

Identificação do Número Mínimo de Unidades de Medição Fasorial Sincronizada (PMU) para o Monitoramento em Tempo Real da Margem de Estabilidade de Tensão

Zaire de Assis Ferreira Souza
Programa de Pós Graduação em
Engenharia Elétrica Universidade
Federal do Pará - UFPA
Belém, PA, Brazil
souzazaire@gmail.com

Jorge Henrique Angelim
Programa de Pós Graduação em
Engenharia Elétrica Universidade
Federal do Pará - UFPA
Belém, PA, Brazil
jorge_henrique70@hotmail.com

Carolina Mattos Affonso
Programa de Pós Graduação em
Engenharia Elétrica Universidade
Federal do Pará - UFPA
Belém, PA, Brazil
carolina@ufpa.br

Abstract -- This paper proposes the utilization of modal analysis for allocation of PMUs (Phasor Measurement Units) in a large power system. The intention is use the measurements obtained of PMUs for monitoring in real time the VSM (Voltage Stability Margin) and at the same time reduce the number of installed PMUs, with this purpose, was use a technique of identification dynamic system know how NARX (Nonlinear Auto Regressive Exogenous Inputs) for create a math model relates to the measurements of voltage in module and phase in the buses with a PMU, with the VSM of power system, considering each case of a load curve. The methodology proposes was testing in IEEE 118 bus system, and the results show a grate viability to monitor the VSM in real time.

Index Terms – Phasor Measurement Units (PMUs), Monitoring in real time, Nonlinear Auto Regressive Exogenous Inputs (NARX), Voltage Stability Margin.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de potência têm operado cada vez mais próximos de seus limites devido as restrições econômicas e ambientais para sua adequada expansão, além do constante crescimento da demanda por energia elétrica. Assim, torna-se fundamental desenvolver atividades de supervisão e controle dos sistemas de potência para manter sua operação segura e confiável.

Neste contexto surgem os Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada (SPMS - *Synchronized Phasor Measurement Systems*), constituídos por unidades de medição fasorial (PMUs - *Phasor Measurement Units*) localizados em pontos estratégicos do sistema e concentradores de dados fasoriais (PDCs - *Phasor Data Concetrators*). As PMUs são equipamentos capazes de medir fasores de tensão e corrente de forma sincronizada por um sinal obtido do sistema de GPS (*Global Positioning System*) utilizado pelos satélites. Já os concentradores de dados agrupam, tratam e disponibilizam tais grandezas. Esta tecnologia permite realizar a medição de grandezas fasoriais em locais distantes geograficamente, a uma taxa de até 60 medidas por segundo, podendo ser utilizadas para o monitoramento em tempo real do sistema.

Pode-se citar como aplicações o monitoramento do carregamento das linhas de transmissão, o monitoramento de oscilações eletromecânicas e o monitoramento da estabilidade de tensão, sendo este último o foco deste trabalho [1].

A estabilidade de tensão é a capacidade do sistema de manter a tensão de todas as barras da rede em um nível aceitável mesmo após a ocorrência de um defeito. Após alguma perturbação, pode ocorrer o decaimento das tensões na rede, que pode durar de poucos segundos a vários minutos, podendo ocasionar o colapso de tensão [2]. Este problema acontece devido operação do sistema de forma estressada e com pouco suporte de potência reativa [3]. A grandeza que avalia este nível de segurança é à margem de estabilidade de tensão (MET).

Alguns trabalhos foram realizados visando o monitoramento da estabilidade do sistema utilizando medidas de PMUs. As referências [4] e [5] utilizam uma rede neural artificial para estimação direta da MET usando valores medidos em tempo real. Em [6] foi proposto uma ferramenta estatística que estima as MET de maneira indireta, por meio de alguns índices matemáticos. Já que o grande compromisso da técnica proposta é monitorar a estabilidade de tensão do sistema em tempo real, então, os barramentos candidatos são aqueles que melhor desempenham esta tarefa.

Este trabalho tem como proposta identificar o número mínimo de PMUs e alocá-las nas barras mais adequadas do sistema de potência. A escolha das melhores barras é realizada por meio de análise modal. Inicialmente, constrói-se uma base de dados com diversos cenários, obtidos do monitoramento das PMUs, alocados nas barras indicadas pelos fatores de participação. Utiliza-se então a técnica de identificação não-linear auto-regressiva de entradas externas (NARX - *Nonlinear Auto Regressive Exogenous Inputs*) para monitoramento em tempo real da margem de estabilidade de tensão. O sistema teste considerado foi o IEEE 118 barras.

II. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Uma ferramenta importante para análise da estabilidade de tensão são as curvas PV, responsáveis por determinar a

margem de estabilidade de tensão (MET) de um sistema, esta variável é a medida da distância em MW ou p.u do ponto base de operação do sistema até o ponto de máximo carregamento [3] onde ocorre o colapso de tensão, como indica a Fig. 1.

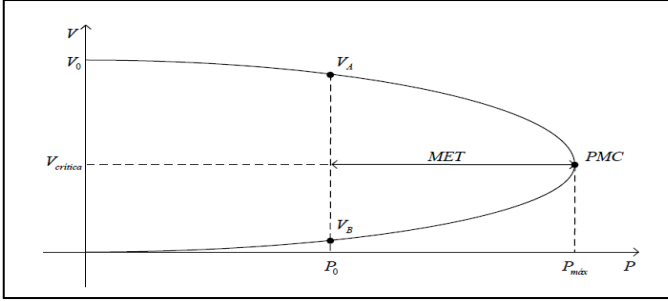


Figura 1. Curva PV.

O ponto de máximo carregamento (PMC) é definido como a capacidade máxima de transferência de potência que o sistema pode atender. Para valores superiores a P_{max} , não há convergência do fluxo de carga e nem transferência de potência [3]. Por este motivo a MET é considerada uma importante indicação da estabilidade de tensão.

Porém, o cálculo da margem de estabilidade de tensão por meio de curvas PV demanda elevado esforço computacional e tempo, já que se trata de um método iterativo, o que inviabiliza o monitoramento da estabilidade do sistema em tempo real. Neste sentido, usar uma ferramenta de identificação de sistemas em detrimento da técnica tradicional das curvas PV, permite o monitoramento em tempo real da estabilidade de tensão, usando as medidas das PMUs.

Nesta técnica de estimação de sistemas dinâmicos, o estado presente depende dos estados passados, e torna-se necessário obter informações do estado do sistema em tempo real em diferentes locais da rede, o que pode ser feito utilizando as PMUs. A alocação destes equipamentos em todas as barras do sistema seria a condição ideal para a determinação do real estado de operação da rede. No entanto, o alto custo destes equipamentos inviabiliza esta situação [7].

Assim, faz-se necessário alocar as PMUs no sistema visando o adequado monitoramento da estabilidade de tensão da rede utilizando um número mínimo de equipamentos [8,9].

III. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia proposta neste trabalho tem dois estágios, um estágio “off-line” e um estágio em tempo real. Para alocação das PMUs foi considerado o critério do Fator de Participação Modal.

Primeiramente, na etapa off-line, construiu-se um grande banco de dados contendo os valores de módulo e fase das tensões de todas as barras do sistema teste e o valor da margem de estabilidade de tensão calculada para cada ponto de operação, contido em uma curva de carga diária. Diversos cenários de carregamento foram considerados (Carga leve, média, pesada e contingências simples). Também, para cada cenário de carregamento, calculou-se o fator de participação ativo (FPA) e reativo (FPR) nas barras do tipo PQ.

De posse do banco de dados passou-se para a etapa de alocação das PMUs. Considerando o critério dos fatores de participação modal, calculou-se a média dos FPAs e FPRs para cada cenário de carregamento. As barras de carga que

mais frequentemente excediam o valor médio tanto dos FPAs como dos FPRs foram escolhidas por serem as mais sensíveis à variação de carregamento da rede.

Com as PMUs previamente alocadas nos barramentos candidatos, iniciou-se a fase de estimação do modelo matemático em tempo real, que consiste em extrair do banco de dados às tensões em módulo e fase das barras com maiores FPAs e FPRs, bem como a MET calculada. Então estes valores alimentaram a estrutura de identificação NARX que foi se adaptando até obter-se um modelo capaz de estimar em tempo real a MET conforme ilustra a Fig. 2. As equações que descrevem a metodologia utilizada podem ser observadas a seguir [10].

