

## Conclusões, Recomendação e Trabalhos Futuros

Verificou-se que informações diferentes sobre duas questões importantes em estudos de estabilidade de tensão são fornecidas, quando se compara o modelo usual de transformador com *tap* variável com o modelo proposto, ou seja, informações sobre o ponto de máximo carregamento e informações sobre conseqüências de ações de controle de tensão.

Confirmou-se em laboratório que, para um sistema de duas barras, tanto o ponto de máximo carregamento, quanto a impedância equivalente da carga neste ponto, variam quando o *tap* é alterado, independente do sentido do fluxo de potência, conforme modelo proposto.

Por outro lado, o modelo usual, utilizado mundialmente em programas de fluxo de potência, informa que, dependendo do sentido do fluxo de potência, resultados qualitativamente opostos são obtidos, ou seja, o ponto de máximo carregamento e a impedância equivalente da carga neste ponto podem ou não variar. Verifica-se, dessa forma, que o modelo usual de transformador com *tap* variável, utilizado mundialmente em programas de fluxo de potência, apresenta resultados qualitativamente errados, em estudos de estabilidade de tensão.

Não foi possível confirmar em laboratório o fato de o modelo usual fornecer informações qualitativamente incorretas sobre ações de controle de tensão na região anormal para determinado sentido do fluxo de potência, devido à impossibilidade de se obter em laboratório todos os pontos da região anormal da curva  $\phi$  constante. Essa impossibilidade se deve principalmente ao aquecimento crescente do transformador na medida em que a carga era inserida. Apesar disso, foram obtidos alguns pontos na região anormal.

Diversas diferenças entre os modelos usual e proposto foram verificadas através de simulações computacionais em sistemas radiais e malhados, e em situações que o transformador tinha ou não a tensão em uma de suas barras controlada por gerador. Foram observadas diferenças, tanto nos pontos de máximo carregamento, quanto nas tensões de barras terminais ou não-terminais dos transformadores com *taps* variáveis dos sistemas-teste. Qualitativamente,

observou-se a existência de pontos de operação na região anormal onde as informações fornecidas sobre o comportamento da tensão (aumento ou diminuição), após corte de carga, são diferentes comparando-se os modelos usual e proposto.

No que tange ao controle de tensão através de variação de *tap* de transformador, diferenças foram observadas, comparando-se os dois modelos, no carregamento adicional no qual o limite do *tap* é atingido e no carregamento de retorno a faixa de operação do *tap*. Essa situação leva, novamente, a diferenças qualitativas entre os dois modelos de transformador, considerando os pontos na região normal ou anormal onde é informado que a tensão é controlada ou não, dependendo do modelo do transformador. Observou-se, ainda, diferenças nos valores das tensões não controladas e que o ponto de máximo carregamento obtido utilizando-se o modelo proposto é inferior ao valor obtido quando é utilizado o modelo usual. Essa constatação também foi observada nas simulações em que não foi efetuado controle de tensão através de variação de *tap*, em sistemas malhados. Verifica-se, dessa forma, que o modelo usual fornece informações mais otimistas, nas análises de fluxo de potência continuado, comparando-se com o modelo proposto.

Na maioria das simulações realizadas, as diferenças entre os modelos usual e proposto são maiores nas proximidades do ponto de máximo carregamento e na região anormal. Outro fator de destaque é que, quanto maior a diferença do valor do *tap* do transformador, em relação ao valor nominal, maiores serão as diferenças entre os dois modelos, sendo nula para *tap* nominal.

As simulações realizadas em sistemas-teste brasileiros mostraram diferenças entre os modelos usual e proposto nas soluções do fluxo de potência para casos-base na região normal. Para a situação em que foi utilizado controle automático de tensão, através da variação do *tap*, maiores diferenças foram observadas comparando-se com a situação em que não foi efetuado controle. Foram observadas diferenças quantitativas significativas, além da diferença qualitativa no que diz respeito ao sentido do fluxo de potência em linha de transmissão.

Foram realizadas, também, simulações nos seguintes programas utilizados para solução do problema do fluxo de potência: ANAREDE, ORGANON e PSAT. Esses programas, assim como outros existentes no mundo, utilizam o

modelo usual na representação de transformadores com *tap* variável. Foi efetuada comparação entre os resultados que seriam obtidos utilizando-se o modelo proposto, através da inserção de barras fictícias nos arquivos de dados.

As diferenças entre os dois modelos também podem ser observadas nos índices de estabilidade de tensão, devido aos diferentes pontos de operação fornecidos por cada modelo de transformador com *tap* variável.

Finalizando, para os estudos de estabilidade de tensão e simulações de fluxo de carga realizadas neste trabalho, o modelo proposto para transformador com *tap* variável apresenta resultados mais precisos comparados ao modelo usual. As diferenças quantitativas (bastante consideráveis em algumas simulações) já seriam justificativas para a utilização do modelo proposto de transformador com *tap* variável, considerando-se o baixo custo para sua implementação computacional. Todavia, merece maior destaque nesta tese as diversas diferenças qualitativas entre os resultados fornecidos pelos dois modelos, de extrema relevância para o operador. Assim, **recomenda-se a utilização do modelo proposto para transformadores com *tap* variável**, principalmente para as análises de fluxo de potência e de estabilidade de tensão. Destaca-se que o modelo proposto também é válido para autotransformadores e pode ser utilizado em qualquer estudo em regime permanente.

Para trabalhos futuros, propõe-se:

- Avaliação do comportamento eletromagnético do transformador com *tap* variável, para dedução de como varia, analiticamente, a impedância total do transformador (obtida através do teste de curto-circuito com *tap* nominal) com a alteração do *tap*. Os resultados poderiam ser utilizados para aperfeiçoamento do modelo proposto (e mesmo do usual);
- Comparação das ações de reforço das condições de estabilidade de tensão fornecidas pelos modelos usual e proposto;
- Comparação das informações fornecidas pelos modelos usual e proposto em diversas ferramentas e técnicas de análise de sistemas elétricos de potência, como em estimação de estado.