



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

CB/GAT/12

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO – IV

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

**USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS NA AVALIAÇÃO DA
ESTABILIDADE DE TENSÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

Pablo Rangel A. Andrade(*)
LRC/UFMG

Silvério V. Visacro
LRC/UFMG

Maria Helena M. Vale
LRC/UFMG

Marina M. S. Andrade
UFV

Fábio Donisete Silva
LRC/UFMG

Felipe de S. Silva
LRC/UFMG

Raísa D. Barbosa
LRC/UFMG

RESUMO

O artigo apresenta um ambiente computacional para avaliação da Estabilidade de Tensão de Sistemas Elétricos desenvolvido pela UFMG. Este é composto por dois aplicativos computacionais, denominados **SimC** - *Simulador de Cenários Operativos* e **Monitor** - *Simulador para Avaliação de Risco de Estabilidade de Tensão*. Tais ferramentas correspondem ao estágio mais atual dos desenvolvimentos realizados pela equipe, em especial nos aspectos relacionados ao monitoramento em tempo real da segurança do sistema com relação à instabilidade de tensão. Incorporam implementações anteriores, com destaque para as metodologias para cálculo de equivalentes de redes em tempo real, com base em medições fasoriais coletadas de barramentos da rede elétrica.

PALAVRAS-CHAVE

Estabilidade de Tensão, Equivalentes de Redes, Margem de Segurança, Cenários Operativos, Tempo Real.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os trabalhos desenvolvidos no LRC/UFMG, *Lightning Research Center* da Universidade Federal de Minas Gerais, têm sido bastante intensos no que se refere à implementação de técnicas para avaliação da estabilidade de tensão dos SEP - Sistemas Elétricos de Potência. A aplicação dos trabalhos tem sido direcionada tanto para as etapas de expansão quanto para as de operação dos sistemas elétricos. O ambiente computacional tratado no artigo constitui continuidade destes trabalhos e, para melhor compreendê-lo, torna-se importante contextualizá-lo.

Os estudos e discussões registrados em (1) introduziram no LRC as pesquisas sobre a aplicação dos SMFS - Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada, nas atividades do setor elétrico, em especial na operação em tempo real. Uma sequência de pesquisas começou a ser implementada, motivada pela expectativa de ganhos para a operação, advindos desses sistemas.

Dentre os estudos voltados à avaliação da estabilidade de tensão em tempo real, destaca-se a referência (2). Esta se dedicou à aplicação dos SMFS na construção de equivalentes de redes e propôs um indicador para avaliar a margem de estabilidade de tensão do SEP em tempo real. Tal indicador é denominado PIT - Previsor de Instabilidade de Tensão, cuja função é indicar a distância entre o ponto de operação atual do sistema ao limite ditado pela MST - Margem de Segurança de Tensão, margem esta estabelecida pelo ONS - Operador Nacional do

(*) Rua Manoel Rubim, n° 409, Bairro São Paulo, CEP 31.910-030, Belo Horizonte, MG – Brasil
Tel: (+55 31) 3432-0947 – Cel: (+55 31) 99191-9086 – Email: pablora@hotmai.com

Sistema. Dando continuidade às pesquisas, na dissertação (3) foi investigado o uso de equivalentes em barras de passagem, sendo propostas duas metodologias para o cálculo da chamada corrente de carga-equivalente.

Estes dois últimos trabalhos foram desenvolvidos em ambiente de simulação, utilizando cenários preparados por programas de Fluxo de Potência. Observa-se que, diferentemente destes cenários, o ambiente de medição traz às análises de estabilidade de tensão uma complexidade que não ocorre naquelas elaboradas via simulações. Tal complexidade está relacionada à presença de erros inerentes aos processos de medição, os quais requerem modelagem e filtragem. O uso de dados provenientes de medição, na determinação da margem de estabilidade, teve início na dissertação de mestrado (4), onde a metodologia ali proposta, para cálculo de equivalentes em tempo real, é baseada em técnicas de estimação de estado.

Vale ressaltar que as metodologias citadas acima já se encontram implementadas pela equipe, no monitoramento de barramentos do SIN – Sistema Interligado Nacional. Nestas, são utilizados dados provenientes de medições fasoriais sincronizadas, na construção de equivalentes de redes em tempo real. Destaca-se o projeto SISMEF, desenvolvido em projeto de P&D, numa parceria entre a UFMG e as empresas Cemig - Companhia Energética de Minas Gerais e Concert Technologies S/A. Toda a implementação do SISMEF, incluindo seus resultados práticos, se encontra documentada em diversas publicações, onde são apresentados detalhes técnicos dos desenvolvimentos realizados. Dentre elas cita-se aqui o trabalho (5), o qual descreve o projeto na sua forma mais abrangente, incluindo: Unidades de Medição Fasorial (PMU - *Phasor Measurement Units*); Concentrador de Dados Fasoriais (PDC - *Phasor Data Concentrator*); Telecomunicação; Aplicações; Interface Homem-Máquina.

