação naturais pouco amortecidos, que podem gerar problemas de estabilidade no sistema elétrico.

Nesse sentido, foi apresentado no GOP no último SNPTTEE [1], um artigo sobre o trabalho de integração do programa PacDyn ao SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia) [2], com o objetivo de permitir a monitoração *online* de oscilações naturais do sistema, focando no aspecto de problemas de amortecimento destas oscilações. Nesse artigo, apresentou-se os detalhes da integração, que se baseava na troca de arquivos de dados entre o SAGE e o PacDyn, principalmente para envio dos pontos de operação do SAGE para o PacDyn, e envio das características dos modos de oscilação (basicamente, frequência e fator de amortecimento) para visualização gráfica no SAGE. Neste trabalho, um sistema teste de 65 barras foi utilizado como estudo de caso e prova de conceito, onde ficaram claros os benefícios desta nova funcionalidade de monitoração.

Este trabalho evoluiu desde o último SNPTTEE. Em relação aos aspectos de desenvolvimentos computacionais, a comunicação passou a ser feita por troca de mensagens, com ganhos tanto de desempenho como de segurança da informação. Esta troca de mensagens foi otimizada, minimizando o tráfego de dados na rede, além da inclusão de mensagens de avisos e alertas. Está sendo considerada a possibilidade de redundância de processos,

permitindo que múltiplas instâncias do PacDyn possam se comunicar com o SAGE na eventual falha de hardware, ou para utilização de processamento distribuído. As instâncias dos programas são transparentes para o operador, sendo automaticamente acionadas por serviços do sistema operacional. Na operação contínua, eventuais travamentos ou falhas são automaticamente detectados e restaurados pelos demais serviços que se comunicam entre si. Foi ainda desenvolvida uma nova ferramenta de visualização, própria para utilização nas salas de controle, onde os resultados da monitoração são melhor apresentados, além da possibilidade de consulta remota de forma segura. É possível ainda a interação do operador ou analista de planejamento da operação, para obtenção de pontos de operação de interesse durante a monitoração de oscilações, com o objetivo de análise *off-line* no chamado “modo de estudo”.

Um dos objetivos do artigo é apresentar em detalhes estas novas características da integração SAGE - PacDyn. Outro objetivo do artigo é a análise *online* dos modos de oscilação do SIN, utilizando dados reais do SAGE. Vem sendo desenvolvida uma avaliação de diversos modos interáreas do sistema buscando identificar quais modos são mais relevantes e importantes de serem monitorados, e análise de convergência computacional e consistência de resultados. Trabalho semelhante vem sendo desenvolvido na utilização de Unidades de Medição Fasorial (PMU – do inglês, “*Phasor Measure Unit*”), já instaladas e em fase de instalação pelos Agentes sob a coordenação do ONS, para monitoração do SIN. Essas medições sincrofatorias provenientes das PMU são enviadas ao sistema CCPMS (*Control Center Phasor Measurement System*) do ONS.

O CCPMS, em implantação no ONS no Rio de Janeiro e em Brasília, é um sistema que dispõe de um conjunto de aplicativos para tempo real e para análises de distúrbios, que se baseia unicamente em medições sincrofatorias. Neste artigo, pretende-se apresentar resultados reais da monitoração de oscilações naturais do SIN utilizando a integração SAGE - PacDyn e os resultados de PMU.

Este artigo irá contribuir de forma significativa na utilização prática destas ferramentas, expondo uma experiência técnica bastante importante desta nova tecnologia de avaliação combinada de segurança a pequenos sinais.

## 2.0 - INTEGRAÇÃO SAGE - PACDYN

A arquitetura de integração do SAGE com o PacDyn é composta de um Serviço Web denominado *DeAvs Service* (DeAvs - Dados Externos para Avaliação de Segurança) que tem como função receber e enviar os dados do aplicativo PacDyn para o SAGE, conforme apresentado na Figura 1. O *DeAvs Service* envia para o PacDyn em formato de mensagem o resultado da solução de fluxo de potência do Estimador de Estado (o conteúdo do arquivo PWF gerado no SAGE), e recebe os resultados gerados pelo PacDyn. Outra função do *DeAv Service* é de permitir a visualização dos dados utilizando uma *Interface Web* que pode ser acessada por um navegador Web e uma API (*Application Programming Interface*) de acesso para que outras aplicações possam consultar os resultados oriundos do PacDyn.

A mensagem contendo o PWF não é enviada diretamente para o PacDyn, porque entre o *DeAvs Service* e o PacDyn existe uma infraestrutura de mensagens que implementa uma fila de mensagens (*Message Queue*). O uso de uma fila de mensagens entre o serviço e o aplicativo torna a comunicação mais confiável, ao desacoplar o envio de mensagens entre o produtor (neste caso, o *DeAvs Service*) e o consumidor (PacDyn), permitindo que os mesmos possam ser ativados, desativados ou até mesmo atualizados com o sistema em operação, sem a necessidade de interrupções totais no sistema. A fila de mensagens permite que mensagens inseridas possam ser recuperadas a posteriori em momentos de falhas de comunicação ou desativação do serviço/aplicativo.

