CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A avaliação do desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica constitui um desafio que objetiva dar o devido embasamento técnico e econômico ao planejador, bem como prover o operador com um diagnóstico de performance do sistema. Evidentemente, para uma boa decisão da concessionária é necessário um adequado e eficiente diagnóstico do desempenho de suas redes de distribuição voltado para o contexto regulatório vigente, respeitando os anseios do consumidor e se adequando às políticas internas da empresa.

Em geral, o critério para avaliação do desempenho de um sistema de distribuição está intimamente relacionado à qualidade do produto, que envolve dentre outras coisas, o desempenho relacionado ao nível de tensão em regime permanente, os distúrbios transitórios e a continuidade do fornecimento. Outros aspectos relativos ao desempenho intrínseco da rede, apesar de não estarem diretamente relacionados à qualidade, são as perdas elétricas.

A avaliação direta do desempenho de uma rede pode ser feita por meio de medições dos estados da rede; ou seja, através de um sistema de monitoramento dos parâmetros elétricos em pontos diversos do sistema. Neste caso, cabe uma análise dos custos e benefícios advindos dos equipamentos a serem instalados, que podem ser permanentes ou permanecerem por um período de tempo instalados, bem como uma análise dos custos operacionais para sua

implementação. Mesmo assim, seria necessário o desenvolvimento de uma metodologia e de uma sistemática de análise dos dados de campo.

Alternativamente, complementando a política de monitoramento intensivo, pode-se desenvolver um trabalho de gestão de dados – que, em geral, são volumosos, dinâmicos e apresentam um alto grau de incerteza – permitindo lidar com as informações obtidas através de medições, sejam elas abundantes ou não. Este trabalho requer um tratamento matemático que identifique a informação de maior relevância para os objetivos estrategicamente definidos. Pode-se identificar também a redundância de medições e, no caso mais extremo, justificar a retirada de um ponto de monitoramento. A metodologia desenvolvida neste trabalho é aplicável às empresas que dispõem de poucas informações advindas de medições e de monitoramento.

1.2 MOTIVAÇÃO

Com a privatização das concessionárias de distribuição de energia elétrica, foram definidos regulamentos para o controle do desempenho do serviço e do produto ao consumidor. Em particular, no Brasil, foi definida uma sistemática para apuração dos níveis de tensão em regime permanente, nas unidades consumidoras de baixa tensão [1] a [6]. Esta campanha de medições gerou um levantamento inédito no país, levando em conta a expressiva quantidade de unidades consumidoras medidas e o caráter permanente da mesma. No entanto, o controle de qualidade do produto no Brasil é baseado no controle através de indicadores, de maneira que alguns aspectos do comportamento das redes medidas não são incorporados aos indicadores, da maneira como eles estão definidos atualmente. Portanto, apesar do grande avanço no diagnóstico de tensão no Brasil, não há ainda uma divulgação expressiva do proveito que se pode extrair desta valiosa informação, de maneira que o desafio deste trabalho

é explorar os benefícios advindos das medições de tensão para obtenção de um melhor diagnóstico de desempenho das redes de distribuição.

Adicionalmente, mesmo que em versão não definitiva, a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, disponibilizou uma minuta do documento denominado "Procedimentos de Distribuição" [7], que versa, no Módulo 4 – Procedimentos Operativos, sobre a necessidade de acompanhar o desempenho elétrico na distribuição sob a ótica do congestionamento de redes. O órgão regulador sinaliza com esse documento a intenção de controlar os processos de planejamento e operação das concessionárias e não apenas a qualidade final do serviço prestado. Assim sendo, a avaliação do desempenho das redes de distribuição não servirá apenas para alimentar os procedimentos internos da empresa, mas também para promover um controle mais detalhado da concessionária pelo órgão regulador.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho objetiva agregar os esforços advindos da campanha de medições de tensão das concessionárias distribuidoras de energia elétrica, fazendo uso de técnicas de otimização combinatória evolucionária multiobjetivo, sob a ótica probabilística e com foco na estimação do desempenho elétrico das redes a partir da estimação de estados em regime permanente, não sendo abordados os eventos de natureza transitória, curto-circuitos e confiabilidade.

