



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO -GAT**

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

**FERRAMENTA QUASI-DINÂMICA UTILIZANDO O VETOR TANGENTE PARA IDENTIFICAÇÃO DE TEMPO DE BLOQUEIO DE TAPES DE LTC'S PARA EVITAR INSTABILIDADE DE TENSÃO**

**Valério O. Albuquerque (\*)**  
**CEMIG D**

**Rodnei D. Anjos**  
**CEMIG GT**

**A .C. Zambroni de Souza**  
**UNIFEI**

**B. Isaias Lima Lopes**  
**UNIFEI**

**RESUMO**

O trabalho propõe uma nova ferramenta de análise em SEP, com ênfase especial no controle coordenado de tensão em sistemas de transmissão e distribuição. A modelagem proposta considera as vantagens de uma formulação mais completa, apesar de apresentar uma redução no custo computacional final. Dessa forma, procura-se manter a estabilidade de tensão do sistema através da determinação do instante em que dispositivos de controle inviabilizam a operação, desencadeamento o processo de instabilidade de tensão e levando o sistema ao colapso de tensão. Identificar esse instante exige um cenário dinâmico e técnicas de análise de estabilidade de longo prazo e o monitoramento da sensibilidade das variáveis de estado, determinando o tempo em que a ação é contrária à esperada, efetivando o bloqueio do dispositivo. Na literatura diversos casos relatados têm demonstrado que ação de tapas de transformadores, por exemplo, podem levar o sistema à instabilidade pela falta de suporte de potência reativa e suas sucessivas atuações. O ponto a partir do qual tal comportamento se manifesta é corretamente identificado através de um índice proposto, que é calculado a partir da sensibilidade das variáveis de estado em relação ao parâmetro de controle escolhido. Os resultados são aplicados em um sistema teste e em um sistema real da CEMIG com o objetivo de validar a proposta.

**PALAVRAS-CHAVE**

Estabilidade de tensão, controle coordenado de tensão, parâmetros de controle, sistemas elétricos de potência

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Um modelo algébrico-diferencial representa muito bem o sistema elétrico de potência, permitindo analisar o processo transitório e de longo prazo desde a instabilidade iniciada em uma barra crítica até o colapso final de tensão do sistema inteiro. Há métodos diversos de solução de equações algébrico-diferenciais que simulam o processo completo, porém um pesado conjunto de técnicas são empregadas e nem sempre permitem alguma inferência sobre o comportamento direto entre os parâmetros de controle e as variáveis de estado que são afetadas durante o processo de instabilidade. Portanto, a partir de uma contingência aplicada ao sistema, pode-se querer avaliar o comportamento do sistema num ponto de operação após o fim do período transitório ocorrido. Neste caso, uma alternativa de análise de estabilidade de tensão a longo prazo foi proposta em [1,2,3]. Neste modelo, as equações diferenciais do sistema podem ser negligenciadas e um modelo algébrico pode ser empregado, permitindo, então, que os elementos discretos guiem o sistema de um ponto de equilíbrio a outro. Portanto, pode-se adotar ferramentas de análise estática, uma vez que um ponto de equilíbrio seja dado, além de reduzir drasticamente o esforço computacional.

Para entender as considerações feitas acima para o modelo dinâmico completo de um sistema elétrico [5], com as respostas de curto prazo negligenciadas, o conjunto de equações pode ser decomposto em escalas de tempo de interesse. Isto permite separar as equações e as variáveis envolvidas, como segue:

(\*) Avenida Barbacena, n° 1.200 – SA11°B2 – CEP 30.190-131 Belo Horizonte, MG, – Brasil  
Tel: (+55 31) 3506-3303 – Fax: (+55 31) 3506-5077 – Email: voa@cemig.com.br

- a) A dinâmica de longo prazo, consequência da evolução lenta da carga:

$$\mathbf{w} = \phi(\mathbf{t}) \quad (1)$$

- b) As dinâmicas discretas, associadas às atuações discretas de tapes, p.e. LTC, e de dispositivos limitadores de excitação das máquinas síncronas, como o OXL :

$$\mathbf{z}(\mathbf{k} + 1) = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}(\mathbf{k}), \mathbf{w}) \quad (2)$$

- c) As dinâmicas transitórias, associadas ao comportamento das próprias máquinas síncronas, de seus reguladores de tensão, atuação de PSS's, etc.