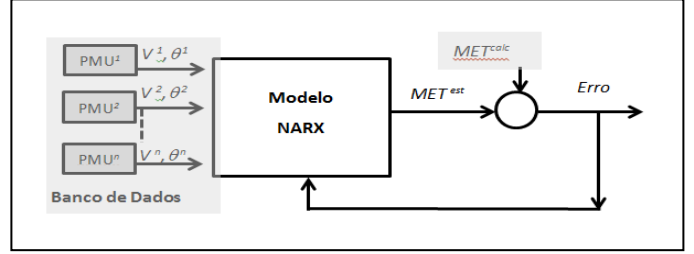


Figura 2. Metodologia para estimação das METs.

$$u(k) = \begin{pmatrix} \bar{V}_1(k) & \bar{V}_1(k-1) & \dots & \bar{V}_1(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{V}_b(k) & \bar{V}_b(k-1) & \dots & \bar{V}_b(1) \\ \bar{\theta}_1(k) & \bar{\theta}_1(k-1) & \dots & \bar{\theta}_1(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{\theta}_b(k) & \bar{\theta}_b(k-1) & \dots & \bar{\theta}_b(1) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$y(k) = (MET(k-1) \quad MET(k-2) \quad \dots \quad MET(1)) \quad (2)$$

Onde u é a matriz de entrada com os dados medidos pelas PMUs em cada instante de amostragem k , b é o número de barras que contem uma PMU, y também é usado como entrada para o modelo, e contem as MET em cada instante de amostragem, a resposta do NARX é dada pela Equação 3.

$$y(k)_{est} = f(y(k-1), \dots, y(k-n_a), u(k-1), \dots, u(k-n_b-n_k+1)) \quad (3)$$

$$f(g(Q(x-r))) \quad (4)$$

$$g(x) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \delta(\beta_k(x - \gamma_k)) \quad (5)$$

$$\delta(u) = ue^{\pm 0.5u^2} \quad (6)$$

Onde $f(\dots)$ é uma função não linear de um número finito de valores de entrada e saída dadas pelas Equações 4, 5 e 6, n_a é o número de termos da predição de saída, n_b é o número de termos da predição de entrada, n_k é o atraso entre a entrada e a saída em número de amostras. Na Equação 4, Q é uma matriz de projeção para o condicionamento dos dados, r é a média dos regressores x . O conjunto de dados de $g(\dots)$ modifica Q e r para melhorar a resposta do modelo, onde os coeficientes α_k , β_k e γ_k que são atualizados.

A margem de estabilidade de tensão estimada pelo modelo é comparada com a margem de estabilidade de tensão calculada, obtendo-se o erro de estimação $e(k)$ do cenário k

considerado, como indica a Equação 7. Este erro é minimizado até que o modelo descreva o sistema com precisão.

$$e(k) = |y(k) - y(k)_{est}| \quad (7)$$

Para a redução do número de PMUs utilizou-se a correlação entre os valores das tensões medidas de cada barramento com as MET estimadas pelo NARX, de modo que, as barras que apresentassem menor correlação foram descartadas até que começasse a se perder precisão na estimação da MET. Portanto, as unidades foram minimizadas, sem se perder a observabilidade da margem de estabilidade de tensão.

IV. ALOCAÇÃO DE PMUS

Este aspecto é muito importante, pois se deseja estimar as MET com o menor número possível de medidas a fim de se reduzir os custos com manutenção e instalação.

No que diz respeito os métodos de alocação de PMUs, os mais utilizados atualmente são os chamados métodos heurísticos, baseados na estimação de estado estática e na topologia da rede. Estes métodos seguem as seguintes regras de alocação [11]:

Regra 1: Atribuir uma medida de tensão para a barra onde a PMU foi alocada, incluindo uma medida de corrente em cada ramo ligado à própria barra, conforme ilustra a Fig. 3(a).

Regra 2: Atribuir uma pseudo-medida de tensão para cada nó ligado a outro barramento com uma PMU.

Regra 3: Atribuir uma pseudo-medida de corrente para cada ramo conectando duas barras onde as tensões são conhecidas, de acordo com a Fig.3(b). Isto nos permite conectar regiões observadas.

Regra 4: Atribuir uma pseudo-medida de corrente para cada ramo onde a corrente pode ser indiretamente calculada pela lei de Kirchhoff, conforme mostra a Fig. 3(c).