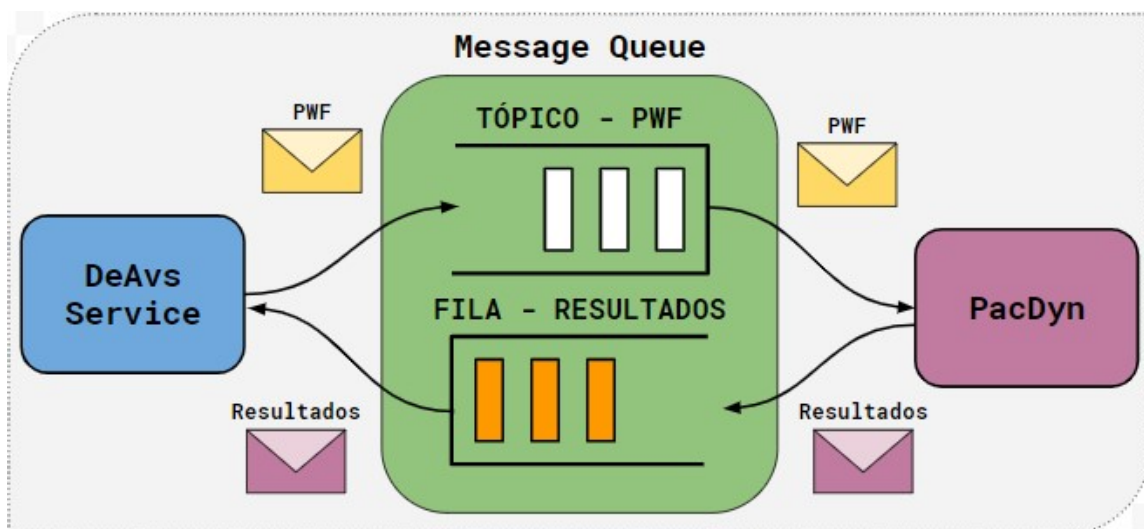


FIGURA 1 - Diagrama básico de comunicação entre o DeAvs Service e o PacDyn.

O DeAvs Service envia as mensagens contendo o resultado da solução de fluxo de potência do Estimador de Estados (arquivos PWF) para a fila de mensagens utilizando uma estrutura denominada Tópico. Um Tópico permite que uma mesma mensagem inserida pelo DeAvs Service possa ser lida por uma ou mais instâncias do PacDyn. As instâncias do PacDyn que estão ativas recebem uma cópia da mensagem enviada pelo DeAvs Service. O PacDyn, por sua vez, após processar a mensagem contendo o PWF, retornará os resultados obtidos através de uma estrutura denominada Fila, que permite somente um consumidor de mensagens, que no caso é o DeAvs Service.

Dessa forma, dentro da arquitetura é prevista a possibilidade de serem executados várias instâncias do PacDyn, que podem estar configuradas para o processamento das mensagens contendo o PWF enviados pelo DeAvs Service. Além disso, novos aplicativos podem ser integrados a mesma arquitetura, sendo somente necessária a conexão no Tópico de mensagens contendo os PWFs, sem prejuízo para as instâncias do PacDyn em execução.