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) \quad (3)$$

- d) As relações algébricas das variáveis da rede e demais dispositivos:

$$\mathbf{0} = \mathbf{g}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) \quad (4)$$

Note que as variáveis  $\mathbf{x}$  estão relacionadas às grandezas algébricas com resposta praticamente instantânea; as variáveis  $\mathbf{y}$  às respostas dinâmicas no horizonte de curto e médio prazos; as variáveis  $\mathbf{z}$  às ações discretas de dispositivos como LTC's; e as variáveis  $\mathbf{w}$  são aquelas cujas as respostas dinâmicas são de longo prazo. Portanto, a equação (1) representa a evolução lenta da carga no tempo, característica de uma curva de carga, p.e., ao longo do dia em uma região e com sazonalidades intrínsecas; a equação (2) relaciona-se à dinâmica discreta dos elementos que compõem o sistema elétrico e que têm tempos bem definidos de atuação; a equação (3) é associada às variáveis de estado transitórias com respostas no tempo de até alguns segundos; finalmente, a equação (4) representa as características da rede, i.e., as equações de balanço tensão e corrente em barras terminais de geradores e em linhas de transmissão, respectivamente. A dinâmica descrita pelo conjunto de equações de (1) a (4) pode ser usada para caracterizar o comportamento do sistema durante o período de pós-falta. Porém, esta abordagem não é o foco deste trabalho, não sendo necessário maiores detalhes associados com o processo numérico de integração das equações. O ponto em análise é o comportamento a longo prazo, assumindo que o sistema mantém-se em equilíbrio após a fase transitória. Esta suposição nos guia à seguinte consideração em relação à equação (3):

$$\mathbf{0} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) \quad (5)$$

Portanto, considerando que a dinâmica transitória é negligenciada, nenhuma integração numérica é necessária. Assim, um método iterativo pode ser usado para calcular as variáveis de estado, identicamente ao fluxo de carga convencional. Para cada ponto de operação definido pela mudança discreta de um dispositivo de controle como LTC e OXL, o processo iterativo é executado, e as variáveis de estado determinadas. Este método, quase-dinâmico, é muito eficiente e com resultados interessantes a curto e longo prazos. Portanto, a partir do conjunto, agora puramente algébrico de equações, as ferramentas desenvolvidas são exploradas em sistemas testes e no sistema real da CEMIG. A partir dessa abordagem inicial e necessária, segue-se a idéia central do trabalho, que consiste nos estudos do controle coordenado de tensão aplicada em sistemas elétricos de potência. Para um conjunto de ações de controle inicialmente definidos, seguindo a proposta adotada no ambiente de planejamento e operação do sistema elétrico nacional, um conjunto de ações de controle, na ordem que se apresenta, pode ser justificado pela necessidade de uma ação inicial local, estendendo-se, à medida em que o processo tende a se espalhar pelo sistema interligado, aos dispositivos de controle na área ou região. Portanto, a hierarquia de controle neste trabalho segue a seguinte sequência:

- Ações de controle locais, através do chaveamento de bancos de capacitores e reatores existentes na área crítica ao processo de instabilidade;
- Atuação nos tapes dos transformadores. Neste caso, enquanto o nível de tensão estiver fora da faixa desejada, variações de tape ocorrem. A parada desta ação de controle obedece a dois critérios: limite físico de atuação dos tapes e ao bloqueio definitivo do tape pelo índice proposto neste trabalho;
- Controle secundário de tensão, que ocorre quando duas ou mais barras de geração controlam a mesma barra que desencadeia o processo de instabilidade (a barra crítica do sistema).

No entanto, para os estudos de casos e aplicação das técnicas desenvolvidas, o trabalho foca a atuação de um LTC no processo de instabilidade, limitando-se ao controle destacado no item 'b' do conjunto de hierarquias previstas.

## 2.0 - ÍNDICE DE MONITORAMENTO PROPOSTO

Nesta seção é proposta uma nova ferramenta na tentativa de se evitar processo de instabilidade e finalmente o colapso de tensão. Para conferir a consistência da metodologia, duas outras ferramentas são usadas para comparação: as equações características do LTC e a quantidade de carga recuperada com as mudanças de tapes. Este montante de carga recuperada é diretamente relacionado ao nível de tensão na barra controlada. A Figura 1 apresenta um esboço completo do comportamento de atuação do LTC após uma contingência.

