



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

FI/GAT/11
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

EMPREGO DE UM ESQUEMA PARA AUMENTO DA SEGURANÇA DINÂMICA DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA USANDO DADOS FASORIAIS

Marcelo Azevedo Benetti(*)
UFSC

Ildemar Cassana Decker
UFSC

Aguinaldo Silveira e Silva
UFSC

Marcelo Neujahr Agostini
Plan4 Engenharia

RESUMO

Este trabalho apresenta um esquema focado na estabilidade de pequenos sinais e desenvolvido para aumentar a segurança dinâmica de sistemas de potência, utilizando sincrofasores. O esquema compreende três módulos: monitoração das características eletromecânicas, avaliação das margens de segurança, e definição das ações de controle. Dados sintéticos são empregados, sendo quantificadas as sensibilidades que associam o amortecimento estimado com as injeções de potência ativa. Ações de controle baseadas nas sensibilidades são definidas, e aplicadas no modelo de sistema de potência. Por fim, testes são empreendidos e o desempenho do esquema, referente ao aumento da segurança dinâmica, é analisado.

PALAVRAS-CHAVE

Dados fasoriais, estabilidade de pequenos sinais, melhoria da segurança dinâmica.

1.0 - INTRODUÇÃO

Pode-se afirmar que a tecnologia de medição fasorial sincronizada (*Synchronized Phasor Measurement System – SPMS*) já está bem estabelecida como ferramenta de monitoração e análise de sistemas de potência. Caracteriza-se pela aquisição de medidas sincronizadas com alta taxa de amostragem, oriundas de pontos geograficamente distantes, fornecidas pelas unidades de medição fasorial (*Phasor Measurement Units – PMUs*). Informações sistêmicas sobre a rede elétrica e a comunicação de dados selecionados para pontos remotos são essenciais ao conceito de monitoração, proteção e controle de grandes áreas (*Wide Area Monitoring, Protection and Control – WAMPAC*), sendo a tecnologia de SPMS um importante elemento deste conceito [1].

Uma das aplicações com maior potencial é a melhoria da segurança dinâmica de sistemas elétricos de potência, em termos de estabilidade angular e de tensão. Atualmente com o uso de dados fasoriais, é natural o desenvolvimento de ferramentas para a detecção e a identificação de oscilações, estimando-se os amortecimentos e as frequências associadas. No futuro, espera-se um maior uso de sincrofasores em esquemas de controle, para a melhoria da segurança e da confiabilidade dos sistemas de potência. Na operação, além de monitorar modos de oscilação, o SPMS pode fornecer informação para ações de controle que aumentem a estabilidade de pequenos sinais [2].

Neste trabalho, apresenta-se um esquema que utiliza sincrofasores para monitorar modos eletromecânicos de oscilação, avaliar margens de segurança e quantificar ações de controle. O artigo estende os trabalhos já apresentados em [3] e [4], sendo organizado da seguinte maneira. Na Seção 2, os módulos funcionais do esquema são abordados. Na Seção 3, têm-se descritos os algoritmos implementados para a execução das funções. Os resultados de aplicação são apresentados na Seção 4. Por fim, a Seção 5 traz as conclusões do trabalho.

2.0 - ESQUEMA PARA AUMENTO DA SEGURANÇA DINÂMICA

O esquema proposto é focado na estabilidade de pequenos sinais, sendo formado por três módulos: módulo para monitoração das características eletromecânicas dos modos de oscilação, módulo para avaliação da margem de segurança do sistema de potência, e módulo para definição das ações de controle a serem empregadas para elevar o nível de segurança operacional. A Figura 1 ilustra tal esquema.

(*) LabPlan / EEL / CTC / UFSC – CEP 88040-900 – Florianópolis, SC, Brasil
Tel: (48) 3721-9731 – Email: marcelo.a.benetti@gmail.com

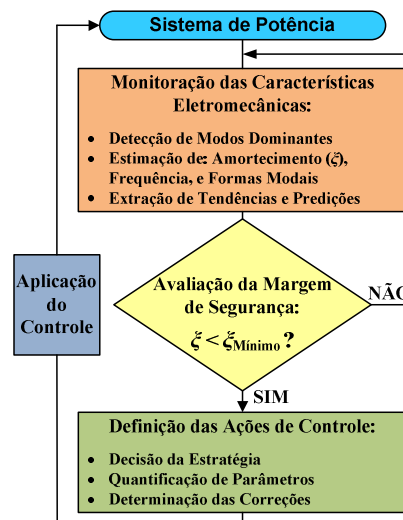


Figura 1 – Esquema para aumento da segurança dinâmica.