Toda a experiência adquirida com os resultados acadêmicos e práticos levou ao desenvolvimento do trabalho (6), onde são propostas três novas metodologias, constituindo um aprimoramento das anteriores. Neste contexto de contínua evolução dos trabalhos realizados pela equipe, enquadra-se o ambiente computacional tratado neste artigo, onde duas ferramentas se destacam: o **SimC** - *Simulador de Cenários Operativos de SEP* e o **Monitor** - *Simulador para Avaliação de Risco de Estabilidade de Tensão*.

O desenvolvimento do aplicativo Monitor, apresentado em (7), teve como objetivo inicial criar um ambiente computacional que permitisse, no âmbito da universidade, a análise de estabilidade de uma maneira mais direta, possibilitando o estudo de um maior número de diferentes situações, de forma sistemática e completa. Basicamente, ele reúne e implementa as metodologias e técnicas que vinham sendo desenvolvidas no LRC/UFMG, articulando-as em único ambiente. O impacto de sua utilização nos estudos foi tão significativo, principalmente na validação da consistência dos trabalhos já desenvolvidos, que sua aplicação se estendeu à análise de barramentos utilizando dados provenientes de medições reais e não apenas de valores simulados.

A disponibilidade de dados medidos em campo é vital para o desenvolvimento de metodologias aplicáveis na prática da operação. Contudo, a investigação de cenários diferentes daqueles medidos no estado normal de operação do barramento torna-se importante para explorar o potencial do mesmo, bem como para validar a aplicação de metodologias em situações diversas. O domínio sobre a montagem dos cenários operativos permite o conhecimento mais completo do comportamento da rede elétrica, possibilitando identificar suas fragilidades.

Nesta perspectiva, foi implementado o aplicativo SimC, cujo objetivo é criar cenários operativos e, a partir dos mesmos, gerar arquivos que apresentem valores de grandezas, como se fossem provenientes de medições coletadas da rede elétrica, ou seja, valores contaminados por erros ou incertezas. De forma mais específica, sua função é criar cenários de “medições”, com características semelhantes àquelas obtidas dos barramentos dos sistemas elétricos, para fins de composição dos equivalentes de redes. A metodologia para determinação destes equivalentes deve ser capaz de filtrar as incertezas inerentes aos dados medidos. Desenvolvido inicialmente por (8), o SimC vem sendo aprimorado, incorporando novas funcionalidades.

Para melhor caracterizar o ambiente computacional formado pelos aplicativos SimC e Monitor, este artigo está estruturado em itens que incluem a descrição da sua estrutura básica, indicando o processamento realizado pelos mesmos, bem como resultados de sua aplicação no Sistema IEEE-14 barras (9) e em barramento do SIN.

2.0 - AMBIENTE COMPUTACIONAL SIMC-MONITOR

2.1 - Estrutura Básica

A estrutura básica desenvolvida para as análises de estabilidade, por meio dos aplicativos SimC e Monitor encontra-se ilustrada na Figura 1.

O analista do sistema elétrico, por meio de telas da IHM – Interface Homem-Máquina dos aplicativos, pode optar por executar o Monitor utilizando dados provenientes de medições obtidas do próprio SEP, ou usando dados de “medições” geradas pelo SimC. Por meio da interface do Monitor, o usuário pode escolher a(s) metodologia(s) para cálculo dos equivalentes de redes, bem como obter diversas informações acerca do sistema elétrico, com respeito à sua segurança em termos da estabilidade de tensão.

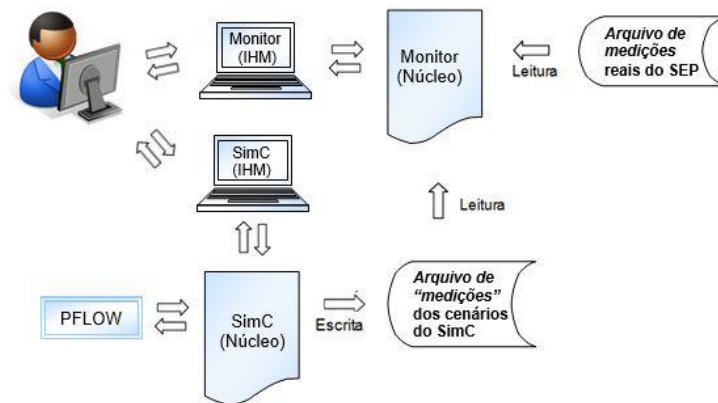


FIGURA 1 - Estrutura Básica do Ambiente Computacional para Análise.

Caso o interesse seja o estudo de cenários, o processo de análise tem início com a execução do SimC. Por meio da interface desta ferramenta, o usuário indica o arquivo correspondente ao sistema elétrico a ser analisado, bem como os dados relativos à qualidade da “medição” a ser realizada no mesmo. O SimC gera um arquivo do tipo .xlsx, onde são registrados os valores “medidos”, arquivo este que será lido pelo Monitor. A geração de cenários operativos parte da solução de programas de Fluxos de Potência. Na versão atual, tem sido utilizado o programa PFLOW disponibilizado em (10).