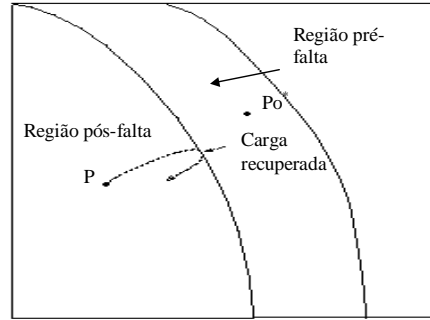


FIGURA 1 – Carga recuperada pelo LTC

Assumindo que uma contingência produza um baixo perfil de tensão no sistema após a falta. A dinâmica lenta do LTC tende a recuperar o nível de tensão na barra monitorada. As curvas mostram duas regiões (pré e pós-falta). O ponto  $Po^*$  é o ponto de equilíbrio pré-falta e  $P$  é imediatamente um ponto após a ocorrência do distúrbio. Nesta situação, um LTC caminha para  $Po^*$  seguindo a trajetória mostrada na Figura 1, porém as limitações do sistema são uma barreira para se atingir aquele ponto. Desta forma, o LTC pode deteriorar ainda mais as condições operacionais. O objetivo, portanto, é identificar o momento para o bloqueio do LTC, a partir do qual a continuação de manobras neste dispositivo provocaria efeitos não desejados de controle, levando finalmente o sistema ao colapso.

A partir do modelo geral de equações algébricas adotado, o conjunto de equações pode ser representado como segue (com  $\lambda$  sendo um parâmetro qualquer do sistema):

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}, \lambda) = 0 \quad (6)$$

Considerando que uma contingência pode levar o sistema à instabilidade, o modelo usado aqui já não identifica o comportamento transitório. Por outro lado, uma condição pós-falta estável poderia ocorrer, embora com um perfil baixo de tensão. Em uma situação assim, seria desejável aumentar o nível de tensão, o que exigiria uma ação de controle. O parâmetro que desempenha esta ação, levando o sistema a um próximo ponto operativo, é o tape do LTC. Consequentemente, neste caso particular,  $\lambda$  é a mudança de tape do LTC. Assim, diferenciando a equação (6) em relação ao parâmetro do sistema em um ponto de equilíbrio  $j$ , tem-se:

$$\left. \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \right|_j \frac{d\mathbf{x}}{d\lambda} \Big|_j + \left. \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \lambda} \right|_j = 0 \quad (7)$$

Dessa forma, o vetor tangente (sensibilidade da variável de estado com  $\lambda$ ) é dado por:

$$\frac{d\mathbf{x}}{d\lambda} \Big|_j = - \left( \left. \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \right|_j \right)^{-1} \left. \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \lambda} \right|_j \quad (8)$$

Onde:  $\left. \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \right|_j$  = matriz Jacobiana em  $j$ ;

$\left. \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \lambda} \right|_j$  = Derivadas parciais em relação ao parâmetro tape ( $\lambda$ ).

Observa-se que o vetor resultante (vetor tangente) é praticamente nulo, com exceção das derivadas associadas às barras que conectam o LTC. Nota-se também, que o cálculo do vetor tangente [6, 7] descrito é derivado do modelo estático de sistema, porém aqui com a incorporação das equações dinâmicas. Como o LTC é a única ação de controle considerada, para cada ponto operativo o método quase-dinâmico é empregado, e a seguinte redução é válida:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \Delta g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} & \frac{\partial f}{\partial y} \\ \frac{\partial g}{\partial x} & \frac{\partial g}{\partial y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (9)$$

Para um ponto de equilíbrio,  $\Delta g=0$ . Entretanto, a equação (9) é apresentada dessa forma apenas para ilustrar a redução matricial. A matriz  $J'$  obtida passa a ter a forma:

$$J' = \begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial y} - \frac{\partial g}{\partial x} \frac{\partial f^{-1}}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}_{(x_0, y_0)} \quad (10)$$