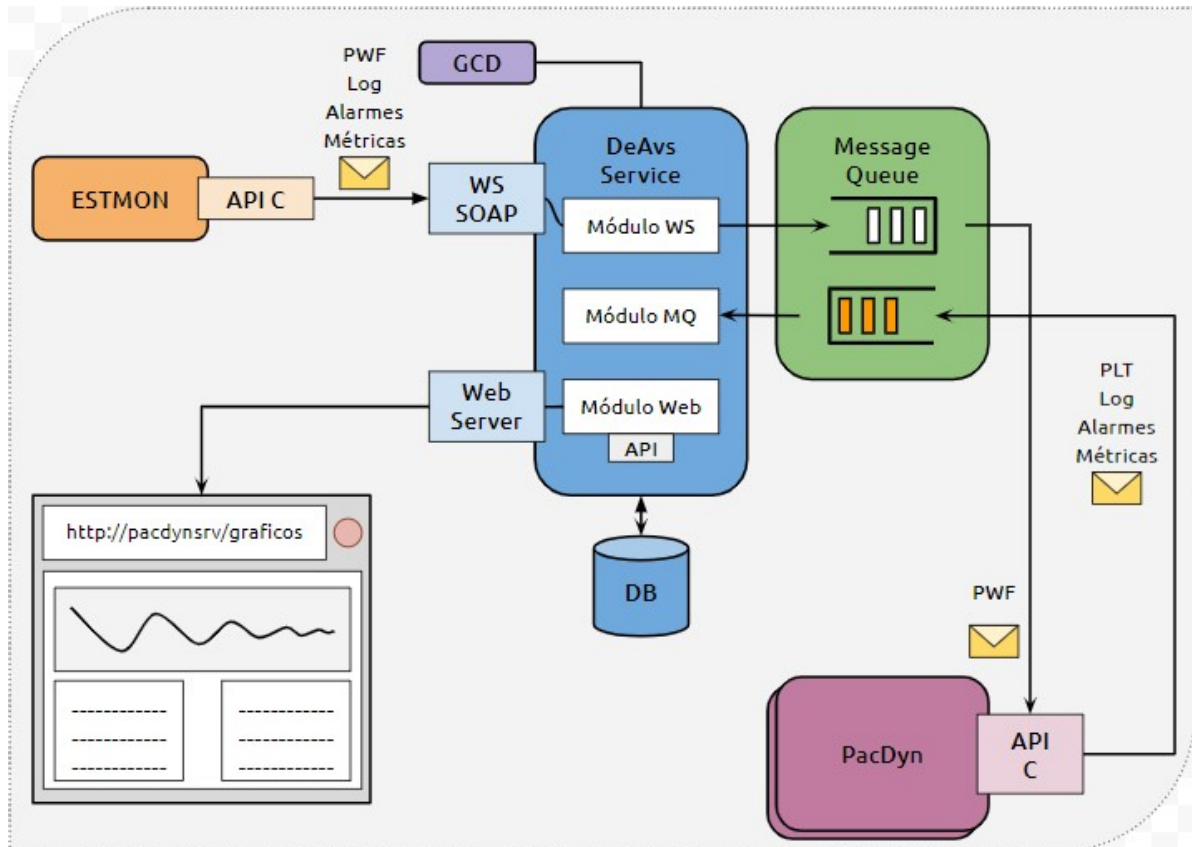


FIGURA 2 - Arquitetura completa do funcionamento da integração do SAGE com o PacDyn.

Conforme mostra a Figura 2, o Estimador de Estados (ESTMON) envia não somente os dados contendo o PWF, mas também mensagens de log, alarmes e métricas de uso (consumo de CPU, tempo de execução, etc.) para o DeAvs Service através do Módulo WS (Web Service). O Módulo WS tem como função receber as mensagens do ESTMON e enviá-las para o Tópico de mensagens no Message Queue. Uma vez inserida a mensagem no Tópico, o PacDyn é imediatamente notificado e recupera a mensagem do Tópico para poder processar a mesma. Após o processamento da mensagem contendo o PWF, o PacDyn envia uma nova mensagem para o Message Queue contendo o resultado do processamento, assim como, eventuais mensagens de log, alarmes e métricas. Estas mensagens são inseridas na Fila de resultados e são também imediatamente recuperadas pelo DeAvs Service. Estes resultados são recebidos pelo Módulo MQ (Message Queue) e são, então, armazenadas em um banco de dados local (DB). Os dados armazenados no banco de dados podem então ser visualizados através de uma Interface Web através de um navegador Web ou podem ser obtidas por outras aplicações através de uma API.

### 2.1 Interface com o PacDyn

O programa computacional PacDyn é desenvolvido pelo CEPEL e tem por objetivo a análise e o controle do amortecimento de oscilações em sistemas elétricos de potência [3]. Nos últimos anos, algumas funcionalidades voltadas para a avaliação de segurança dinâmica a pequenos sinais (*Small-signal Security Assessment - 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.

A Figura 3 apresenta um detalhamento da execução do PacDyn. Foi desenvolvido um programa de gerenciamento de dados (Data Manager Program - DMP) que trata o fluxo de informações entre a fila de mensagem e o PacDyn. O DMP gera o arquivo SAV, a partir do PWF gerado pelo SAGE, e o envia ao PacDyn para o cálculo dos modos de oscilação para o cenário atual e para uma lista de contingência de interesse, e em seguida, envia os resultados de amortecimento, frequência e alertas para a fila de mensagem.

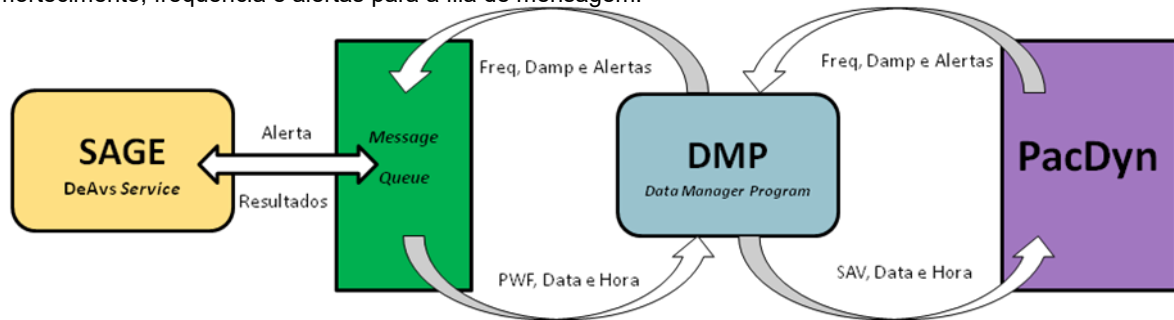


FIGURA 3 – Detalhamento de execução do DMP e do PacDyn.

Antes de iniciar a monitoração das oscilações, um especialista deve identificar os modos de oscilação, que se queira monitorar do sistema elétrico, a partir do *mode-shapes* de velocidade de forma *off-line* no PacDyn.