2.2 - SimC – Simulador de Cenários Operativos

Conforme já introduzido, o SimC calcula valores para os fasores de tensão e de corrente relativos aos barramentos do SEP, considerando a presença de erros inerentes aos processos de medição. Quatro tipos de cenários podem ser gerados: (i) medições sem a presença de erro; (ii) medições com a presença de erro do tipo ruído; (iii) medições com a presença de erro do tipo grosseiro; (iv) medições com a presença de erro do tipo grosseiro e erro do tipo ruído.

Como os cálculos do aplicativo partem de soluções de Fluxo de Potência, diversas informações da rede podem ser obtidas, conforme identificado na descrição a seguir. Dentre elas, destaca-se a impedância de Thévenin calculada analiticamente por meio da matriz de impedância de barras da rede, \tilde{Z}_{barra} . A importância desta se dá, na medida em que constitui referência analítica para os resultados da impedância de Thévenin obtida por meio de medições. Ela faz o elo entre os equivalentes calculados em ambiente simulado e aqueles obtidos a partir de medições.

O processo de decisão do aplicativo pode ser caracterizado por três passos básicos:

Passo (i) – Aquisição de Dados

Por meio da IHM, a ferramenta coleta três grupos de informações:

Grupo 1: Arquivo de Entrada

Refere-se à seleção do arquivo correspondente ao sistema elétrico a ser estudado, em formato adequado à simulação do Fluxo de Potência por meio do *software* PFLOW (extensão .xlsx).

Grupo 2: Parâmetros da Simulação

Permite a seleção da(s) barra(s) que deve(m) sofrer variação de carga e de como esta deve ser feita.

Grupo 3: Erros nas Medições

O usuário pode escolher a inserção de erros do tipo ruído e/ou do tipo grosseiro tanto nos módulos quanto nos ângulos das tensões e correntes. Como os erros do tipo ruído são modelados como variáveis aleatórias normalmente distribuídas, com valor esperado nulo, é indicado o desvio padrão a ser adotado.

Passo (ii) – Processamento

Ao se acionar o processamento do cenário, o SimC executa duas etapas de cálculo:

Etapa 1: Cálculo de Fluxo de Potência

O aplicativo realiza uma sequência de soluções de Fluxo de Potência, procedendo à variação de carga indicada pelo usuário. São calculados todos os fasores de tensão e de corrente do SEP completo. A estes dá-se o nome de “valores puros”, pois ainda não foram contaminados por erros de medição.

Etapa 2: Inserção dos Erros de Medição

Por meio de rotina que simula distribuição normal de probabilidades, o SimC insere a presença de erros do tipo ruído aos valores puros gerados pelo Fluxo de Potência, de acordo com o desvio padrão especificado. Estes valores são ditos “contaminados” por incertezas. No caso da inserção de erros grosseiros, o programa apenas insere um erro sem modelagem específica, de acordo com a própria natureza deste tipo de erro.

Passo (iii) – Armazenamento e Apresentação dos Resultados

Para cada barra de interesse selecionada, são gerados arquivos em formato adequado a ser lido pelo Monitor, tanto com os resultados do caso puro, quanto dos casos com inserção de erros. Os arquivos contêm o valor do fasor tensão (módulo e ângulo) da barra e também os valores dos fasores de corrente de todos os ramos nela incidentes. O SimC permite a apresentação de diversos tipos de gráficos, dependendo da escolha do usuário:

- Módulos da tensão e corrente;
- Valores singulares da matriz jacobiana;
- Vetor singular à direita (VSD) relativo ao MVS (Mínimo Valor Singular), relacionado ao fasor tensão;
- Vetor singular à esquerda (VSE) relativo ao MVS, relacionado às injeções de potências ativa e reativa;
- Determinante das matrizes jacobianas reduzidas;
- Impedâncias de Thévenin analíticas.

2.3 - Monitor – Simulador para Avaliação de Risco de Estabilidade de Tensão

O Monitor implementa as quatro metodologias para cálculo de Equivalentes de Redes detalhadas em (6): Método dos Mínimos Quadrados Simples (MQ); Média da Solução dos Mínimos Quadrados – M1; Média Ponderada Linearmente da Solução do Estimador dos Mínimos Quadrados – M2; Média Ponderada Exponencialmente da Solução do Estimador dos Mínimos Quadrados – M3; Média do Estimador dos Mínimos Quadrados com Ponderação da Medição Atual – M4. Ainda nesta referência, foi proposta a utilização de janelas de aceleração para uma maior agilidade na estabilização dos indicadores no momento inicial dos cálculos. O Monitor disponibiliza todas estas opções.

As metodologias para cálculo da chamada Carga Equivalente da barra sob análise, apresentada em (3), são utilizadas pelo Monitor e são denominadas CM1 e CM2. Estas metodologias se diferem com relação ao sinal da potência reativa nos ramos incidentes na barra. Enquanto a CM1 considera o sinal sempre positivo, na CM2, o sinal da potência reativa está condicionado ao sinal positivo da potência ativa. O índice PIT, proposto em (2) e expandido em (6), também é calculado pelo Monitor, utilizando o valor da MST especificado pelo usuário.