A equação (10) representa as derivadas parciais das equações de potência reativa com relação aos níveis de tensão, com todos os demais componentes representados. Assim, esta matriz contém implicitamente todos os elementos dinâmicos considerados. Como o LTC tende a recuperar o nível de tensão, sua ação é refletida em um ponto de operação seguinte. Esta ação tende a produzir um melhor perfil de tensão, e um ponto operativo estável a ser alcançado. No entanto, é possível que a partir de um ponto de operação, tal ação produza uma deterioração que pode, eventualmente, dirigir o sistema a um colapso de tensão [4]. A equação (8) mostra como as variáveis de estado mudam como função do parâmetro adotado e, desta forma, pode ser usada como índice de determinação de instante de bloqueio de tape do LTC. Assumindo o funcionamento do sistema em uma região normal de operação, há uma correspondência entre a mudança de tape e variação de tensão na barra controlada. Isto é confirmado diretamente por  $dV_{int}/d\lambda$ , onde o índice “int”, refere-se à barra de interesse ou controlada. Contanto que  $dV_{int}/d\lambda$  apresente o mesmo sinal, o nível de tensão na barra “int” é corretamente controlado. A partir do instante em que este sinal muda, a ação provê efeitos contrários ao desejado. A monitoração deste índice [7] é suficiente para a proposição do momento de bloqueio do LTC. A eficácia da proposta pode ser verificada a partir das equações características de um LTC e pela carga recuperada, a seguir.

A ação temporal contínua de um LTC:

$$\frac{dtape}{dt} = K(V_0 - V) \quad (11)$$

Com:

$K$  = constante característica do LTC;  
 $V_0$  = tensão de “set point”;  
 $V$  = tensão controlada pelo LTC.

A análise linear no ponto de equilíbrio permite avaliar o comportamento de ação do LTC. No máximo nível de tensão, tem-se:

$$\frac{d\Delta tap}{dt} = A \cdot \Delta tap \quad (12)$$

$$\frac{d\Delta tap}{dt} = -K \frac{\partial V}{\partial tape} \Delta tap \quad (13)$$

Quando o nível de tensão é máximo, a equação (13) atinge tem também um valor máximo.

Para avaliar o montante de carga recuperada pela ação de um LTC, considere a Figura 2, abaixo.

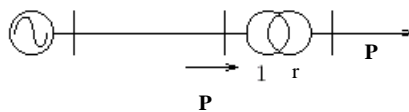


FIGURA 2 – LTC ideal (sem perdas)

Assuma, por simplicidade, que a carga seja modelada como impedância constante:

$$P = P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 \quad (14)$$

A equação acima descreve uma ação direta entre a carga consumida e o nível de tensão [8]. Assim, a carga recuperada tem um valor máximo quando o nível de tensão também é máximo.

### 3.0 - TESTES E RESULTADOS

Dois sistemas testes são considerados nesta seção. Para ambos os sistemas, as mudanças de tape do LTC ocorrem a cada 10 segundos, com a primeira mudança em 20 segundos. Primeiramente, o sistema de 4 barras usado na referência [1] é empregado. O modelo usado neste trabalho reproduz convenientemente os resultados discutidos naquela referência. Nesta seção, o sistema de 4 barras é utilizado para determinação do instante de bloqueio do LTC. Os resultados obtidos são mostrados nas Figuras 3-5. A partir dos resultados obtidos e também de [1], o sistema definitivamente entra em colapso de tensão em 100 segundos (s). As Figuras 3 e 4 mostram que a carga recuperada e a equação característica do LTC têm valores máximos em 90 s, enquanto a Figura 5 mostra que o vetor tangente muda de sinal em aproximadamente 94 s. Isto é suficiente para qualificar esta metodologia como eficiente para determinação do instante de bloqueio, já que além deste tempo (94 s), a carga recuperada tende a decrescer em função da redução da tensão controlada pelas novas variações de tape.