Por fim, a estimação do desempenho proposta desencadeia uma série de aplicações específicas, que podem inovar os procedimentos de planejamento, engenharia, projeto e operação de uma distribuidora. Para evidenciar o potencial e a abrangência deste estudo, podem-se apontar as seguintes aplicações:

- avaliação do ajuste de reguladores automáticos de tensão;
- análise probabilística de transgressão dos limites regulatórios de tensão;
- estimação dos indicadores de tensão em pontos e em unidades consumidoras não medidas;
- avaliação preventiva de violações de tensão dos pontos sorteados a serem medidos;
- identificação de medições redundantes;
- indicação de desligamento de energia em trechos da rede;
- mapeamento de demandas não prováveis de unidades consumidoras a partir de medições de carga em outros pontos da rede (soluções não factíveis);
- indicação de furtos/fraudes em unidades consumidoras ou na rede;
- estimação das perdas elétricas;
- alocação "ideal" de medidores de tensão nas redes;
- estimação de demanda das cargas;
- mapeamento do carregamento de equipamentos e dos condutores elétricos;
- identificar o grau de exposição da concessionária aos processos de restituição devido a prestação de serviço de qualidade insatisfatória;
- identificar o grau de regulação possível de uma rede/sistema de distribuição, tendo em vista a (in)disponibilidade de reguladores automáticos, comutadores automáticos, *taps*, *boosters*, capacitores fixos/chaveados;
- gerar insumos para a reavaliação dos critérios de planejamento de redes;
- avaliar a opção de utilizar transformadores de distribuição com mecanismo externo para mudança da posição do *tap*;
- coordenar a regulação entre os reguladores de tensão automáticos, comutadores automáticos e/ou *taps* dos transformadores de distribuição, considerando os custos de capital, operação e manutenção, bem como a confiabilidade do sistema;
- promover informações adicionais a nível operacional e de planejamento tático.

1.4 METODOLOGIA

A estimação de estados de uma rede de distribuição é modelada segundo um problema de otimização, onde se procura minimizar uma função objetivo definida como sendo o quadrado da distância geométrica entre os parâmetros conhecidos com maior precisão, como por exemplo, o valor da tensão no ponto medido e o valor estimado. Esta modelagem constitui um subgrupo dos problemas de otimização combinatória denominado de Programação por Metas (*Goal Programming*). Neste caso, o espaço de decisões são os valores das cargas de uma rede. Neste problema podem ser incluídas restrições tais como a potência ativa e reativa do barramento de saída do circuito alimentador.

A estimação de estados proposta é probabilística porque os valores das cargas são discretizados a partir do valor médio e de desvio padrão típicos de cada unidade consumidora. Utilizando a função de Gauss, são montados diversos intervalos de carga, atribuindo-se a cada um deles uma probabilidade de ocorrência. Sendo assim, a cada estimação de estado atribui-se uma probabilidade de ocorrência definida como o produto das probabilidades de ocorrência de cada carga. Desta maneira, são construídos os histogramas probabilísticos de ocorrência de cada parâmetro estimado (tensão nas barras, correntes nos trechos, fluxos de carga e perdas).

Como conseqüência da discretização das cargas, a otimização proposta é de natureza combinatória, uma vez que o Espaço de Decisões compõe uma combinação de cada intervalo de carga para todas as unidades consumidoras. Se, por exemplo, uma rede apresentar 10.000 unidades consumidoras e cada uma tiver sua carga discretizada em 20 intervalos, o Espaço de Decisões terá uma dimensão de $20^{10.000}$. Fica evidente a dificuldade prática de processar todo o Espaço de Decisões, uma vez que a dimensão do problema é exponencial e não polinomial. O desafio deste trabalho é limitar a quantidade de processamento do Espaço de Decisões definindo, a priori, as soluções factíveis ou muito próximas às factíveis.