## 2.2 Interface da Avaliação de Segurança

A interface de Avaliação de Segurança apresenta os resultados de fator de amortecimento e frequência dos modos de oscilação numa interface Web através de um navegador (Mozilla Firefox, Google Chrome ou Internet Explorer, por exemplo), possibilitando a mobilidade de acesso a essas informações de qualquer estação de trabalho ou a partir de dispositivos móveis como tablets e smartphones. Os modos de oscilação são apresentados em função da escolha do especialista feita previamente de maneira *off-line* no PacDyn. O usuário pode filtrar a exibição de uma curva, fazer zoom, identificar os alarmes e, caso o fator de amortecimento ultrapasse um limite mínimo pré-configurado, os gráficos de frequência e amortecimento passam a exibir um conjunto de cores diferentes do modo de operação normal, com o intuito de chamar a atenção para o nível baixo do fator de amortecimento. Os valores dos gráficos são atualizados automaticamente quando novos resultados do PacDyn são recebidos a partir da fila de mensagem.

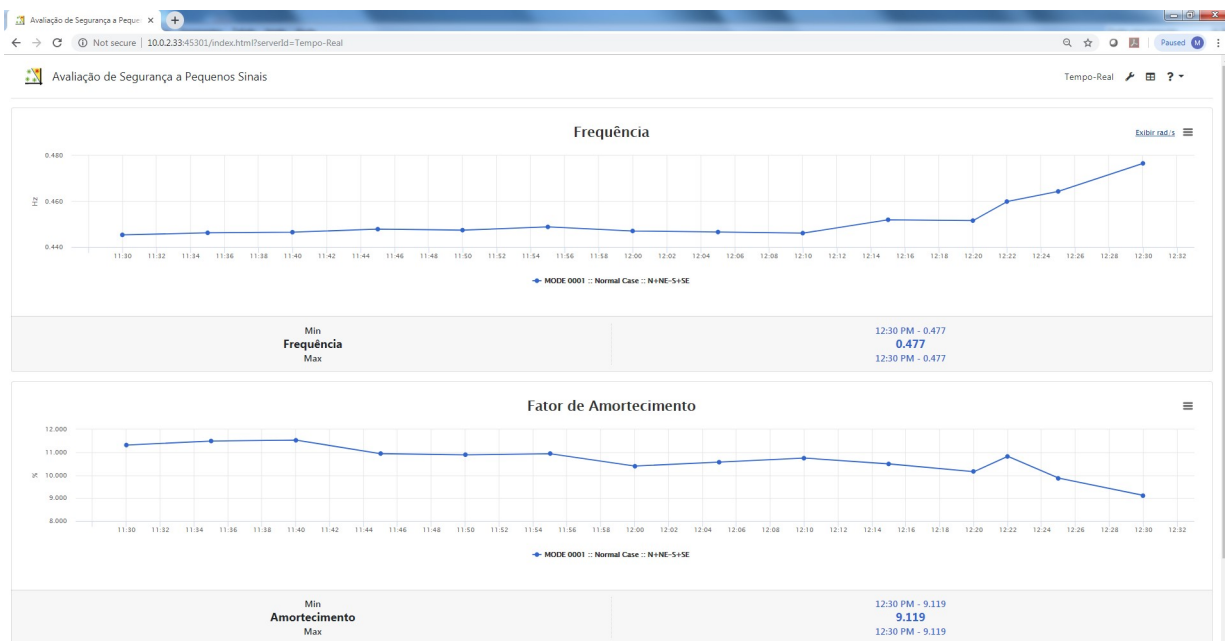


FIGURA 4 – Interface Web de Avaliação de Segurança a Pequenos Sinais.

A Figura 4 apresenta os resultados da avaliação de segurança a pequenos sinais (SSA) para o dia 12/04/2019 de 11h30min às 12h30min, a partir de dados de tempo real de um SAGE executado no CEPEL, onde foi realizada a monitoração do modo que representa oscilações que podem ser observadas entre as regiões Norte-Nordeste e as regiões Sul-Sudeste (modo de oscilação Norte-Sul).

## 3.0 - O SISTEMA CCPMS

As medições sincrofásoriais provenientes das PMU são enviadas ao sistema CCPMS (Control Center Phasor Measurement System) do ONS. O CCPMS, em implantação no ONS no Rio de Janeiro e em Brasília, é um sistema

que dispõe de um conjunto de aplicativos para tempo real e para análises de distúrbios, que se baseia unicamente em medições sincrofatorias[4]. O conjunto de aplicativos são: a detecção de violações, incluindo a visão georreferenciada, o monitoramento de oscilações eletromecânicas e a detecção automática de perturbações em tempo real.

O CCPMS é um projeto sob a responsabilidade de implantação do ONS, que prevê a instalação inicial de 181 PMU em 31 subestações da Rede Básica, estrategicamente identificadas no SIN, utilizando uma arquitetura de solução conforme apresentado na Figura 5 e com capacidade para processar até 1.000 PMU.