Na sequência, são descritas as principais características de cada módulo funcional.

2.1 Módulo para Monitoração das Características Eletromecânicas:

- Detecção de modos eletromecânicos dominantes na faixa de frequência de interesse;
- Estimação do amortecimento e da frequência para os modos dominantes detectados previamente, assim como as formas modais associadas;
- Extração de tendências e predições relativas a parâmetros elétricos da rede e ao amortecimento.

2.2 Módulo para Avaliação da Margem de Segurança:

- Processamento da informação do módulo de monitoração para calcular a margem de segurança do sistema (em termos da estabilidade de pequenos sinais), adotando o amortecimento como parâmetro de avaliação;
- Comparação entre os valores de amortecimento monitorados e um patamar mínimo preestabelecido.

2.3 Módulo para Definição das Ações de Controle:

- Decisão da estratégia de controle a ser adotada;
- Quantificação dos parâmetros necessários à execução de uma análise de sensibilidade, que associe características eletromecânicas (monitoradas) e variáveis elétricas (medidas);
- Determinação das correções a serem empreendidas pelas ações de controle no sistema de potência.

3.0 - ALGORITMOS IMPLEMENTADOS PARA A REALIZAÇÃO DAS FUNÇÕES

Para a execução das funções descritas anteriormente, um conjunto de algoritmos foi desenvolvido. A Figura 2 mostra a sequência de funções, com os respectivos módulos distribuídos ao fundo, e os algoritmos implementados.

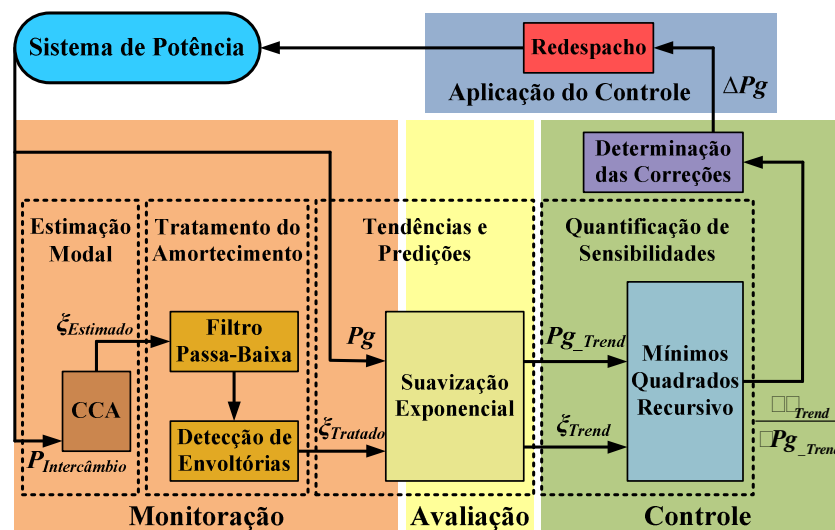


Figura 2 – Fluxograma exibindo os algoritmos desenvolvidos com as respectivas funções ao fundo.

Na sequência, os algoritmos são descritos, sendo apresentadas as características das técnicas empregadas e as rotinas de processamento.

3.1 Estimação Modal

Diversas abordagens para a detecção e a identificação de modos de oscilação têm sido propostas, sendo genericamente subdivididas em duas categorias. Métodos mais apropriados para sinais relativos a grandes perturbações (*ringdown*), e métodos usados para análise de dados de ambiente, correspondentes aos efeitos de distúrbios de pequena magnitude [5]. Neste trabalho, para a extração das características eletromecânicas dos modos, a partir de dados de ambiente, foi implementado um algoritmo que aplica a análise de correlação canônica (*Canonical Correlation Analysis* – CCA) [6]. Esta técnica, baseada na teoria de realizações de espaço de estados, proporciona bom desempenho e robustez ao algoritmo, sendo adequada aos propósitos do trabalho.

3.2 Tratamento do Amortecimento Estimado

Para tratar eventuais *spikes* e períodos de dispersão nos resultados do amortecimento estimado, dois processos de filtragem são aplicados: um filtro passa-baixa e um processo de detecção de envoltórias [7]. O algoritmo do filtro passa-baixa tem os seguintes passos:

- Defina um limite superior.
- Teste a primeira estimativa. Se ela ultrapassar o limite, calcule a média entre as duas estimativas consecutivas, abaixo do limite. Repita este processo até a obtenção de estimativas consecutivas apropriadas.
- Teste as próximas estimativas, desde a segunda até uma janela final. Se a estimativa extrapolar o limite, calcule a média entre a anterior (ajustada) e a consecutiva. Repita até que a consecutiva seja apropriada.
- Teste as estimativas da janela final. Se ela for inapropriada, calcule a média entre a estimativa anterior e a próxima. Repita até a penúltima estimativa.
- Teste a estimativa final. Se ela infringir o limite, calcule a média entre as duas anteriores.