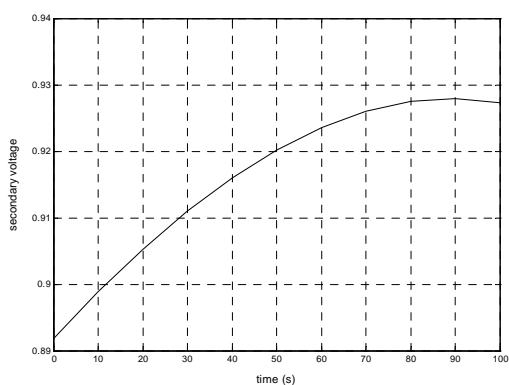


FIGURA 3 - Nível de tensão na barra 4

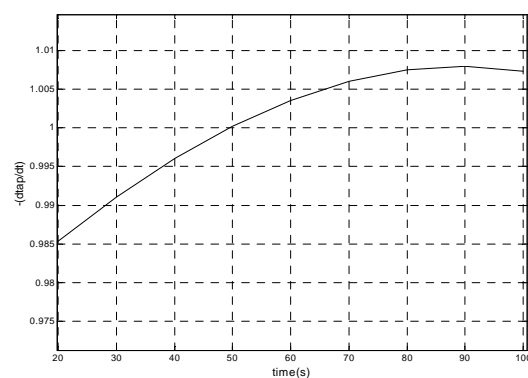


FIGURA 4 - Equação característica do LTC

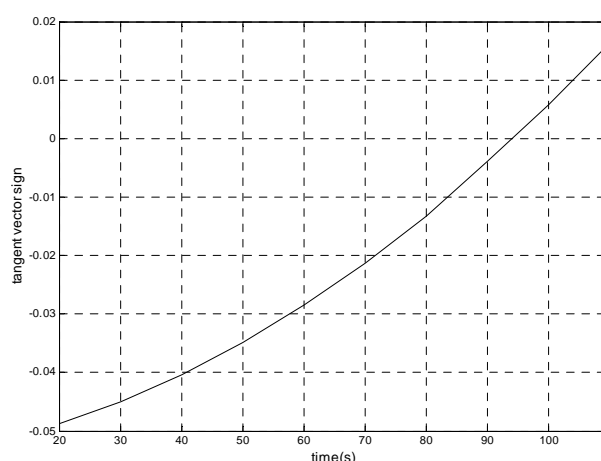


FIGURA 5 – Sinal vetor tangente

Após aplicar a metodologia ao sistema teste e validar os resultados, um sistema real da CEMIG é usado seguindo a metodologia apresentada. O objetivo é determinar o instante de bloqueio do LTC entre as barras de 345 e 138 kV, considerando a saída da LT de 345 kV entre Três Marias e Várzea da Palma devido a aumento de carga

abrupto de 15% no sistema [8, 9]. Inicialmente, as barras críticas do sistema são identificadas. A Figura 6 apresenta o perfil de tensões e as barras críticas.

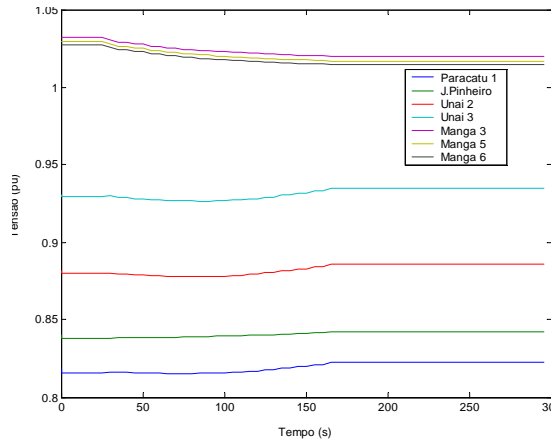


FIGURA 6 - Perfil de tensão das barras críticas

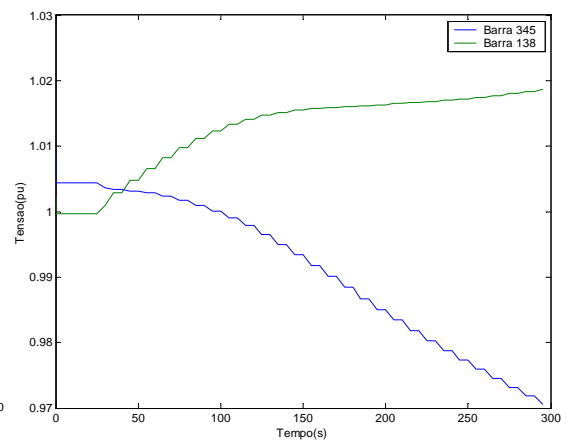


FIGURA 7- Nível de tensão - Várzea da Palma (LTC)

A partir da Figura 6, pode-se ver que Paracatu–Unai e Janaúba–Manga são as barras críticas do sistema. A Figura 7 apresenta o nível de tensão na SE de 345 e 138 kV em Várzea da Palma para a condição pós falta. O sistema é estável para a nova condição, e as mudanças de tape do LTC tendem a elevar o nível de tensão no lado de 138 kV, enquanto que o lado de 345 kV apresenta uma deterioração em seu nível de tensão. Como pode ser visto, o sistema pode ser levado à instabilidade em função de sucessivas mudanças do tape do LTC.