O processo de decisão do aplicativo pode ser caracterizado por três passos básicos:

Passo (i) – Aquisição de Dados

Por meio da IHM, a ferramenta recolhe três grupos de informações:

Grupo 1: Arquivo de Entrada - Medições

Refere-se à seleção do arquivo de medições correspondente à barra do sistema elétrico a ser analisada, no formato .xlsx.

O arquivo contém o valor do fasor tensão (módulo e ângulo) da barra e dos fasores de corrente de todos os ramos nela incidentes. Este pode se referir às seguintes situações:

- Valores de medições reais obtidas do sistema;
- Valores gerados a partir de cenário criado pelo SimC.

Grupo 2: Parâmetros Relativos ao Cálculo da(s) Metodologia(s)

Tais parâmetros incluem, dentre outros mais específicos, as ponderações utilizadas nas Metodologias de 2 a 4, a dimensão da janela de dados e da janela de aceleração, bem como o seu limite.

Grupo 3: Seleção da(s) Metodologia(s)

O usuário, por meio da IHM, pode escolher a(s) metodologia(s) a ser(em) calculada(s) pelo Monitor.

Passo (ii) – Processamento

Ao ser acionado o processamento, o Monitor calcula os equivalentes de redes por meio das metodologias escolhidas e as grandezas de interesse para as análises de estabilidade de tensão: tensão medida, corrente de carga equivalente, impedância de carga, impedância e tensão do equivalente de Thévenin, potência do ponto de máximo carregamento, potência de operação, potência limite de MST e índices PIT calculados pelas relações de impedância e de potência (PIT_z e PIT_P).

Passo (iii) – Armazenamento e Apresentação dos Resultados

O Monitor apresenta os comportamentos das grandezas acima mencionadas, por meio de gráficos, além de armazenar todos os arquivos a elas relacionados.

3.0 - APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS NAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE DE TENSÃO

Neste item são apresentados os resultados da aplicação do ambiente computacional utilizando dados de cenário criado pelo SimC e, também, dados reais obtidos de medições fasoriais de barramento do SIN.

3.1 - Ambiente de Simulação SimC-Monitor

3.1.1 - Identificação do Caso Estudado - Criação do Cenário pelo SimC

O SEP escolhido, para mostrar o potencial das ferramentas, é o IEEE-14 barras mostrado na Figura 2.

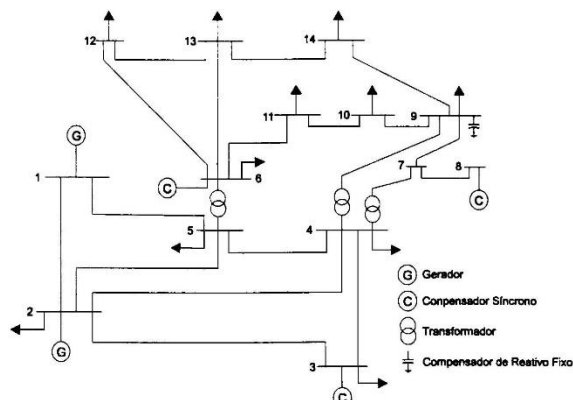


FIGURA 2 - Sistema IEEE-14 Barras.

A barra selecionada para ser analisada é a Barra 5. Esta barra possui 5 ramos incidentes. O aumento de carga indicado é de 0,1% nas potências ativa e reativa em todas as barras de carga do sistema. Assim, este estudo de caso simula a condição de estressar o sistema elétrico até próximo ao ponto de máximo carregamento mantendo fixo o fator de potência. Observa-se que não se consegue analisar o ponto de operação do SEP até o ponto crítico, porque não se utiliza neste estudo o método continuado.

Optou-se por considerar a presença de erro do tipo ruído com desvio padrão de 0,5% para o módulo e ângulo de tensão e correntes. Estas informações são fornecidas ao SimC, via IHM, conforme ilustra a tela da Figura 3.

Arquivo de Entrada

Selecionar Arquivo

C:\IEEE_14barras.xlsx

Parâmetros da Simulação

Barra estudada: 5

Aumento de carga na(s) barra(s):

☒ Todas PQs
☐ PQ estudada
☐ Barras selecionadas

Barras: [nº_barra]; [nº_barra]; ..

fatorP (%): 0.1 fatorQ (%): 0.1

Erros nas Medições

☐ Sem Erro ☐ Erro Grosseiro

☒ Erro Ruído ☐ Erro Ruído e Grosseiro

s_modV (%)	0.5
s_angV (%)	0.5
s_modI (%)	0.5
s_angI (%)	0.5

Processamento

Simular Cenário

Gráficos

- Módulo da Tensão
- Módulo da Corrente
- Mínimos Valores Singulares
- VSD (Variações do Ângulo)
- VSD (Variações de Tensão)
- VSE (Variações da Injeção de P)
- VSE (Variações da Injeção de Q)
- Determinante das Jacobianas Reduzidas
- Impedâncias de Thévenin Analíticas

Plotar Gráfico

Saída de Dados

Gerar Arquivo de Saída

FIGURA 3 - Interface da Ferramenta SimC.

Definido o caso a ser estudado, passa-se para a opção Simular Cenário e, posteriormente, seleciona-se a opção Gerar Arquivo de Saída. Este arquivo constitui a entrada do Monitor.