Já o algoritmo que realiza a detecção de envoltórias pode ser sumarizado da seguinte forma, sendo ilustrados pela Figura 3 os resultados do processo:

- Obtenha as derivadas de duas estimativas consecutivas (Da , Db) e calcule $Da \cdot Db$.
- Se as derivadas não forem nulas, $Da \cdot Db < 0$, e $Da < 0$: tem-se um ponto de mínimo.
- Porém se $Da > 0$, e as condições anteriores em b) forem atendidas: tem-se um ponto de máximo.
- Se alguma derivada for nula, processamento adicional é necessário, sendo construídos dois conjuntos: pontos de entrada na condição $D = 0$, e pontos de saída de $D = 0$. A partir dos conjuntos, pontos de mínimo e máximo são identificados e localizados.
- Com os pontos de mínimo e máximo, as envoltórias do sinal são obtidas através de interpolação.
- A média entre as envoltórias de mínimo e máximo são então calculadas para toda a extensão do sinal.

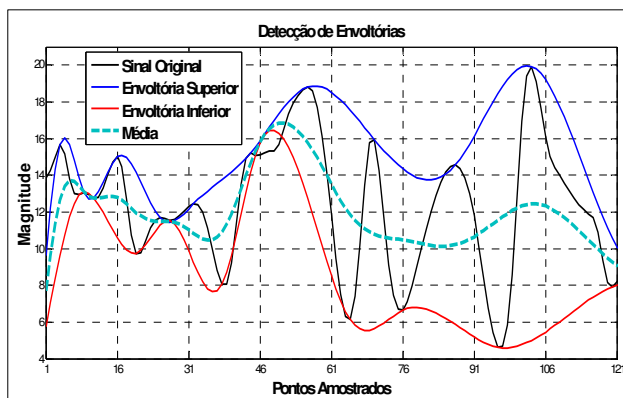


Figura 3 – Processo de detecção de envoltórias implementado.

3.3 Extração de Tendências e Predições

Os sinais de potência ativa têm componentes de variações lentas de carga; e componentes rápidas, ocasionadas por mudanças rápidas de carga e por ruídos de medição. Acerca do amortecimento estimado com dados de ambiente, observam-se períodos com variações abruptas em seu comportamento, o que é tratado pelos algoritmos descritos anteriormente. Para analisar estas formas de onda, foi desenvolvido um algoritmo que estima tendências e realiza predições futuras, quantificando tais valores. Ele se baseia na técnica de suavização exponencial, considerando a existência de nível, tendência e ruído em um sinal y , e desenvolvendo uma predição baseada na seguinte fórmula [8]:

$$F_{(t+m)} = L_{(t)} + \text{Trend}_{(t)} \cdot m, \quad (1)$$

onde $F_{(t+m)}$ é a predição para um período que está a m pontos no futuro, a partir do instante t , L é o nível do sinal, Trend é a tendência, e:

$$L_{(t)} = (\text{Alpha} \cdot y_{(t)}) + (1 - \text{Alpha}) \cdot (L_{(t-1)} + \text{Trend}_{(t-1)}), \quad (2)$$

$$\text{Trend}_{(t)} = \text{Gamma} \cdot (L_{(t)} - L_{(t-1)}) + (1 - \text{Gamma}) \cdot \text{Trend}_{(t-1)}. \quad (3)$$

Os valores de Alpha e Gamma são constantes entre 0 e +1, não sendo necessário que tenham o mesmo valor. Portanto, o algoritmo pode suavizar os componentes (nível e tendência) do sinal em diferentes taxas, permitindo uma ampla faixa de aplicações. Na Figura 4, têm-se exibidos os resultados obtidos para um determinado sinal.