De forma a monitorar o instante de bloqueio, o vetor tangente é monitorado. Como mostrado na Figura 8 e efetivamente mostrado para o sistema teste em [1], uma mudança de sinal identifica o instante de bloqueio: que ocorre em 165 s. A metodologia descrita na seção 2 é aplicada, com o bloqueio do tape do LTC em 165 s, obtendo o comportamento da Figura 9.

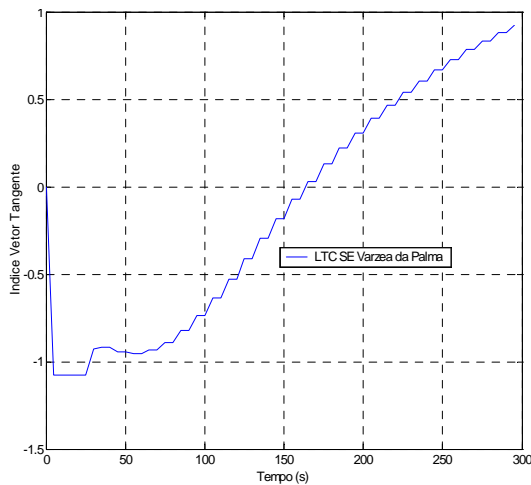


FIGURA 8 – Comportamento do vetor tangente

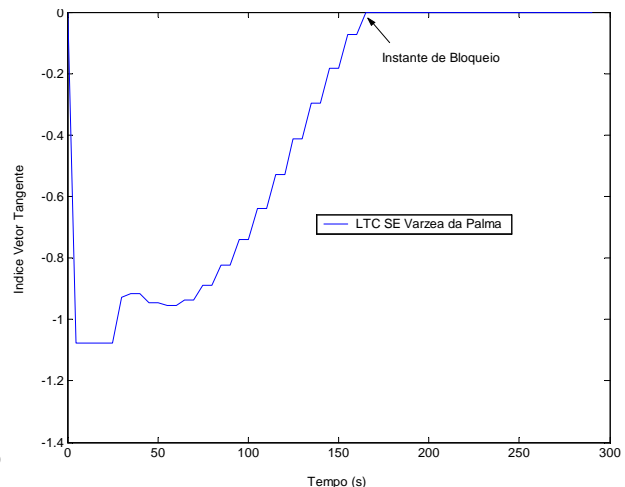


FIGURA 9 - Bloqueio efetivo do LTC

A Figura 10 mostra o nível de tensão em Várzea da Palma considerando agora a metodologia e o bloqueio de tape. Nota-se que o nível de tensão se mantém em 0,99 pu (345 kV) a partir de 165 s, e o sistema se mantém indefinidamente estável em relação à tensão.

Um segundo caso pode ser assumido quando a LT 345 kV Três Marias - Várzea da Palma é retirada, e ações discretas tentam melhorar o nível de tensão. A Figura 11 mostra o comportamento do nível de tensão nas barras Paracatu 1 e João Pinheiro. Estas são as barras do LTC agindo para restaurar a tensão na barra crítica. Como não há bloqueio (ainda) o sistema é levado à instabilidade. Nota-se que até 58 s, a tensão é continuamente recuperada, até que uma variação súbita de tensão desestabiliza o sistema. Durante este processo, nenhuma variação da carga foi notada, enfatizando o papel que ações de controle discretas têm no processo de instabilidade de tensão. A Figura 12 mostra o perfil de tensão em todas as barras, indicando o colapso geral em 65 s.