O problema de otimização formulado é multiobjetivo pois procura soluções que satisfaçam vários atributos ao mesmo tempo, tais como a minimização da proximidade do valor da tensão estimada com relação ao valor medido e a maximização da probabilidade de ocorrência. O método de avaliação utilizado é o de ordenação das soluções a partir do conceito de dominância de Pareto.

Partindo-se do pressuposto de que é possível existir mais de uma solução factível (o que vai depender de inúmeros atributos, tais como o número de intervalos adotado, do número de restrições adotado, do grau de exigência das restrições – variação permitida em torno de um valor medido –, dentre outras), a estimação de estados proposta não estará focando seus esforços somente na obtenção da solução mais provável, mas na obtenção de um conjunto de soluções factíveis, ordenadas conforme um critério de dominância. Sendo assim, a devida manipulação das diversas soluções do Espaço de Decisões deste trabalho foi formulada segundo um método evolucionário, que lida com um conjunto de soluções a serem aperfeiçoadas a cada geração. As soluções ordenadas constituem uma estratégia de elitismo, onde as soluções melhor ordenadas são selecionadas para gerarem outras soluções factíveis. A preservação da diversidade é garantida a priori, ou seja, na determinação dos intervalos de carga.

Os algoritmos de busca das soluções factíveis são heurísticas construtivas, não obstante, a devida aplicação das mesmas pressupõe uma estrutura de processamento controlada. Neste trabalho, foi proposto um Método Evolucionário Metaheurístico, que constitui uma arquitetura com um bom grau de flexibilidade e trabalha com conjuntos de soluções.

Adicionalmente, visando um incremento adicional na performance da busca metaheurística, propõe-se uma metodologia de redução de redes, específica para a estimação do desempenho de redes, tendo como conseqüência uma diminuição expressiva das opções a serem mapeadas

e do tempo de processamento envolvido. Do ponto de vista metodológico, a redução de redes constitui uma heurística destrutiva.

De posse das técnicas propostas, é possível mapear o conjunto de soluções factíveis, bem como levantar o conjunto dominante mais próximo do conjunto Pareto-ótimo. Um bom resultado é aquele cujas soluções estejam bem distribuídas no conjunto dominante gerado. Algumas metodologias mais simples (programação quadrática) podem oferecer soluções viáveis bem rápidas, o que pode ser interessante para uma estimação como avaliação operacional da rede ou servir de insumo para uma heurística de busca local. Já as metodologias mais complexas podem oferecer soluções mais completas no espaço viável.

A estruturação do problema fica, desta maneira, versátil e aberta, podendo agregar aspectos adicionais de modelagem das cargas e dos circuitos de distribuição, controlando os parâmetros de processamento dentro de um tempo viável e do nível de confiança dos parâmetros de entrada. Pode-se, por exemplo, incluir os seguintes aspectos no modelo, não necessariamente excludentes entre si:

- variação de resistência ôhmica dos condutores em função da temperatura ambiente;
- variação horária do fator de potência na baixa tensão;
- estudos de desequilíbrio da rede;
- montar uma composição de modelos de carga (corrente, potência e impedância constante);
- ponderar outros parâmetros medidos na rede, tais como demanda de uma certa unidade consumidora, ou corrente num ponto específico;
- simular a rede com pontos adicionais de medição de tensão;
- identificar a possibilidade de descontinuidade em trechos do circuito.

1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este trabalho está organizado da seguinte maneira:

- Capítulo 1: introdução do tema, caracterizando o problema, a sua motivação, objetivos a serem alcançados e um resumo da metodologia proposta;
- Capítulo 2: apresentação do histórico referente à estimação do desempenho elétrico na distribuição;
- Capítulo 3: apresentação das diversas classes de métodos para solução de problemas de otimização combinatória multiobjetivo;
- Capítulo 4: descrição da formulação matemática para o caso específico de estimação do desempenho elétrico de redes de distribuição;
- Capítulo 5: apresentação e discussão dos resultados obtidos a partir da aplicação de um método evolucionário metaheurístico para um caso ilustrativo;
- Capítulo 6: conclusões do trabalho, evidenciando a potencialidade do método proposto, as contribuições, bem como dos resultados obtidos.