3.1.2 - Resultados – Atuação do Monitor com Dados do SimC

A Figura 4 apresenta a tela do Monitor. Por meio de ícones próprios, o arquivo de saída do SimC é carregado e os parâmetros relacionados às janelas de dados e ponderações das metodologias são especificados.

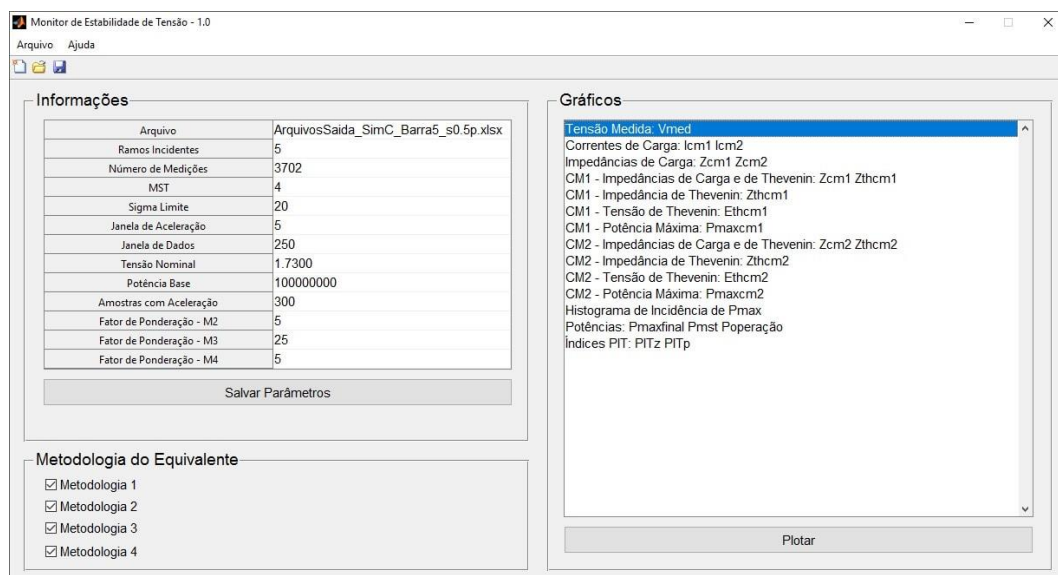


FIGURA 4 - Interface da Ferramenta Monitor.

Os gráficos apresentados a seguir mostram os resultados obtidos para os casos de medições “puras”, sem erro, e de medições “contaminadas”, com a inserção de erros ruído com desvio padrão de 0,5%.

As Figuras 5 e 6 mostram o comportamento da tensão na barra de carga 5. A Figura 5 refere-se à condição onde não há a inserção de erro, ou seja, corresponde ao caso puro do Fluxo de Potência. O gráfico da Figura 6 mostra a tensão considerando presença do erro ruído. Em ambos os casos, como esperado, as tensões tendem a cair, uma vez que o sistema vai sendo carregado. Percebe-se a influência do erro na entrada dos dados.

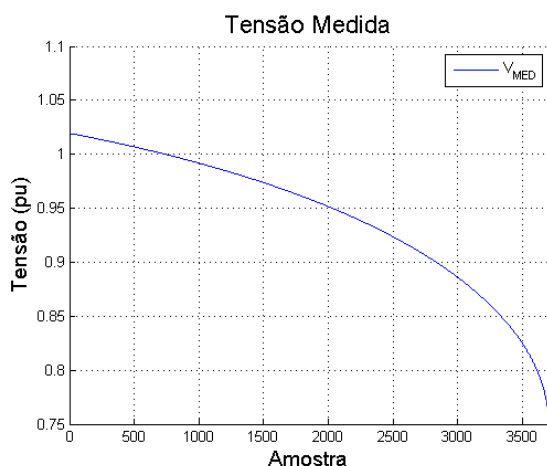


FIGURA 5 - Tensão na Barra 5 Sem Erro Ruído.

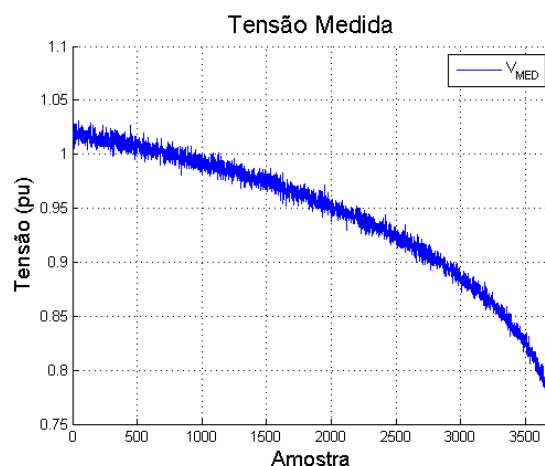


FIGURA 6 - Tensão na Barra 5 Com Erro Ruído.