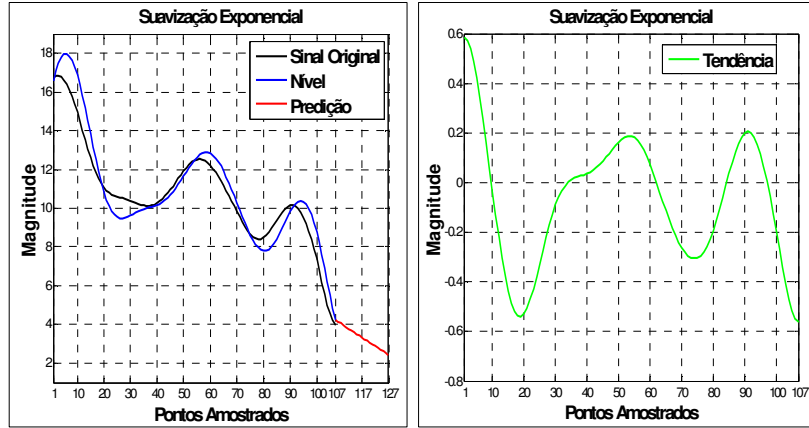


Figura 4 – Resultados do algoritmo baseado na técnica de suavização exponencial.

3.4 Quantificação de Sensibilidades

Para o cálculo das sensibilidades, são analisadas as variações das tendências de dois parâmetros: amortecimento de um determinado modo de oscilação (ξ_{Trend}), e injeções de potência ativa (Pg_{Trend}). Quando não há mudanças significativas nos pontos de operação da rede, a seguinte relação pode ser considerada [9]:

$$\begin{bmatrix} \Delta \xi_{Trend}^1 \\ \vdots \\ \Delta \xi_{Trend}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Pg_{1_Trend} & \cdots & \Delta Pg_{n_Trend} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta Pg_{1_Trend}^m & \cdots & \Delta Pg_{n_Trend}^m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \partial \xi_{Trend} / \partial Pg_{1_Trend} \\ \vdots \\ \partial \xi_{Trend} / \partial Pg_{n_Trend} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

onde $\Delta \xi_{Trend}$ se refere à mudança na tendência do amortecimento estimado, ΔPg_{Trend} representa as variações na tendência da potência ativa injetada pelos geradores, $\partial \xi_{Trend} / \partial Pg_{Trend}$ corresponde às sensibilidades a serem calculadas, n é o número de geradores, e m o número de estimativas analisadas.

No processo de estimação das sensibilidades, a Equação (4) pode ser representada como um problema de mínimos quadrados recursivo [10], sendo modelada da seguinte forma:

$$[z]_{(m) \times (1)} = [H]_{(m) \times (n)} \cdot [x]_{(n) \times (1)}, \quad (5)$$

onde o vetor z se refere ao conjunto de m observações, H denota a matriz de medições, e x representa o vetor de n estados.

Nesta estrutura recursiva, quando se tem $m \geq n$, a primeira estimativa é obtida a partir de:

$$x^*(m) = (H^T \cdot H)^{-1} \cdot H^T \cdot z. \quad (6)$$

Seja z_{m+1} uma nova observação, e h_{m+1}^T a $(m+1)$ ésima coluna da matriz de medições expandida, a Equação (5) pode ser expandida sob a forma de uma relação particionada matriz-vetor:

$$\begin{bmatrix} z \\ z_{m+1} \end{bmatrix}_{(m+1) \times (1)} = \begin{bmatrix} H \\ h_{m+1}^T \end{bmatrix}_{(m+1) \times (n)} \cdot [x]_{(n) \times (1)}. \quad (7)$$

A fórmula final para o cálculo de um novo valor de sensibilidade é dada então por:

$$x^*(m+1) = x^*(m) + \left[\frac{(H^T \cdot H)^{-1} \cdot h_{m+1}}{1 + h_{m+1}^T \cdot (H^T \cdot H)^{-1} \cdot h_{m+1}} \right] \cdot [z_{m+1} - h_{m+1}^T \cdot x^*(m)]. \quad (8)$$

Desta forma, o processo de cálculo das sensibilidades pode ser realizado de forma *online*, sendo atualizado à medida que uma nova estimativa é agregada à análise.

4.0 - RESULTADOS DE APLICAÇÃO

Os algoritmos referentes aos módulos funcionais foram desenvolvidos em plataforma Matlab. Na sequência, um caso de aplicação é descrito para analisar o desempenho do esquema proposto.

4.1 Geração de Dados Sintéticos

Para a geração dos dados de entrada, foram utilizados *softwares* do CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), em versões acadêmicas.

4.1.1 Sistema Teste Empregado

Na Figura 5, o modelo de sistema de potência empregado é mostrado. Este sistema em 230 kV é composto por 4 geradores e 11 barras, tendo um interconexão entre as duas áreas. A Área 1 exporta energia para a Área 2. Dados completos deste sistema estão disponíveis em [11]. Todos geradores são equipados com reguladores automáticos de tensão (*Automatic Voltage Regulators* – AVR), estabilizadores de sistema de potência (*Power System Stabilizers* – PSSs) e reguladores de velocidade. Os PSSs dos geradores pertencentes à Área 2 tiveram seus ganhos reduzidos a 37.5% dos seus valores originais.