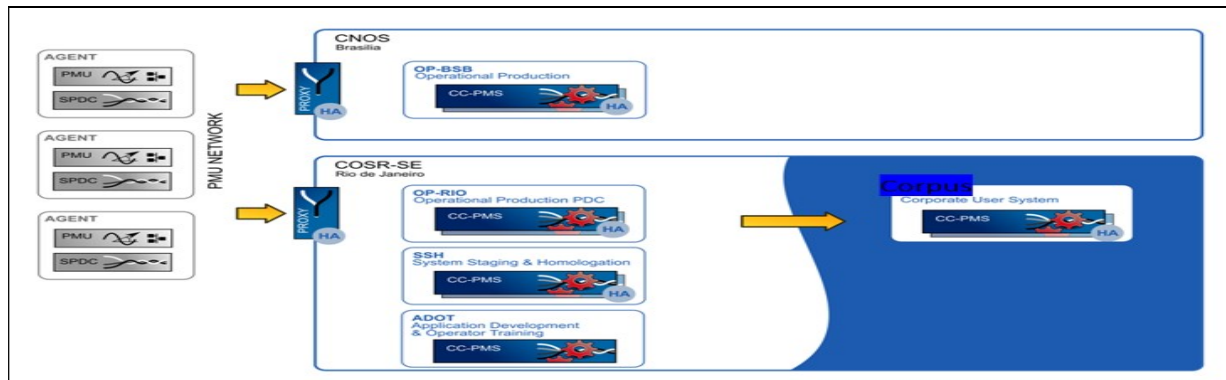


FIGURA 5 - Arquitetura de solução do sistema CCPMS

A identificação dos modos de oscilação eletromecânica é realizada através dos métodos de Prony, para dados do tipo transitórios, ou método HTLS (Hankel Total Least Squares), para dados do tipo ambiente, conforme apresentado na Figura 6.

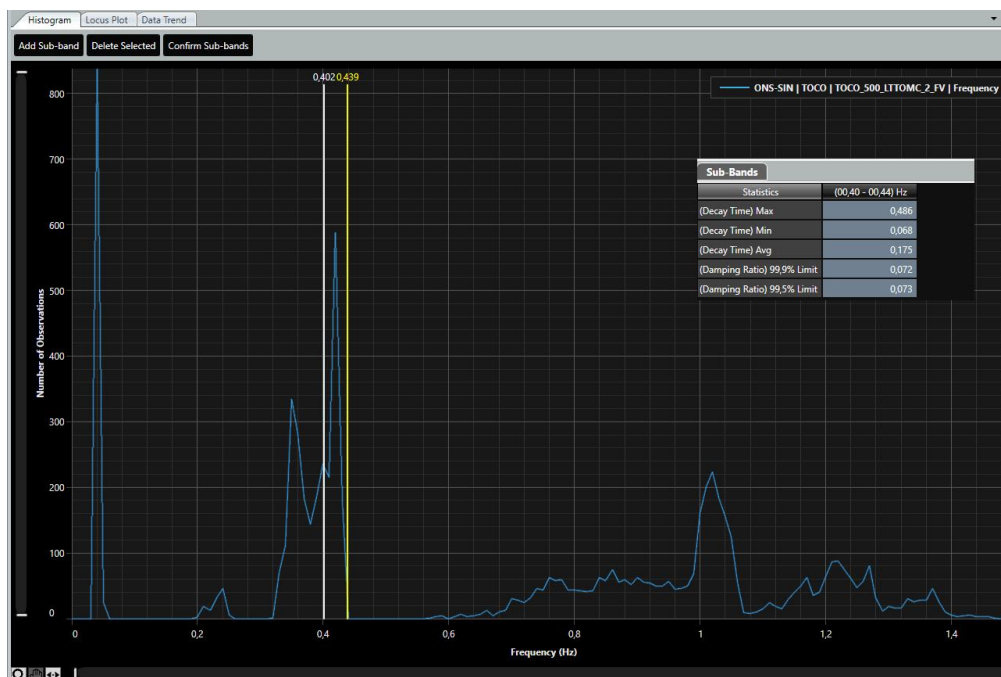


FIGURA 6 - Histograma do sistema CCPMS

#### 4.0 - RESULTADOS

Os resultados que serão apresentados no trabalho permitirão avaliar os resultados reais da monitoração de oscilações naturais do SIN utilizando a integração SAGE - PacDyn e os resultados das medições de PMU do ONS. Para realizar esta comparação, a monitoração de oscilações foi realizada focando-se em oscilações relacionadas às interligações Norte-Sul e Nordeste-Sudeste.

##### 4.1 Interligação Norte-Sul

A Figura 4 apresenta os resultados da avaliação de segurança a pequenos sinais para o dia 12/04/2019 de 11h30min às 12h30min, a partir de dados de tempo real de um SAGE executado no CEPEL. Antes de iniciar a



monitoração, a partir de estudos off-line do PacDyn, foi determinado o modo de oscilação que representa as oscilações de usinas das regiões Norte e Nordeste contra usinas das regiões Sul e Sudeste. Esse modo apresenta uma frequência de 0,44 Hz e um fator de amortecimento de 10,6%, no caso do estudo off-line.

A Figura 6 apresenta os resultados do processamento do monitoramento de oscilação eletromecânica da interligação Norte-Sul que foram obtidos pelo sistema CCPMS para o dia 12/04/2019, de 10h50min às 13h50min, através da variável de frequência da PMU de Serra da Mesa para Gurupi (C2), instalada em Serra da Mesa. A partir do histograma dos modos principais de oscilação, uma seleção de sub-banda foi escolhida de tal forma que se pudesse analisar o modo de oscilação Norte-Sul, que apresentou uma frequência de 0,42 Hz.