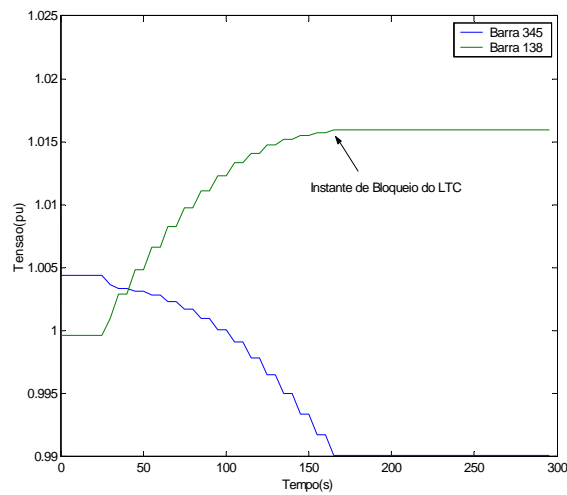


FIGURA 10 – Nível de tensão final em Várzea da Palma

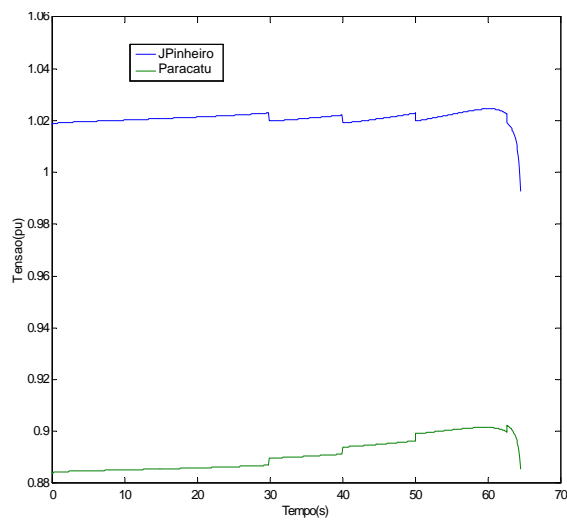


FIGURA 11 – Nível de tensão (LTC)

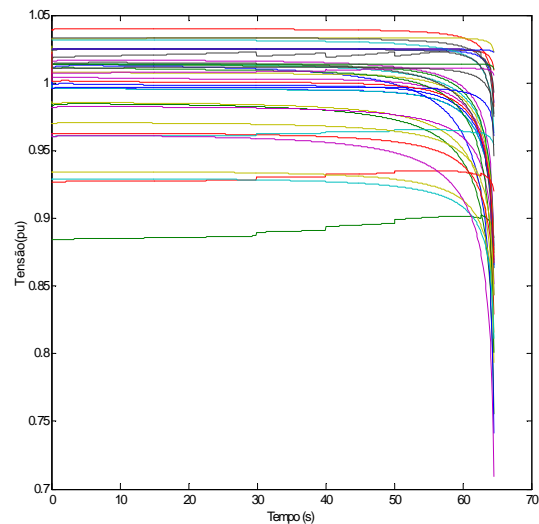


FIGURA 12– Perfil de tensão (Colapso de tensão)