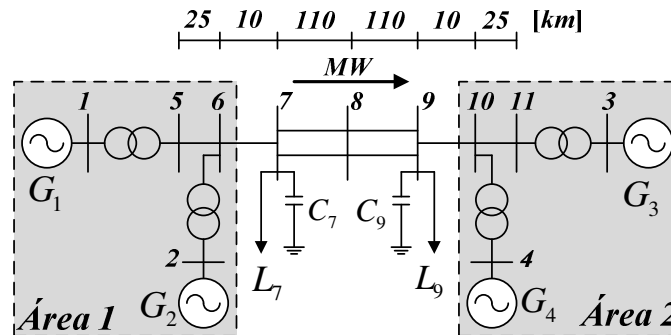


Figura 5 – Modelo de sistema de potência.

4.1.2 Ferramentas Computacionais

Os dados de entrada foram produzidos a partir dos seguintes *softwares*:

- Anarede – para a realização do fluxo de potência;
- Anatem – para a geração dos registros de dados fasoriais;
- PacDyn – para a validação das características modais estimadas.

4.1.3 Curva de Carga Utilizada

Os distúrbios de pequena magnitude de um sistema de potência real em estado permanente (dados de ambiente) são representados por uma curva de carga, através do *software* Anatem. Para a obtenção das características estocásticas desta curva de carga, um algoritmo gerador de números aleatórios foi desenvolvido em Matlab [12]. O algoritmo pode ser descrito da seguinte maneira:

- Selecione o módulo m , um número primo inteiro de valor elevado.
- Selecione um multiplicador a (um inteiro na faixa de: $2, 3, \dots, m-1$).
- Gere a sequência inteira z_1, z_2, z_3, \dots através da equação iterativa: $z_{n+1} = f(z_n)$.
- Defina a função geratriz $f(\cdot)$ para todo o conjunto z , na faixa de $1, 2, \dots, m-1$, onde: $f(z) = a.z.mod(m)$.
- Inicie a sequência de z'_s , escolhendo um semente inicial z_1 na faixa de: $1, 2, \dots, m-1$.
- Crie uma sequência normalizada para o intervalo unitário, através de: $u_n = z_n/m$ para $n = 1, 2, 3, \dots$

Para analisar o comportamento do modo interárea, a potência ativa da carga da Barra 9 é alterada. Esta barra, inicialmente com valor de 1617 MW, tem sua magnitude modificada por 54 minutos, sendo impostas ao sistema de potência 6480 mudanças aleatórias de carga, com magnitude de 1% da carga total do sistema.

A Tabela 1 mostra os valores de frequência e amortecimento do modo de oscilação interárea para o caso base (Barra 9 com 1617 MW), obtidos com o *software* PacDyn.

Tabela 1 – Características do modo interárea fornecidos pelo PacDyn.

Frequência (Hz)	Amortecimento (%)
0.7308	10.426

Na Figura 6, têm-se ilustrados os valores de potência ativa da Barra de Carga 9, fornecidos pelo *software* Anatem, para todo o período de simulação.

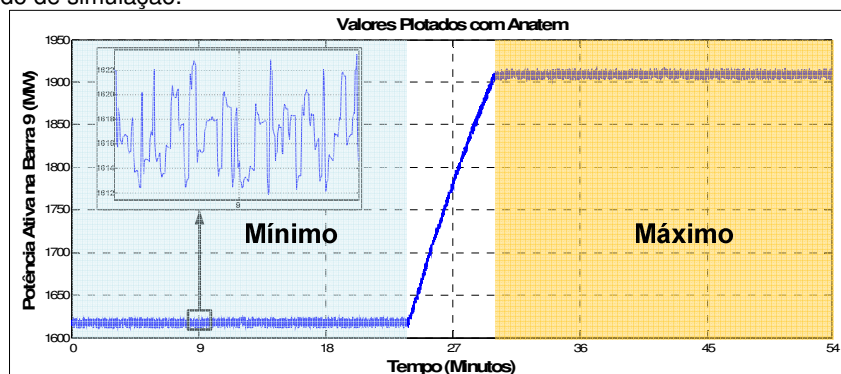


Figura 6 – Potência ativa da Barra 9 para 54 minutos de simulação.

4.2 Monitoração do Modo Interárea

Como primeira ação do esquema proposto, o comportamento do modo interárea é analisado, estimando-se sua frequência e seu amortecimento a partir da técnica CCA. Os resultados obtidos são exibidos na Figura 7.