Já no contexto dos equivalentes, as Figuras 7 e 8 mostram os gráficos relativos às impedâncias de Thévenin, $Z_{thCM2/M1-M2-M3-M4}$, calculados para a metodologia de carga CM2, com e sem ruído, respectivamente. Neste exemplo, para melhor visualização das curvas, foi omitido o intervalo relativo às 300 amostras com aceleração.

Considerando a aplicação do ambiente SimC-Monitor, na análise das metodologias, algumas observações importantes podem ser obtidas. Percebe-se que todas as metodologias apresentam valores próximos ao Z_{th} analítico, confirmando a consistência da modelagem utilizada pelas mesmas. No caso estudado, a diferença máxima é percebida apenas na terceira casa decimal (valores em p.u.), após a estabilização. A M4 é aquela que mostra valores mais próximos ao valor analítico (diferença máxima de 0,0025 p.u., após a estabilização). O poder de filtragem das metodologias também pode ser verificado, comparando-se o comportamento bem próximo das curvas determinadas para os casos puro e contaminado.

Com respeito à análise do comportamento do sistema elétrico estudado, as Figuras 9 e 10 mostram o potencial do ambiente SimC-Monitor. A Figura 9 registra as impedâncias de carga e de Thévenin, Z_{CM2} e $Z_{thCM2/M1-M2-M3-M4}$, mostrando que, conforme o SEP vai sendo estressado, seus módulos se aproximam. A Figura 10 apresenta os índices PITz. Como esperado, este indica que o sistema está se aproximando, cada vez mais, do limite da MST, ou seja, sua segurança em termos de estabilidade de tensão está em risco.

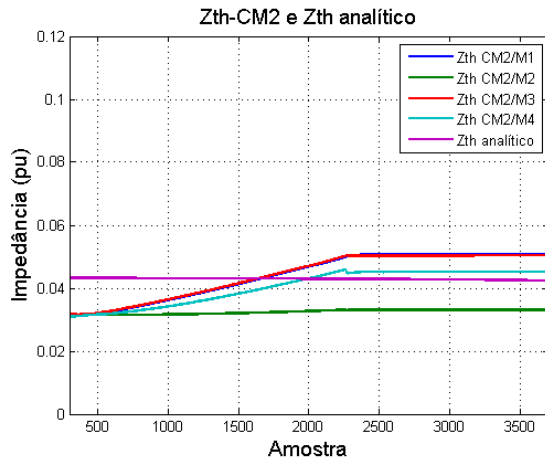
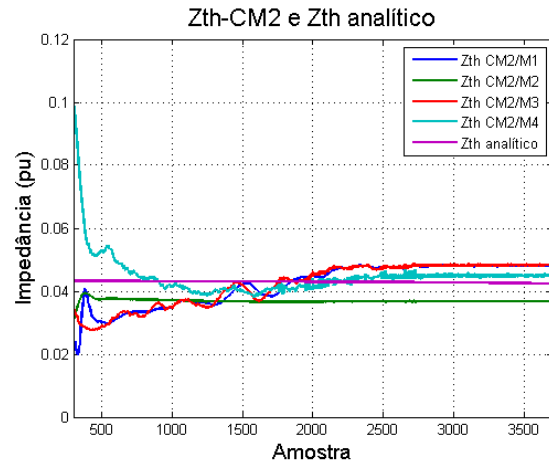
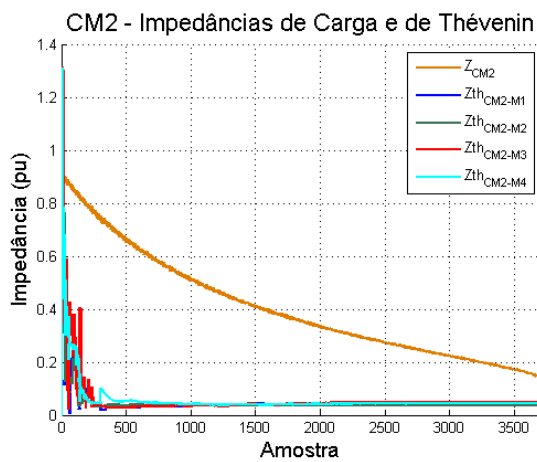
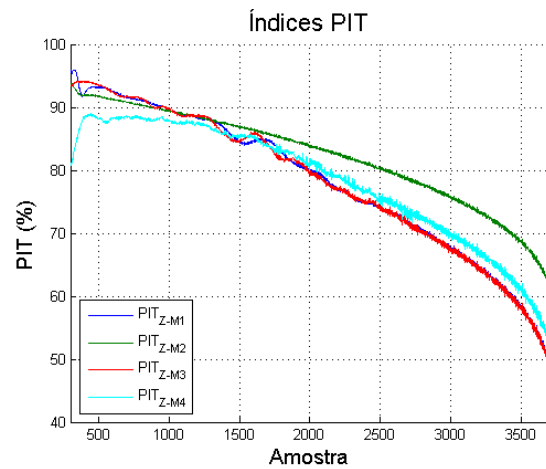
FIGURA 7 - $Z_{thCM2/M1-M2-M3-M4}$ Sem Erro.FIGURA 8 - $Z_{thCM2/M1-M2-M3-M4}$ Com Erro.FIGURA 9 - Z_{CM2} e $Z_{thCM2/M1-M2-M3-M4}$.