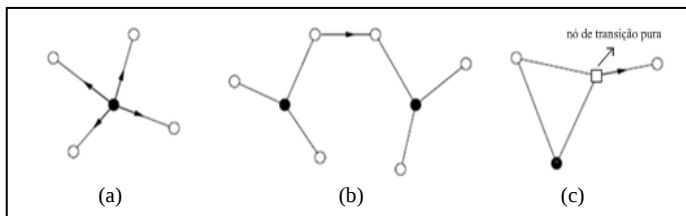


Figura 3. Ilustração das regras para alocação de PMUs utilizando Métodos Heurísticos.

Dentre os métodos mais populares pode-se destacar o Depth First (DF), que utiliza as Regras de 1 a 3, onde a barra com maior número de ramos é escolhida para receber uma PMU, se houver mais de uma barra com esta característica, uma será escolhida aleatoriamente. Este procedimento é repetido até que se obtenha a observabilidade topológica da rede, isto é, até que todas as medidas de tensão e corrente da rede estejam observadas [11]. Existem outros métodos como o Graph Theoretic Procedure (GTP), e o (N-1) Spanning Tree que utilizam basicamente a mesma ideia do DP, porém, também consideram medidas indiretas de correntes nos ramos ligados as barras que não receberam os equipamentos, como indica a Regra 4, por meio dos nós de transição pura.

• Sistema teste

Neste trabalho foi utilizado o sistema IEEE 118 barras com 186 linhas de transmissão, 91 barras de carga e 54 barras de geração, como ilustra a Fig. 4. Para solução do Fluxo de carga, cálculo da margem de estabilidade de tensão e dos fatores de participação modais usou-se os algoritmos escritos em MATLAB. Já para o tratamento dos dados coletados do sistema, criou-se um algoritmo para executar a busca pelo melhor modelo, escolhendo sempre a ordem dos polinômios regressores que melhor estimam as margens, usando para isso a SIT (System Identification Toolboxes)[9], que é uma caixa de ferramenta do MATLAB.

• Análise Modal

A análise modal trata-se de uma técnica que através da matriz jacobiana reduzida, nos permite obter informações que indicam quais são as áreas críticas do sistema que estão mais susceptíveis a instabilidade de tensão, para que medidas corretivas sejam tomadas a fim de melhorar a MET do sistema [10]. Para isso, é necessário inicialmente, desconsiderar o acoplamento existente entre a potência ativa e as tensões nos barramentos bem como a potencia reativa e as fases nas equações do fluxo de potência linearizado.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\theta} & J_{PV} \\ J_{Q\theta} & J_{QV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (8)$$

O desacoplamento é feito considerando primeiro $\Delta P = 0$ e resolvendo o sistema da Equação 8 mantendo a potencia reativa em função das tensões em módulo. Posteriormente o procedimento é repetido, considerando agora que $\Delta Q = 0$ e mantendo a potencia ativa em função das fases das tensões. Considerando um novo arranjo para a Equação 8 podemos chegar até a Equação 9 que forma a base teórica do desenvolvimento de uma metodologia completa para a análise modal na estabilidade de tensão.

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{RP\theta}^{-1} & -J_{RP\theta}^{-1} J_{PV} J_{QV}^{-1} \\ -J_{RQV}^{-1} J_{Q\theta} J_{P\theta}^{-1} & J_{RQV}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (9)$$

A Equação 9 mostra que as duas matrizes jacobianas reduzidas ($J_{RP\theta}$ e J_{RQV}) contem a mesma informação modal que a matriz completa, com o benefício das duas matrizes apresentarem significados físicos distintos [12]:

$J_{RP\theta}$, mostra o impacto da variação da potencia ativa na estabilidade de tensão.

J_{RQV} , mostra o impacto da variação da potencia reativa na estabilidade de tensão.

Se δ_i é um autovalor de $J_{RP\theta}$ ou J_{RQV} , u_i e v_i são autovetores direito e esquerdo associados a δ_i , o fator de participação das barras k no modo i é definido como:

$$APF_{ki} = u_{ik} v_{ki} \quad (10)$$

O fator de participação ativo (FPA) está associado a $J_{RP\theta}$, enquanto que o fator de participação reativo (FPR) está associado a J_{RQV} .