#### 4.0 - CONCLUSÕES

Uma nova metodologia para detectar o instante de bloqueio de dispositivos de controle é proposta neste trabalho. Como auxílio de sistema teste e uso de LTC para estudo de longo prazo, aplicou-se a metodologia no sistema real da CEMIG. As mudanças de tape do LTC melhoram o nível de tensão degradado em função de uma contingência qualquer aplicada ao sistema. Como a finalidade de estudo a longo prazo, um modelo quase-dinâmico é considerado. Isto presume, portanto, que o sistema é capaz de superar o período transitório e um ponto de equilíbrio pós distúrbio é alcançado. Após esse período transitório, é assumido que pequenas perturbações, como a atuação de dispositivos lentos de controle, como o próprio LTC, é o único elemento que muda o ponto operativo do sistema. No entanto, estas mudanças de tapes podem levar o sistema à instabilidade, já que pontos de operação indesejáveis podem ser obtidos, com a degradação do perfil de tensões e o processo de instabilidade se iniciando. Identificar o ponto a partir do qual tal comportamento começa a se manifestar é corretamente identificado através de um índice proposto. Este índice é calculado através de métodos de análise estática empregados agora no sistema completo, considerando as mudanças de tape como parâmetro do sistema. Os resultados obtidos mostram que o índice pode ser efetivo para este propósito, já que o ponto de bloqueio pode ser coincidente com o ponto de máxima carga recuperada pela ação do LTC e fornece subsídios para manutenção da estabilidade de tensão do sistema com o maior nível possível antes que o processo de degradação seja desencadeado.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Van Cutsem, T., Jacquemart, Y., Pruvot, P., "Extensions and Applications of a Mid-term Voltage Stability Method", *Proc. Bulk Power System Voltage Phenomena III-Voltage Stability and Security*, ECC Inc., Switzerland, August 1994.
- (2) Van Cutsem, T., Vournas, C. D., "Voltage Stability Analysis in Transient and Mid-Term Time Scales", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 11, n.1, pp. 146-154, February 1992.
- (3) Causarano, W. J., Falcão, D. M., Taranto, G. N., "A Fast Time Domain Simulation Method for Voltage Stability Assessment", *Proceedings of the VI SEPOPE*, Salvador, Bahia, May 1998.
- (4) L. C. Araújo Ferreira, A. C. Zambroni de Souza, "Método Estático para Avaliação da Influência de Load Tap Changer na Estabilidade de Tensão", *VII Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning*, Curitiba, Maio 2000.
- (5) V. Ajjarapu, "Identification of steady state voltage stability in power systems," *Proc. of International Conference on High Technology in the Power Industry*, Mar. 1988, pp. 244-247.
- (6) A. C. Zambroni de Souza, C. A. Cañizares and V. H. Quintana, "New Techniques to Speed up Voltage Collapse Computations Using Tangent Vectors", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 12, No. 3, August 1997, pp. 1380-1387
- (7) A. C. Zambroni de Souza, "Discussion on Some Voltage Collapse Indices", *Electric Power Systems Research*, Vol. 53, No.1, pp. 53-58, January 2000.
- (8) S. Greene, I. Dobson and F. Alvarado, "Sensitivity of the Loading Margin to Voltage Collapse With Respect to Arbitrary Parameters", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 12, No. 1, Feb. 1997, pp. 262-272
- (9) A. C. Zambroni de Souza, J. L. Jardim, C. A. Silva Neto, A. A. da Silva, G. L. Torres, L. C. Araújo Ferreira, "A New Contingency Analysis Approach for Voltage Collapse Assessment," *Electric Power Systems Research*, 1998.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Valério Oscar de Albuquerque.** Nascido em 1963 em Urucânia, MG, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC - MG) em 1989, especialização no Curso de Especialização de Sistema Elétricos - CESE pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 1996 e mestrado em Engenharia Elétrica pela UNIFEI em 2002. Atualmente é Engenheiro de Planejamento Elétrico da Distribuição de Alta Tensão da CEMIG Distribuição S.A. e aluno de doutorado em Engenharia Elétrica na UNIFEI.



**Rodnei Dias dos Anjos.** Nascido em 1964 em Sabará, MG. Engenheiro eletricitista pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC - MG) em 1994 e especialização em Curso de Especialização de Sistema Elétricos - CESE pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 1996. Atualmente é Engenheiro de Planejamento Elétrico da Operação da CEMIG Geração e Transmissão S.A..



**Antonio Carlos Zambroni de Souza.** Nascido em 1963 em Volta Redonda, RJ. Engenheiro eletricitista pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1987), mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1990) e doutorado em Engenharia Elétrica - University Of Waterloo Canadá (1995). Atualmente é professor associado da Universidade Federal de Itajubá, tendo sido professor visitante (bolsista CAPES) junto à University of Wisconsin - Madison em 2000. Em 2008 esteve junto à University of Strathclyde, Escócia, financiado pelo CNPq. Atua na área de estabilidade de sistemas elétricos, com ênfase especial no tema de estabilidade de tensão em sistemas de transmissão e distribuição. Como sub-temas, trabalha em controle de tensão e potência reativa e análise de perdas elétricas. Atua também na área de mercados de energia elétrica.



**Benedito Isaías Lima Lopes.** Nascido em 1974 em Pouso Alegre, MG. Engenheiro eletricitista pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 1998 e doutorado em Engenharia Elétrica pela UNIFEI em 2004. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Itajubá. Membro dos Grupos de Pesquisas: GPESC, GESIS e GEAD. Professor dos cursos de pós-graduação em Engenharia Elétrica e Ciência e Tecnologia da Computação. Coordenador de projetos de pesquisa e desenvolvimento e parceria com Instituições e Empresas, Nacionais e Internacionais. Pesquisador nas áreas de estabilidade e controle de sistemas dinâmicos, aplicações de redes neurais artificiais e redes de comunicação de dados.