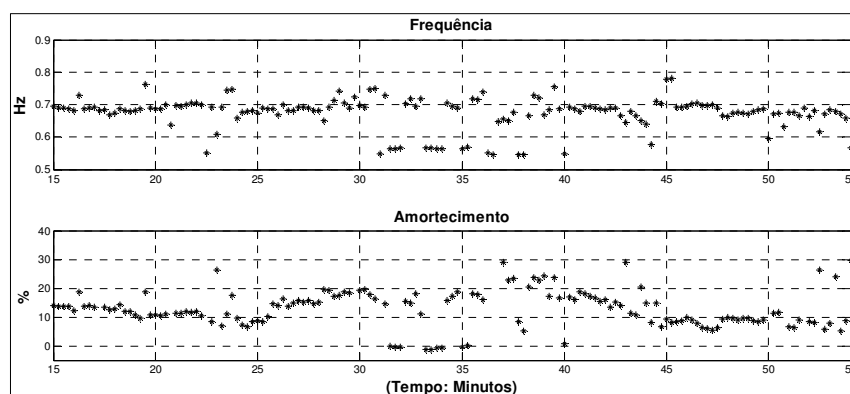


Figura 7 – Estimação das características do modo interárea usando CCA.

Durante o processo de estimativa, janelas deslizantes contendo 8320 pontos (15 minutos) são utilizadas, sendo atualizados 138 pontos (15 segundos) a cada iteração, o que fornece um total de 157 estimativas. Como sinal de entrada, o fluxo de potência ativa do intercâmbio dentre as duas áreas é empregado, com taxa de amostragem de 9.22 Hz. Pode-se verificar que os valores de frequência e amortecimento estão próximos à referência para o caso base, o que valida a implementação. Também se observa certa dispersão nos resultados. Tal fenômeno é influenciado pela rampa de carga imposta ao sistema, com 6 minutos de duração que eleva a carga da Barra 9 em aproximadamente 300 MW.

O amortecimento estimado, e representado na Figura 7, é tratado por dois filtros. Primeiramente, o filtro passa-baixa com um limite de 20 é empregado, sendo posteriormente aplicado o processo de detecção de envoltórias para diminuir a dispersão da forma de onda. Na sequência, o algoritmo baseado na técnica de suavização exponencial é utilizado para estimar os valores de tendência do amortecimento e também das injeções de potência ativa. Tais valores de tendência serão utilizados, na sequência, para a quantificação das sensibilidades.

4.3 Avaliação da Margem de Segurança

Para avaliar a segurança dinâmica do sistema de potência estudado, o comportamento do amortecimento referente ao modo interárea é analisado. A Figura 8 mostra os valores de nível e predição obtidos com o algoritmo de suavização exponencial para dois sinais de entrada: amortecimento após o filtro passa-baixa, e amortecimento após a detecção de envoltórias.

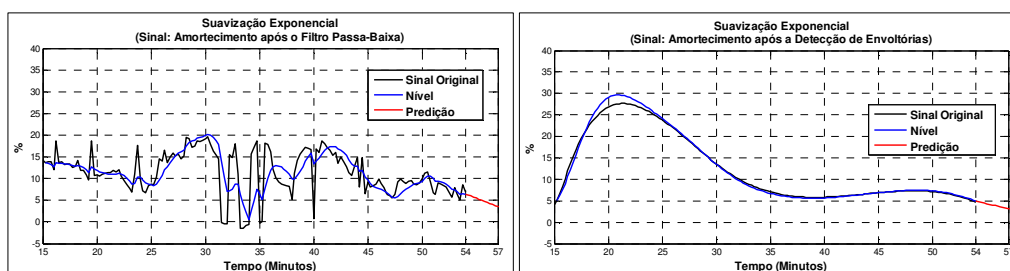


Figura 8 – Predições estimadas para o amortecimento.

Pode-se verificar que ambos os sinais indicam, através das predições estimadas, tendência de queda no comportamento do amortecimento estimado, observando-se também na parte final da análise períodos contendo valores inferiores a 10%, patamar mínimo estabelecido. A partir disso, o módulo funcional seguinte é disparado para definir ações de controle que melhorem a margem de segurança operacional do sistema de potência.

4.4 Definição das Ações de Controle

A ação de controle selecionada é o redespacho de geradores. Para quantificar esta ação, são calculadas as sensibilidades (S) que relacionam: as mudanças na tendência do amortecimento tratado, com as variações na tendência das injeções de potência ativa, ou seja, $S = \partial \xi_{Trend} / \partial P_{g_Trend}$. Os valores de sensibilidade ao longo de todo o período de análise são expostos na Figura 9.