FIGURA 10 - Índices PIT.

3.2 – Resultados – Atuação do Monitor com Dados de Barramento do SIN

As figuras a seguir referem-se à barra de Taquaril, considerando o período de uma hora com medições fasoriais na taxa de 10 amostras/segundo. A Figura 11 mostra a tensão medida e a Figura 12 as impedâncias $Z_{thCM2/M1-M2-M3-M4}$.

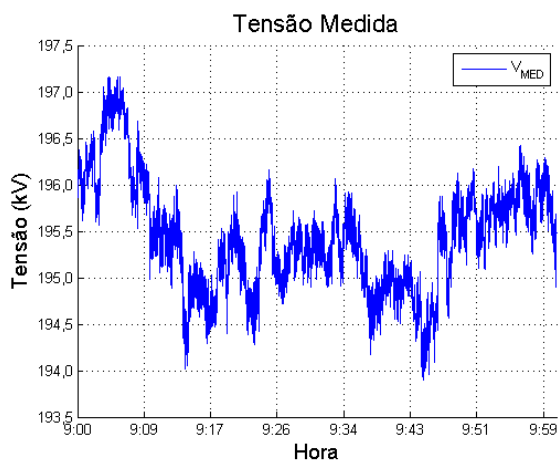
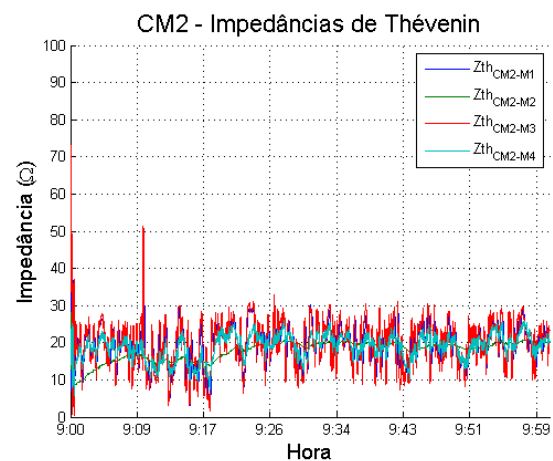


FIGURA 11 - Taquaril - Tensão Medida.

FIGURA 12 - $Z_{thCM2/M1-M2-M3-M4}$.

Pela Figura 13, constata-se que o ponto de operação de Taquaril encontra-se seguro com relação à estabilidade de tensão, tendo em vista a distância entre as impedâncias de carga e de Thévenin. Esta condição é reforçada pelo índice PIT, Figura 14, cujos valores se apresentam bem acima de zero (condição crítica limite da MST).

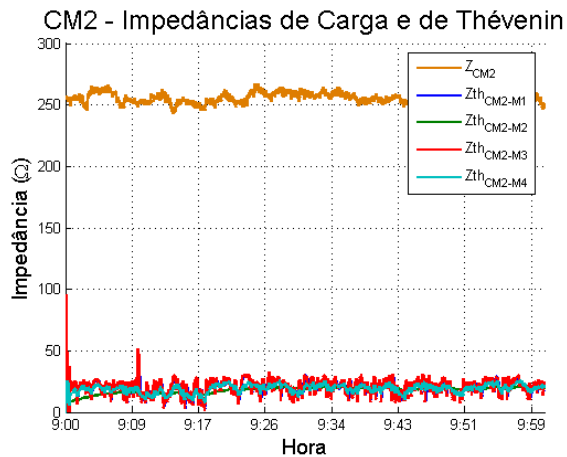
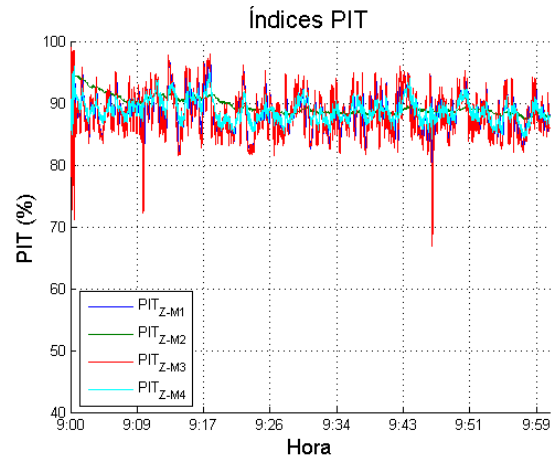
FIGURA 13 - Z_{CM2} e $Z_{thCM2/M1-M2-M3-M4}$.

FIGURA 14 - Índices PIT.

4.0 - CONCLUSÃO

O ambiente composto pelas ferramentas SimC e Monitor tem trazido ganhos significativos para as análises de estabilidade. A possibilidade de criação de cenários operativos pelo SimC permite, não apenas a avaliação dos sistemas elétricos, mas também a validação e aprimoramento de técnicas e metodologias de análise. O Monitor, com sua agilidade e qualidade de apresentação de resultados, possibilita a avaliação de inúmeras situações operativas, fato que configura importante ganho para a evolução dos estudos. Como exemplo desta evolução, o ambiente SimC-Monitor tem permitido a investigação de outros indicadores de estabilidade de tensão, não apenas o PIT. Neste sentido, destaca-se, como continuidade dos trabalhos da equipe do LRC, a composição de um novo índice, índice este em fase de validação final, objeto de publicação próxima.