Os valores médios das frequências e dos fatores de amortecimento das oscilações relacionadas à interligação Norte-Sul, determinados pelo programa PacDyn e pelo sistema CCPMS, são apresentados na Tabela 1. Estes dois métodos de monitoração utilizam conceitos diferentes para realização da SSA, sendo um proveniente do modelo matemático do sistema (programa PacDyn) e o outro baseado na análise da energia (sistema CCPMS).

Tabela 1 – Resultado da Interligação Norte-Sul do dia 12/04/2019

Sistemas	Frequência (Hz)	Fator de amortecimento (%)
PacDyn	0,45	10,6
CCPMS	0,42	7,2

Observando a Tabela 1, nota-se uma pequena diferença nos resultados obtidos pelo PacDyn e pelo CCPMS. O CCPMS encontrou um modo com frequência média de 0,42 Hz e fator de amortecimento médio de 7,2%, enquanto o PacDyn encontrou um modo com frequência média de 0,45 Hz e fator de amortecimento médio de 10,6%.

Analisando-se os resultados obtidos no PacDyn e no CCPMS para o modo de oscilação Norte-Sul, pode-se dizer que as frequências encontradas pelas duas monitorações (0,45 Hz no PacDyn e 0,42 Hz no CCPMS) estão bastante próximas, apresentando diferença de, aproximadamente, 0,03 Hz. Com relação aos fatores de amortecimento, o PacDyn encontrou o valor de 10,6%, enquanto o CCPMS encontrou um valor de 7,2%. Houve uma diferença de, aproximadamente, 3,4%. Esse valor pode ser considerado aceitável, devido à complexidade em se obter os valores de fatores de amortecimento através de medições de variáveis do sistema. Por isso, é possível dizer que a monitoração realizada através do PacDyn apresentou um resultado bastante coerente com o resultado obtido pelo CCPMS, tanto para a frequência quanto para o fator de amortecimento do modo Norte-Sul.

As próximas avaliações serão realizadas para um modo de oscilação relacionado à interligação Nordeste-Sudeste. Como o CCPMS está em desenvolvimento e obtém poucos dados de PMU, a monitoração de oscilações da interligação Nordeste-Sudeste foi identificada a partir do projeto MedFasee da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) [5].

#### 4.2 Interligação Nordeste-Sudeste

A função de monitoração de oscilações naturais implementada no PacDyn e integrada ao SAGE foi executada em tempo real para realizar a monitoração de oscilações naturais do SIN, utilizando dados reais do SAGE executado no Centro Regional de Operação Sudeste – COSR-SE.

Antes de iniciar essa monitoração das oscilações, foi necessário identificar o modo de oscilação da Interligação Nordeste-Sudeste do SIN, através de uma análise off-line. Nessa análise, o seguinte modo foi obtido:

- $-1,1343 + j 5,02526$  – frequência de 0,83 Hz e fator de amortecimento de 21 %;

Calculou-se o *mode-shape* de velocidade deste modo de oscilação, que é apresentado na Figura 7, onde se verifica que a região elétrica Nordeste oscila contra a região elétrica do Sudeste, o que caracteriza esse polo como um modo de oscilação Nordeste-Sudeste.

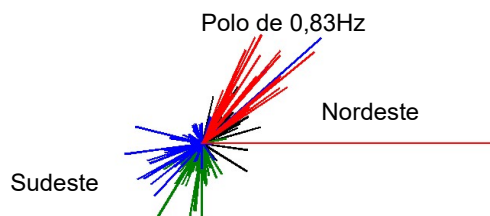


FIGURA 7 – *Mode-shape* de velocidade do modo Nordeste-Sudeste.

O resultado da avaliação de segurança a pequenos sinais em tempo real para o modo Nordeste-Sudeste foi executado no dia 17/05/2019 no período de 16h30 às 17h00, conforme Figura 8, com os fatores de amortecimento ficando em torno de 17,9 % e a frequência em torno de 0,82 Hz para o caso base. Foram consideradas duas contingências para essa monitoração: LT Imperatriz – Colinas e Transformador da SE Grajaú. Os fatores

amortecimento para os casos de contingência ficaram em torno de 18 %. Note que uma das vantagens desta ferramenta é possibilitar simular contingências no sistema elétrico e identificar os fatores de amortecimentos simulados, para que o operador possa antecipar um possível problema e possa tomar providências para colocar o sistema elétrico numa situação mais segura.