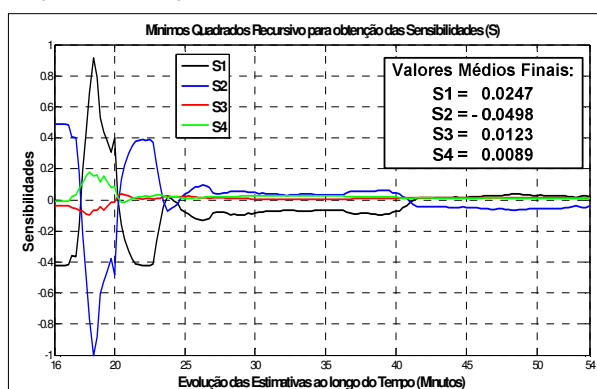


Figura 9 – Sensibilidades obtidas com o algoritmo de mínimos quadrados recursivo.

Pode-se observar que as estimativas de sensibilidade alcançam níveis próximos de seus valores finais na segunda metade do período analisado. Para realizar o redespacho de geração, é empregada a média das estimativas finais, considerando-se os 10% últimos valores, pelo fato de que o maior número de observações implica em estimativas mais precisas na técnica de mínimos quadrado recursivo. Tais valores médios estão ilustrados na própria Figura 9.

4.5 Aplicação do Controle

Para o redespacho, as mesmas mudanças de carga na Barra 9 são impostas ao sistema de potência durante 54 minutos de simulação. Para verificar a efetividade das sensibilidades calculadas, modificam-se os parâmetros dos geradores, tendo-se por base os valores médios das sensibilidades finais. O Gerador 2 tem diminuída sua potência inicial, sendo o aumento de carga imposto ao sistema compensado pelos demais geradores. O estatismo destes geradores é alterado, fazendo com que aquele com maior valor de sensibilidade absorva em maior quantidade o aumento de carga. A Tabela 2 mostra os valores médios de potência ativa dos geradores e das barras de carga nos patamares de mínimo e máximo carregamento, para o despacho e o redespacho.

Tabela 2 – Valores médios de potência ativa.

Potência (MW)	Despacho		Redespacho	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
G1:	525	591	750	867
G2:	700	766	483	483
G3:	719	785	719	793
G4:	700	766	700	769
Barra 7:	967	907	967	907
Barra 9:	1617	1910	1617	1910

As características eletromecânicas do modo interárea são então novamente estimadas. A Figura 10 exhibe os resultados da parte final do período de análise, pois neste período o sistema de potência atingiu já o patamar de máximo carregamento, permitindo que os resultados estimados tenham menor dispersão.

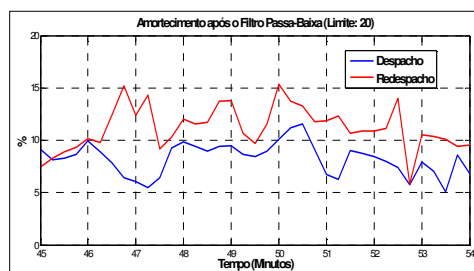


Figura 10 – Comparação entre o amortecimento estimado para o despacho e o redesenho. São utilizados valores do amortecimento após o filtro passa-baixa com limite de 20 para melhor comparação dos resultados. Pode-se perceber um acréscimo nos valores obtidos a partir do redesenho. Tal resultado mostra que o esquema proposto, para este estudo de caso, se mostrou eficaz na melhoria da margem operacional do sistema.

5.0 - CONCLUSÕES

Neste trabalho, os principais aspectos de um esquema para melhoria da segurança dinâmica, em termos da estabilidade de pequenos sinais, foi apresentado. O uso de um modelo de sistema de potência tem o propósito de validar as técnicas abordadas, pois elas podem ser exploradas em diferentes cenários e configurações, uma vez que se trata de um avançado conjunto de ferramentas.

Em relação ao arranjo apresentado, pode-se afirmar que a estimação modal para dados de ambiente continua um desafio. Muitos fatores afetam o desempenho do processo, tais como: a técnica empregada, o tamanho da janela de dados, e o grau de excitação do modelo de sistema de potência. Para o tratamento dos resultados estimados, são necessárias técnicas que suavizem períodos de alta dispersão e calculem valores de tendência e de predição. Por fim, acerca da quantificação das sensibilidades, verifica-se a necessidade de implementação de um processo iterativo de estimação, que possa ser atualizado de forma *online*, proporcionando ao operador, ou a um esquema automático de controle, a capacidade de rápida atuação no sistema de potência.

