1 Introdução

1.1 Considerações Gerais

Os primeiros sistemas elétricos de potência eram pequenos e operavam de forma isolada, sendo destinados a atender pequenos consumidores de energia localizados nas proximidades das unidades geradoras. Com o passar do tempo, o incremento do consumo de energia elétrica, associado ao aumento da população e desenvolvimento do parque industrial ocasionou a expansão dos sistemas elétricos, tornando-se necessário o aproveitamento de centros energéticos distantes dos centros consumidores. Dessa forma, os sistemas foram aumentando de tamanho e, conseqüentemente, em complexidade de operação [1].

Com a complexidade da operação dos sistemas elétricos, os riscos de *black outs* na rede aumentam significativamente [2], surgindo a necessidade de um planejamento detalhado de sua operação a fim manter o sistema operando sob condições apropriadas, respeitando os padrões de qualidade com máxima eficiência, de acordo com os procedimentos de rede definidos pelo ONS e homologados pela ANEEL, no caso do Brasil. Adicionalmente torna-se necessário para sua operação, o desenvolvimento de ferramentas computacionais que facilitem analisar rapidamente suas condições de operação.

O programa de fluxo de potência [3] é a ferramenta computacional mais utilizada em diversos estudos normalmente realizados pelas empresas do setor elétrico. Seu espectro de utilização abrange desde as fases de planejamento e projeto da expansão até o planejamento da operação e operação em tempo real. Sua aplicação pode constituir o objetivo do estudo em si ou ser parte de estudos mais complexos tais como os de: análise de sensibilidade, segurança de tensão, estabilidade eletromecânica, estabilidade a pequenas perturbações, dentre outros [4]. Consiste basicamente no cálculo das variáveis de estado (tensões nodais em módulo e fase) e fluxos de potência do sistema transmissão, de acordo com um determinado nível de carga e topologia estabelecido.

Praticamente todos os programas atuais de uso geral de fluxo de potência utilizam para sua solução o método de *Newton Raphson* devido a seu bom desempenho computacional no estudo de casos reais de grande porte, e também por sua flexibilidade na representação de dispositivos de controle tais como: transformadores do tipo LTC (*Load Tap Changer*), Compensadores Estáticos de Potência Reativa (CER), sistemas de transmissão em corrente contínua (HVDC), entre outros. É possível demonstrar que o método de *Newton-Raphson* apresenta uma taxa de convergência quadrática, isto é, a norma do vetor de resíduos diminui com o quadrado do número de iterações. Isto significa que o método converge rapidamente na vizinhança da solução. Entretanto, essa convergência é fortemente dependente das condições iniciais do problema, em sistemas de potência definida por tensões e ângulos em barras de carga. Caso a condição inicial não esteja contida em uma região próxima da solução procurada (região de atração) o processo iterativo poderá convergir para uma solução não desejável ou até mesmo apresentar uma divergência.

Além de isso, com o aumento do número de dispositivos de controle, representados nos casos práticos de fluxo de potência, também pode ser verificado a diminuição da eficiência do método de *Newton-Raphson*, que ocorre devido ao aparecimento de interações não coordenadas entre as ações de controle dos modelos incorporados ao problema. Em condições extremas, estas interações podem até mesmo impossibilitar a obtenção de uma resposta para o problema, gerando grandes dificuldades para a condução eficiente de diversos estudos [5].

Assim, para evitar as dificuldades de convergência na solução do fluxo de potência, devido à inadequada coordenação e especificação das variáveis de controle destes dispositivos, é necessário desenvolver metodologias eficientes para detectar de forma automática as interações existentes entre os diversos dispositivos de controle, visando tomar as medidas corretivas necessárias para evitar sua interação indevida e problemas na solução do fluxo de potência.

1.2 Objetivo

O problema de conflito entre dispositivos de controle normalmente é tratado pela crítica de dados de entrada. Estas críticas estão sempre limitadas a topologias específicas do sistema e podem falhar na identificação de problemas de configuração dos equipamentos de controle e, além disso, esta estratégia não permite uma análise detalhada do problema [2]. Então, para obter uma análise detalhada do problema, em [2] foi proposto um método baseado na utilização da análise de autovalores e autovetores para a identificação e avaliação de interações entre os dispositivos de controle no problema de fluxo de potência.

O método consiste na decomposição da matriz de sensibilidade de controles [J_{sc}], em autovalores e autovetores, obtida a partir de uma redução da matriz jacobiana expandida. Os autovalores identificam os diferentes modos de interações entre os dispositivos de controle. Os autovetores à direita e à esquerda, associados aos respectivos autovalores, fornecem informações sobre os fatores de participação e *mode-shape*, que são utilizados na análise. Em outras palavras, fornecem informações relativas aos dispositivos de controle envolvidos nestas interações e quais são os equipamentos em que as medidas corretivas seriam efetivas.

A partir da utilização do método proposto em [2], em sistemas com elevado número de dispositivos de controles, verificou-se a presença de autovalores que apresentam informações similares sobre as significativas interações entre os dispositivos de controle. Foi inicialmente identificado que estas situações ocorriam quando havia mais de dois equipamentos de controle envolvidos no mesmo conflito.

Neste sentido, este trabalho tem como principal objetivo estender o método de análise do conflito entre dispositivos de controle proposto em [2], desenvolvendo um método que seja capaz de identificar e agrupar os autovalores associados a tais situações. Em outras palavras, pretende-se neste trabalho o desenvolvimento de uma metodologia capaz de identificar e agrupar os autovalores (com valores próximos de zero), selecionados na análise de conflito de controles, associados a situações que envolvem a interação de mais de dois equipamentos de controle.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta tese está dividida em quatro capítulos e três apêndices, levando em conta este capítulo introdutório.

No Capítulo 2 é apresentado o cálculo da matriz de sensibilidade de controles [MSC]. Esta matriz [MSC] está elaborada com base num modelo utilizado para a representação do controle de tensão local das barras PV no problema de fluxo de potência [6]. Além de isso, são obtidos os autovalores e autovetores da matriz [MSC] para sua análise e aplicação na identificação de interações entre dispositivos de controle. São mostrados e discutidos neste capítulo os resultados obtidos para casos de pequeno e grande porte.

O Capítulo 3, baseado na análise e aplicação da matriz [MSC] obtida no Capítulo 2, propõe o método de identificação e agrupamento dos autovalores que possuem informações similares sobre as significativas interações entre os equipamentos de controle. Da mesma forma que no capítulo anterior, serão discutidos os resultados referentes a esta parte do trabalho.

O Capítulo 4 apresenta as principais conclusões do trabalho, sendo sugeridos temas para trabalhos futuros para a continuidade do trabalho.

No Apêndice A é feita uma breve revisão do método de *Newton-Raphson* aplicado ao problema de fluxo de potência.

No Apêndice B apresenta-se uma revisão do método de identificação e análise da interação dos dispositivos de controle, proposto pela referência [2].

No Apêndice C estão os dados dos sistemas testes utilizados nos Capítulos 2 e 3. Todos os dados estão apresentados no formato MATLAB do programa elaborado neste trabalho.