5.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPq e FAPEMIG pela ajuda financeira.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANDRADE, S. R. C. Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada: Aplicações para Melhoria da Operação de Sistemas Elétricos de Potência. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- (2) SILVA, R. G. F. da. Aplicação dos Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada na Avaliação da Estabilidade de Tensão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UFMG, Belo Horizonte, 2010.
- (3) RIBEIRO, G. L. S. O Uso de Equivalentes de Redes na Análise da Estabilidade de Tensão dos Sistemas Elétricos de Potência. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UFMG, Belo Horizonte, 2011.
- (4) LEAL, O. E. S. Metodologia para Cálculo de Equivalente de Rede para Monitoração da Estabilidade de Tensão dos Sistemas Elétricos de Potência em Tempo Real. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UFMG, Belo Horizonte, 2013.
- (5) ANDRADE, S. R. C.; VALE, M. H. M.; CHAVES, F. S. Sistema de Medição Fasorial Sincronizada da CEMIG – SISMEF. VII CITENEL, Rio de Janeiro, 2013.
- (6) ANDRADE, M. M. S. Uso de Medições Fasoriais Sincronizadas na Determinação de Equivalentes para Avaliação da Estabilidade de Tensão dos Sistemas Elétricos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UFMG, Belo Horizonte, 2014.
- (7) VISACRO, S. V. Implementação de uma Ferramenta para Análise de Risco de Instabilidade de Tensão de Sistemas Elétricos. Projeto Final de Curso em Engenharia de Controle e Automação, UFMG, Belo Horizonte, 2014.
- (8) SILVA, F. de S. Influência das Incertezas de Medição no Cálculo de Equivalentes de Redes Aplicados nos Estudos de Estabilidade de Tensão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UFMG, Belo Horizonte, 2015.
- (9) University of Washington - Electrical Engineering; Power System Test Case Archive. Disponível em: <<http://www2.ee.washington.edu/research/pstca/>>. Acesso em: 10 dezembro 2016.
- (10) CHOW, J. H.; CHEUNG, K. W. Power System Toolbox Webpage. Disponível em: <http://www.eps.ee.kth.se/personal/luigiv/pst/Power_System_Toolbox_Webpage/PST.html>. Versão 1.0.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Pablo Rangel Abreu Andrade nasceu em Belo Horizonte (MG) em 1985. Possui graduação em Física pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas) em 2009 e em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário UNA em 2014. Possui experiência acadêmica como professor de matemática e física. Atualmente é estudante de mestrado em Sistemas de Energia Elétrica na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde desenvolve trabalhos relacionados ao tema Estabilidade de Tensão.



Maria Helena Murta Vale nasceu em Belo Horizonte (MG) em 1956. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 1979. Respectivamente em 1986 e 1995 obteve os títulos de mestrado e doutorado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Possui experiência em projetos voltados para o setor elétrico, tendo atuado na empresa Leme Engenharia de 1980 a 1987. Desde 1987, é professora do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG. Atualmente, é professora titular e seus campos de especial interesse incluem a Expansão e Operação dos sistemas de energia elétrica, incluindo as áreas de estudo e de tempo real.



Felipe de Sousa Silva nasceu em Passos (MG) em 1990. É engenheiro eletricitista graduado pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e obteve o grau de mestre em Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 2015. Atualmente é professor substituto na UNIFEI – campus avançado de Itabira e professor adjunto na Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira (FUNCESI). Os assuntos de maior dedicação e interesse são: estabilidade de tensão, geração distribuída, sistema elétrico de potência, dentre outros.



Silvério Vale Visacro nasceu em Belo Horizonte (MG) em 1989. É graduado em Engenharia de Controle e Automação (2014) pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atua na área de tecnologia da informação, com foco na implementação de sistemas multiplataforma para dispositivos móveis. Atualmente, exerce função de líder de desenvolvimento na DTI Digital Technologies.



Marina Moreira Silveira Andrade nasceu em Pará de Minas (MG) em 1988. É graduada em Engenharia Elétrica (2011) pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) e mestre em Engenharia Elétrica (2014) pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atualmente é professora na Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Campus Florestal. Atua nas áreas de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia Elétrica nos seguintes temas: sistemas elétricos de potência e estabilidade de tensão.



Raísa Dias Barbosa nasceu em Belo Horizonte (MG) em 1989. Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 2012. Atuou na Gerência de Ampliações e Reforços da Transmissão do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Atualmente é estudante de mestrado em Sistemas de Energia Elétrica na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), no tema Estabilidade de Tensão.



Fábio Donisete Silva nasceu em Patos de Minas (MG) em 1993. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em 2015. Atualmente é estudante de mestrado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia Elétrica na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) onde desenvolve trabalhos relacionados ao tema Estabilidade de Tensão.