6.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio de CAPES, ONS, e CTEEP. Este trabalho faz parte dos desenvolvimentos do projeto de P&D intitulado “Sistema piloto para avaliação automática de segurança dinâmica baseado em regiões de segurança e medição fasorial sincronizada”, parceria entre LabPlan/UFSC, HPPA e CTEEP.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. C. Decker, M. N. Agostini, A. S. e Silva, and D. Dotta, “Monitoring of a Large Scale Event in the Brazilian Power System by WAMS,” in *Proc. VIII iREP Symp. – Bulk Power System Dynamics and Control*, Rio de Janeiro, RJ, pp. 1-8, 2010.
- [2] D. Dotta, A. S. e Silva, and I. C. Decker, “Wide-Area Measurements-Based Two-Level Control Design Considering Signal Transmission Delay,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, no. 1, pp. 208-216, Feb. 2009.
- [3] M. A. Benetti, I. C. Decker, A. S. e Silva, M. N. Agostini, e T. Jeremias, “Aplicação de Dados de Medição Fasorial Sincronizada na Avaliação da Segurança Dinâmica de Sistemas Elétricos de Potência,” em *XXII SNTPEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, Brasília, DF, pp. 1-9, 2013.
- [4] M. A. Benetti, I. C. Decker, A. S. e Silva, e M. N. Agostini, “Avaliação e Melhoria da Segurança Dinâmica de Sistemas Elétricos de Potência Utilizando Sincrofasores,” em *XIII SEPOPE – Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica*, Foz do Iguaçu, PR, pp. 1-10, 2014.
- [5] A. R. Messina, *Inter-area Oscillations in Power Systems: A Nonlinear and Nonstationary Perspective*. New York: Springer, 2009.
- [6] T. Katayama, *Subspace Methods for System Identification*. Germany: Science+Business Media, 2005.
- [7] A.-O. Boudraa, J.-C. Cexus, “EMD-Based Signal Filtering,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 56, no. 6, pp. 2196-2202, Dec. 2007.
- [8] J. T. Mentzer, “Forecasting with Adaptive Extended Exponential Smoothing,” *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 16, no. 3&4, pp. 62-70, 1988.
- [9] Ning Zhou, Zhenyu Huang, F. Tuffner, D. Trudnowski, and W. Mittelstadt, “A Modified Stepwise Linear Regression Method for Estimating Modal Sensitivity,” in *Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, CA, 2011, p. 1-7.
- [10] J. M. Lewis, S. Lakshmivarahan, S. Dhall, *Dynamic Data Assimilation – A Least Squares Approach*. Cambridge University Press, 2006.
- [11] P. Kundur, *Power System Stability and Control*. New York: McGraw-Hill, 1994.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Marcelo Azevedo Benetti:

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - 2007 - e mestrado em Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), vinculado ao Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica (LabPlan) - 2009. Tem experiência acadêmica na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Medição, Controle, Correção e Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, tendo atuado como Engenheiro do Departamento de Relacionamento com Clientes Corporativos da Rio Grande Energia (RGE), empresa vinculada ao Grupo CPFL Energia. Atualmente desenvolve suas pesquisas de doutorado na UFSC, participando também de projetos de pesquisa e desenvolvimento.

Ildemar Cassana Decker:

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Pelotas (1979), mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1984) e doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1993). Desde 2003 coordena os projetos de P&D do LabPlan/UFSC relacionados ao desenvolvimento e aplicação de técnicas de medição sincronizada de fasores, tendo liderado o desenvolvimento e implementação pioneira de dois protótipos, um na baixa tensão cobrindo as 5 regiões geográficas do país, e o outro no sistema de transmissão da CTEEP. A área principal de interesse em pesquisa atualmente é dinâmica e controle de sistemas elétricos de potência, com ênfase na aplicação de técnicas de medição sincronizada de fasores.

Aguinaldo Silveira e Silva:

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (1977), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1982) e doutorado pela *University of Manchester Institute of Science and Technology* (1990). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Medição, Controle, Correção e Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: sistemas de potência, estabilidade para pequenas perturbações, medição fasorial, projeto de controladores e programação orientada a objetos.

Marcelo Neujahr Agostini:

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, 1996) e doutor em Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 2002). Participa do Projeto MedFasee desde 2002, projeto pioneiro no desenvolvimento da tecnologia de medição fasorial no Brasil. Áreas principais de interesse: medição fasorial sincronizada, modelagem e dinâmica de sistemas elétricos, modelagem orientada a objetos, engenharia de *software* e computação de alto desempenho aplicadas a sistemas elétricos.