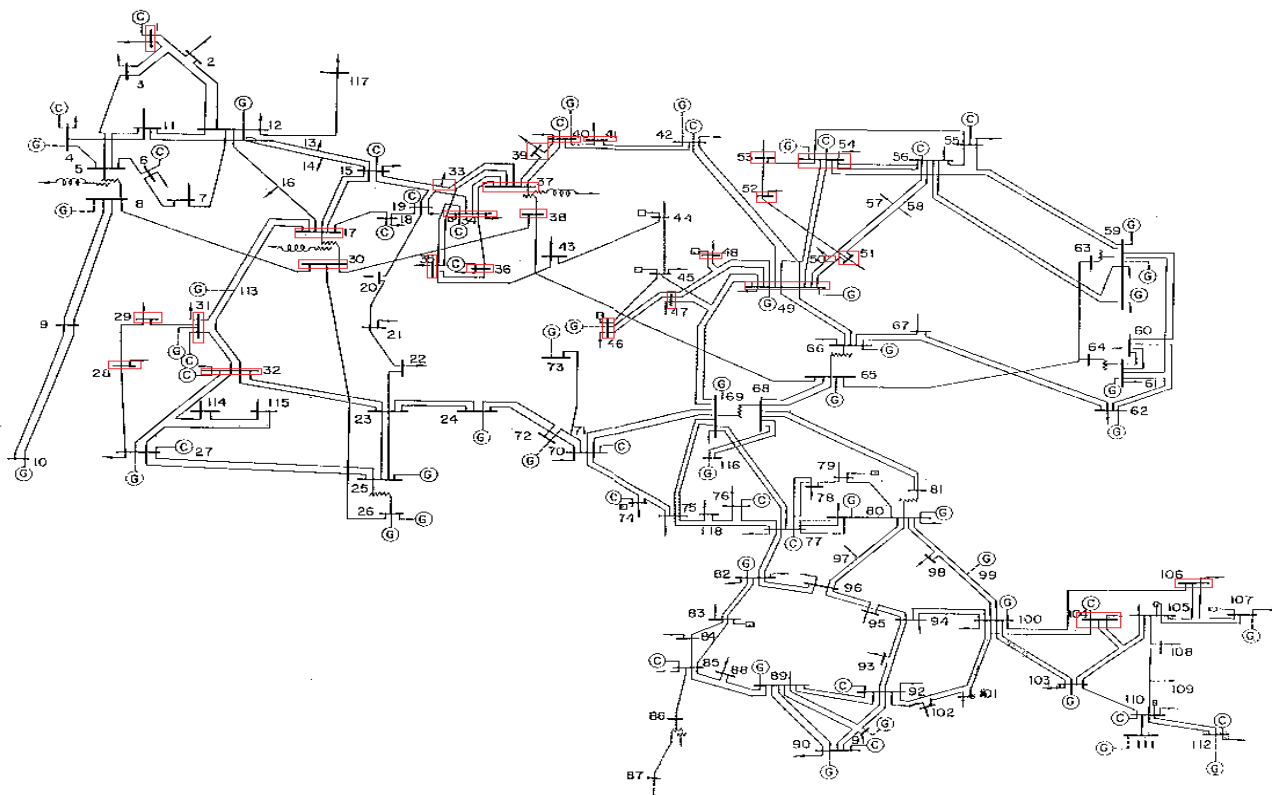


Figura 4. Sistema Teste IEEE 118 barras com PMUs Alocadas.

Em suma, para as barras de geração, quanto maior o fator de participação, maior será o aumento da MET do sistema se a injeção de potência ativa deste gerador for aumentada. Para as barras de carga, os FPAs indicam os melhores locais para a execução eficiente do corte de carga e os FPRs indicam as melhores barras para a compensação de potência reativa, visando sempre à melhoria da MET. Apesar da PMU não ser um componente ativo, mas um equipamento de medição, pode-se optar por alocá-las nos barramentos mais sensíveis, para melhorar a observabilidade da MET [13].

A alocação pela análise modal, foi realizada segundo os gráficos da Fig.5 e da Fig.6.