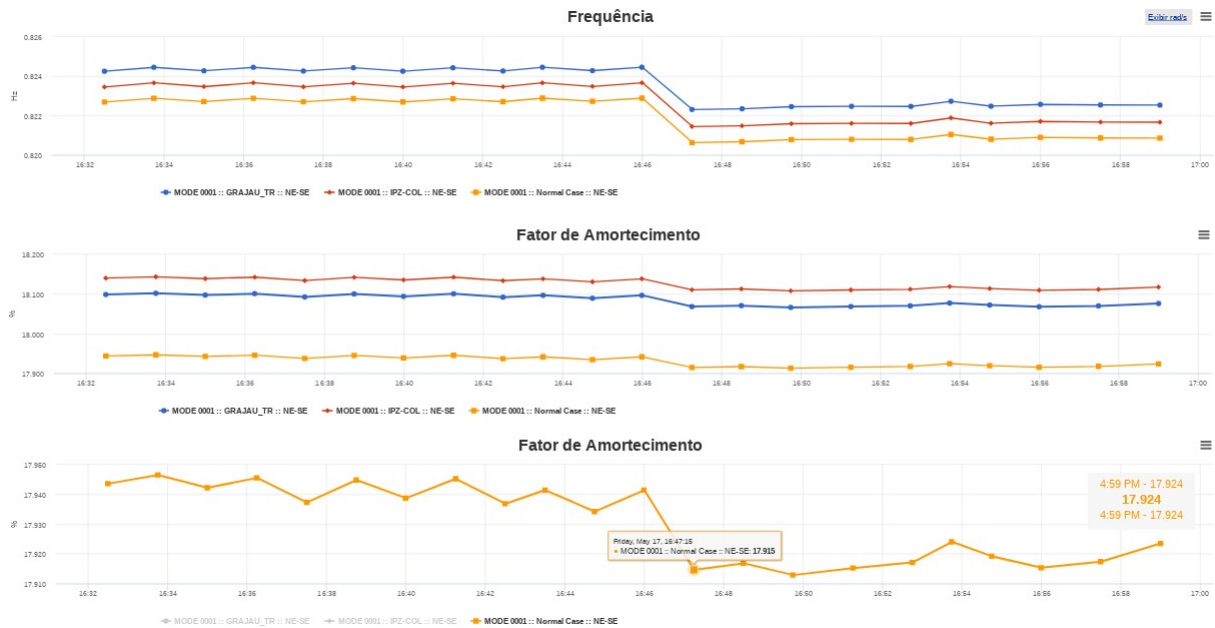


FIGURA 8 – Resultado da Avaliação de Segurança para o no dia 17/05/2019, de 16h30 às 17h00.

Para validar os resultados apresentados na Figura 8, no dia 17/05/2019, a oscilação eletromecânica de característica relacionadas à interligação Nordeste-Sudeste foi analisada a partir do MedPlot, onde o valor de frequência encontrado foi de 0,82 Hz e do fator de amortecimento foi de 19 %. Este valores foram obtidos através do sistema MedPlot para diferença angular de tensão entre o terminal da PMU Itajuba-MG e da PMU Salvador-BA, conforme Figura 9.

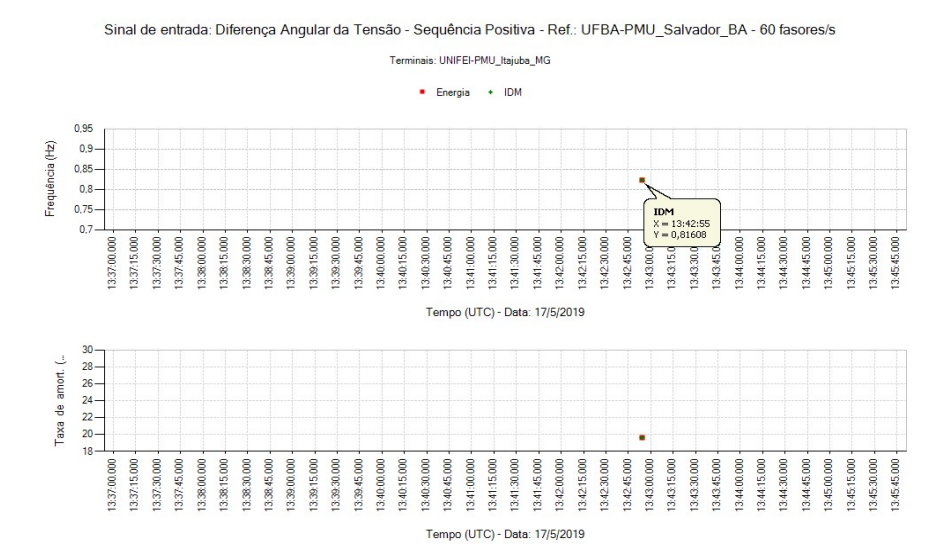


FIGURA 9 – Resultado do MedPlot do dia 17/05/2019

Nota-se, na Tabela 2, que os valores de frequência e fator de amortecimento calculados pela avaliação de segurança a pequenos sinais (via PacDyn) e pelo ModPlot apresentaram valores muito semelhantes, o que indica que a SSA implementada através da integração SAGE-PacDyn aparentemente funcionou de maneira adequada para a monitoração do modo Nordeste-Sudeste.

Tabela 2 – Resultado da Interligação Nordeste-Sudeste do dia 17/05/2019

Sistemas	Frequência (Hz)	Fator de amortecimento (%)
PacDyn	0,82	17,9

## 5.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, foi apresentado e descrito o desenvolvimento da nova integração do programa PacDyn ao sistema SAGE EMS, a partir de serviço Web, para realização da monitoração da estabilidade a pequenos sinais de sistemas de potência de pequeno ou grande porte e de seus modos de oscilação, permitindo assim acesso as informações de maneira móvel de qualquer estação de trabalho ou a partir de dispositivos móveis como *tablets* e *smartphones*.

A avaliação de segurança realizada através do PacDyn permite identificar mais claramente quais conjuntos de máquinas estão oscilando contras outras e as características dessas oscilações, como suas frequências e seus fatores de amortecimento, ao longo do período de monitoração. Além disso, essa avaliação de segurança permite também realizar a monitoração das oscilações considerando simulações de contingências, além do caso base (cenário no qual o sistema está operando no período de monitoração).