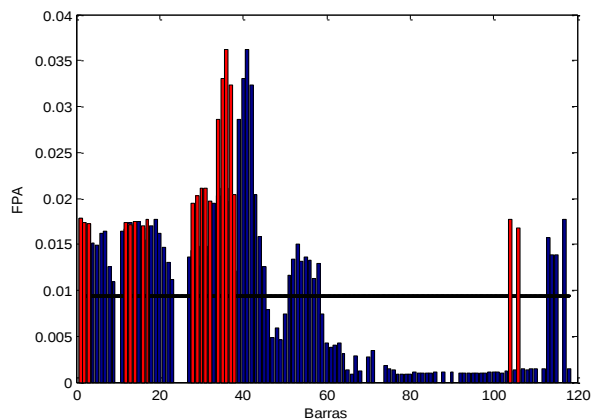


Figura 5. Média dos Fatores de Participação Ativos das barras PQ, considerando todos os cenários de carregamento.

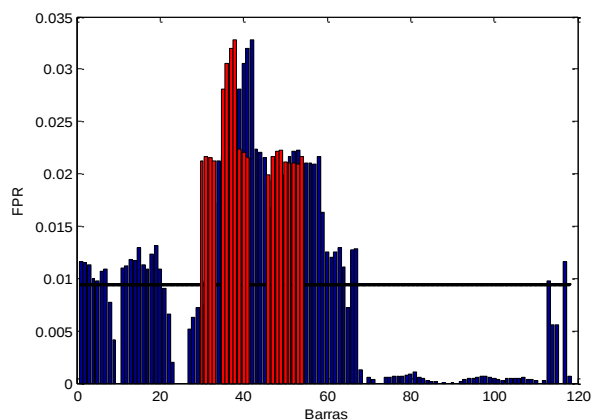


Figura 6. Média dos Fatores de Participação Reativos das barras PQ, considerando todos os cenários de carregamento.

Os 20 maiores FPAs e os 20 maiores FPRs do sistema foram obtidos somente para as barras PQ (Algumas barras PQ também possuem geradores, sendo então, barras PQV), como mostra a parte em vermelho nos gráficos da Fig. 5 e da Fig. 6. Após combiná-las obteve-se 33 barras a receberem uma PMU, já que alguns valores do ranking de FPAs coincidiram com alguns valores do ranking de FPRs.

Tabela I. Combinação de Barras com maiores Fatores de Participação Modal

Critério	Quant.	Barras
FPA + FPR	33	1,2,3,12,13,14,16,17,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,46,47,48,49,50,51,52,53,54,104,106

V. RESULTADOS

Primeiramente o banco de dados foi montado, contendo 900 cenários, onde 70% foram usados para encontrar o modelo de estimação e 30% para validar o modelo encontrado. Após aplicação do método, obteve-se o modelo NARX que melhor se adaptou ao problema de estimar as MET.

Com as PMUs alocadas nas barras mais sensíveis à estabilidade de tensão, segundo a Tabela I, o modelo NARX que apresentou a melhor resposta consta na Tabela II, onde tem-se o erro médio percentual do modelo, a correlação entre as MET calculadas e as MET estimadas pelo modelo considerando as barras da Tabela I, a ordem do polinômio de saída (n_a), do polinômio de entrada (n_b) e o número de regressores do modelo não linear (n_k).

Tabela II. Melhor Modelo NARX Encontrado

	Erro médio %	Correlação	n_a	n_b	n_k
IEEE 118	3,4579	0,9379	18	1	3

O modelo encontrado apresentou correlação de 0,9379, indicando alta relação entre as margens estimadas pelo modelo e as margens contidas no banco de dados. Além disso, o erro médio foi de 3,4579% indicando que na maior parte da simulação, o erro manteve-se abaixo de 5% que foi o valor considerado como satisfatório segundo a norma IEEE C37.118.1. Esta característica pode ser observada na Fig.7.

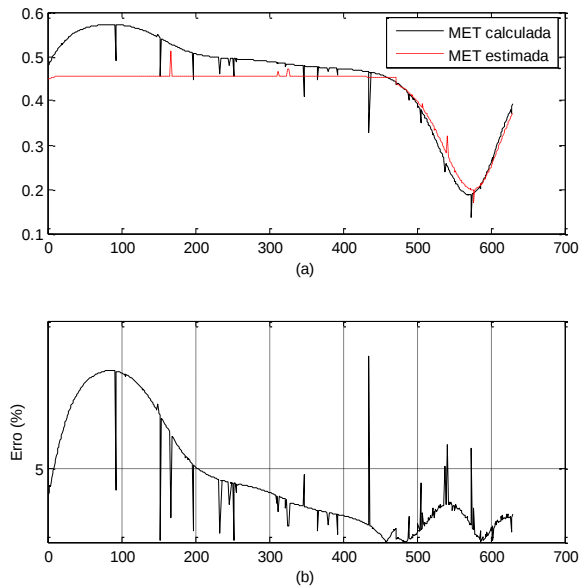


Figura 7. Resultados do modelo NARX (a) Margem calculada e estimada em tempo real e (b) progressão do erro de estimação absoluto percentual

Para minimizar o número de PMUs sem se perder precisão do modelo encontrado, se foi reduzindo um a um o número de equipamentos de acordo com os resultados de

correlação entre a tensão na barra considerada e a estimação da margem do modelo. Essa redução foi realizada até que o erro médio percentual do modelo chegasse a 5%. Os resultados da minimização do número de PMUs pela correlação entre a MET estimada pelo modelo e a variação das tensões nas barras podem ser observados nas Tabelas III e IV.

Tabela III. Combinação de Barras considerando a correlação

Critério	Quant.	Barras
FPA + FPR (sujeito a correlação)	27	1,17,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,46,47,48,49,50,51,52,53,54,104,106

Tabela IV. Modelo NARX com Minimização de PMUs

	Erro médio %	Correlação	n_a	n_b	n_k
IEEE 118	4,4759	0,9265	18	1	3

A Fig.8 apresenta a resposta em tempo real do modelo, considerando a redução do número de PMUs.

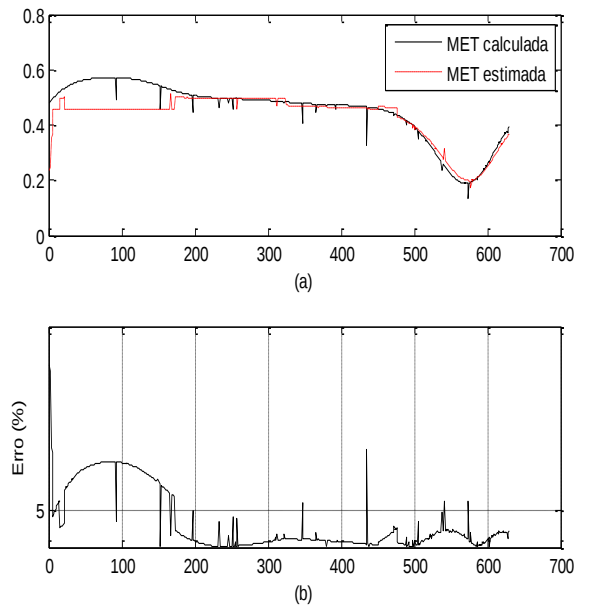


Figura 8. Resultado do modelo NARX com o número mínimo de PMUs (a) Margem calculada e estimada em tempo real e (b) progressão do erro de estimação absoluto percentual

A título de comparação, considerando apenas a capacidade de minimização do número de PMUs, a Tabela V mostra os resultados dos métodos utilizados atualmente para alocação de PMUs, os chamados métodos heurísticos, cujo compromisso é manter a observabilidade topológica do sistema. Em comparação com a técnica que considera os fatores de participação modal, o número de equipamentos é muito menor.

Tabela V. Comparação de Critérios de Alocação de PMUs

Critério	Quantidade
Depth First	41
Graph Theoretic	39
(N-1) Spanning Tree	63
FPM	33
FPM Minimizado	27

Por outro lado, analisando agora a precisão do modelo, observou-se que nos casos de carga pesada, quando a MET é menor devido ao alto carregamento do sistema, as respostas do modelo são bem mais precisas, esta característica é bastante positiva, pois justamente quando o sistema está mais suscetível à falha, os resultados devem ser mais precisos, já que a intenção é manter a observabilidade da MET.

Quanto ao esforço computacional, o modelo NARX leva cerca de 180 μ s para estimar a MET de cada cenário do banco de dados. Considerando que a taxa de atualização máxima dos dados das PMUs é 16ms, então é possível utilizar a ferramenta em coordenação com as medições das PMUs.