Os resultados da monitoração no PacDyn foram comparados com o MedPlot para a interligação Nordeste-Sudeste, comprovando a consistência dos resultados obtidos na simulação no PacDyn. Verificou-se ainda uma diferença aceitável nos resultados quando foi realizada uma comparação com o sistema CCPMS para a interligação Norte-Sul.

O uso combinado de ambos os sistemas de monitoração de oscilação proporcionará validar corretamente os modos de oscilação de interesse do Sistema Interligado Nacional (SIN), simular condições futuras e aumentar a consciência situacional na tomada de decisão em tempo real.

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 do PacDyn ao SAGE, são extremamente importantes para a melhoria da operação em tempo real desses sistemas.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) COSTA, M. R., GOMES JUNIOR, S., PARREIRAS, T. J. M. A., "Integração de uma Ferramenta de SSA ao Sistema EMS SAGE", XXIV SNPTEE, Curitiba, PR, Brasil, 2017.
- (2) 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.
- (3) GOMES JUNIOR, S., PARREIRAS, T. J. M. A., COSTA, M. R., QUINTÃO, P. E. M., SOARES, N. H. M., VOLSKIS, H. A. R., LEITE NETTO, N. A. R., "Avaliação Pós-Operativa de Oscilações Naturais do Sistema Interligado Nacional Utilizando Dados de Tempo Real", XXIV SNPTEE, Curitiba, PR, Brasil, 2017.
- (4) FERNANDES, R., MASSAUD, A., MUNIZ, M., DINIZ, S., Volskis, H., "Implantação do Sistema de Medição Sincronizada de Fasores no SIN e as Lições Aprendidas com o Projeto Piloto de Aquisição de PMU através do openPDC pelas Equipes de Estudo Elétrico e de Análise de Eventos do ONS", XXIV SNPTEE, Curitiba, PR, Brasil, 2017.
- (5) MANTELLI, F. M. ; DECKER, I. C. ; SILVA, P. A. S. ; LEANDRO, R. B. ; ZIMMER, V. ; VIEIRA, P. C. C. ; AGOSTINI, M. N. . Operação e Manutenção de um Sistema de Medição Sincronizada de Fasores - Experiência do Projeto MedFasee XXIV SNPTEE, Curitiba, PR, Brasil, 2017.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Marcelo Rosado da Costa graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFRJ (1993), com mestrado em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ (1998). É pesquisador do Departamento de Automação de Sistemas do CEPEL - desde 1996, atuando no desenvolvimento de aplicações de análise de redes do SAGE. 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.





Alexandre Gomes Lages graduou-se em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 2005. Em 2008 recebeu grau de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Informática, DCC/UFRJ. Atualmente é pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, atuando nos seguintes temas: Interface Homem Máquina, Integração de Aplicativos, Sistemas Web.



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 Sistemas de Potência pela COPPE/UFRJ em 2007. Atualmente é doutorando em sistemas de potência pela COPPE/UFRJ. 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, controle e modelagem computacional de sistemas de potência.



Thiago Jose Masseran Antunes Parreiras possui graduação (2009), mestrado (2012) e doutorado (2017) em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atualmente, ele é pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL). Ele tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em sistemas elétricos de potência, atuando principalmente nos seguintes temas: planejamento de sistemas de potência, modelagem de sistemas de potência, dinâmica de sistemas de potência, controle de sistemas de potência e avaliação de segurança de sistemas de potência.



Héctor Andrés Rodríguez Volskis – Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela UFF em 1984. Realizou cursos de pós-graduação em: Análise Suporte de Sistemas Computacionais pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ em 1987, Engenharia Econômica e Administração Industrial pela UFRJ em 1990 e Curso Avançado em Controle de Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC em 1994.. Atualmente está trabalhando no Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS desde 1999 como Engenheiro Especialista na área de Ferramentas de Apoio à Tomada de decisão aplicada à Supervisão e Controle em Tempo Real. Suas áreas de interesse são: Análise de Redes, Estimativa de Estado, Controles de Sistemas e Medição Fasorial.



Paulo Eduardo Martins Quintão é engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em 1993, pós-graduado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1999. Trabalhou no CEPEL no período de março de 1994 a junho de 2008. Trabalha no ONS desde julho de 2008 na Gerência de Estudos Especiais, Proteção e Controle - GPE. Participa em projetos de estabilização de sistemas através de reajustes nos controladores de unidades geradoras, além de estudos pré-operacionais de novos empreendimentos que integrarão o SIN.



Rafael de Oliveira Fernandes é engenheiro eletricitista graduado pela Universidade Federal de Itajubá com mestrado na área de Estabilidade Transitória com PMU pela Unicamp. Atualmente é Doutorando na Unicamp na área de Transitórios Eletromagnéticos. Membro Individual do Cigré-B5 e Membro Correspondente do WGB5.62 do Cigré.



Renan Augusto da Costa Leites é engenheiro eletricitista graduado em 2006 pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) com mestrado em Sistemas de Potência pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Trabalha no ONS desde julho de 2008, onde atuou nas áreas de análise de operação e operação em tempo real. Atualmente está na área de Sistemas de Supervisão e Controle (SSC) e Aplicações de Engenharia.