VI. CONCLUSÃO

Este artigo apresenta resultados a respeito da utilização de uma ferramenta de identificação de sistemas dinâmicos, utilizando regressão não linear para estimação em tempo real da margem de estabilidade de tensão, por meio de medidas obtidas das PMUs, modeladas em ambiente de simulação MATLAB e armazenadas em um banco de dados. Os resultados mostram que ao utilizando o critério dos fatores de participação modal, é possível reduzir drasticamente o número de PMUs, sobretudo em comparação com os métodos heurísticos, sem se perder a observabilidade da margem de estabilidade de tensão do sistema. Além disso, pode-se observar que as margens estimadas em tempo real são muito mais precisas nos casos mais críticos, quando o sistema encontra-se mais estressado e por consequência, com uma margem de segurança de operação bem menor.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] S. Skok, I. Ivankovic, Z. Cerina, Applications Based on PMU Technology for Improved Power System Utilization, IEEE PES Power Engineering Society General Meeting, pp. 1-8, 2007.
- [2] P.Kundur, Power System Stability and Control. New York: McGraw-Hill Education, 1994.
- [3] T.V.Cutsem, Voltage Stability of Electric Power Systems. Library of congress, 1998.
- [4] W. Nakawiro and I. Erlich, "Online voltage stability monitoring using artificial neural network," in Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on, apr. 2008, pp. 941-947.
- [5] D. Zhou, U. Annakkage, and A. Rajapakse, "Online monitoring of voltage stability margin using an artificial neural network," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 25, no. 3, pp. 1566- 1574, aug 2010.
- [6] R. Garcia-Valle, L. C. P. da Silva, and A. H. Nielsen, "On-line voltage stability assessment based on PMU measurements," IET International Conference on Advances in Power System Control – APSCOM 8, Novembro 2009.
- [7] R.J.Albuquerque and V.L. Paucar, "Evaluate of the PMUs Measurement Channels Availability for Observability Analysis", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.28, No. 3, 2013.
- [8] K.K.More, H.T. Jadhav, A Literature Review on Optimal Placement of Phasor Measurement Units, International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), pp. 220-224, 2013.
- [9] R. Diao, K. Sun, V. Vittal, R. J. O'Keefe, M. R. Richardson, N. Bhatt, D. Stradford, S. K. Sarawgi, Decision Tree-Based Online Voltage Security Assessment Using PMU Measurements, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 24, No. 2, pp 832- 839, 2009.
- [10] A. H. Anzai, "Aplicação de métodos de identificação de sistemas para estimação da margem de estabilidade de tensão em tempo real usando PMUs", 2013, Vol.1, Tese (doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- [11] T.L. Baldwin, L. Mili, M.B. Boisen, R. Adapa, "Power System Observability with Minimal Phasor Measurement Placement", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No.2, 1993.
- [12] L. C. P. da Silva, " Uma expansão dos métodos de curvas-PV e de análise modal estática para o estudo de estabilidade de tensão em sistemas de

energia elétrica", 2001, vol 1. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

[13] Z. A. F. Souza, "Alocação de PMUs para estimação da margem de estabilidade de tensão em tempo real", 2015, vol 1. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, PA.

VIII. BIOGRAFIAS

Zaire de Assis Ferreira Souza é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2015). Atualmente trabalha como bolsista de mestrado no Grupo de Estudos em Sistemas Elétricos e Instrumentação (GSEI) realizando pesquisa em Energia Elétrica e atuando na área de monitoramento em tempo real de sistemas de energia elétrica utilizando técnicas de identificação de sistemas dinâmicos.

Jorge Henrique Angelim é formando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2015). Atualmente é bolsista de mestrado no Grupo de Estudos em Sistemas Elétricos e Instrumentação (GSEI) realizando pesquisa na área da Engenharia Elétrica, atuando no estudo dos impactos da conexão de geração distribuída na estabilidade de tensão em sistemas de potência.

Carolina de Mattos Affonso possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (1997), mestrado em Energia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1999) e doutorado em Energia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2004). Atualmente é professora adjunta da Universidade Federal do Pará. Realiza pesquisas na área de Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: planejamento, estabilidade de tensão, qualidade de energia e geração distribuída.