

5

Conclusões e trabalhos futuros

5.1

Conclusões

O planejamento da operação energética brasileiro é realizado por meio de uma cadeia de modelos matemáticos cujo critério de otimização é a minimização do valor esperado do custo total de operação ao longo do período de planejamento. No entanto, após o racionamento de energia ocorrido entre 2001 e 2002, a investigação da consideração de critérios de otimização relacionados à segurança operativa mostrou-se importante.

A necessidade de desenvolvimento de uma modelagem que possibilite a consideração de múltiplos objetivos no processo de otimização foi o principal motivador para a realização deste trabalho, cujo foco é a proposta de uma nova modelagem para o problema de planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos de médio prazo (período de planejamento de 5 anos). Esta modelagem pode ser estendida também para o horizonte de curto prazo (horizonte de até 1 ano), embora não tenha sido abordado neste trabalho.

O cromossomo proposto é formado por genes de números reais que representam as metas de geração hidráulicas para cada subsistema equivalente em cada estágio do período de planejamento. A partir dessas metas de geração hidráulica são construídas soluções viáveis para o problema para um conjunto de cenários de afluências com representação em pente. Esta solução pode ser obtida a subsistemas equivalentes por meio de algoritmos especialistas que simulam a operação de sistemas hidrotérmicos segundo alguma regra de operação, conforme realizado neste trabalho, ou por meio de algoritmos exatos de otimização linear ou não-linear. Posteriormente, a solução viável obtida para o conjunto de cenários é avaliada segundo critérios que podem estar relacionados, por exemplo, à operação econômica ou à segurança operativa.

Para avaliar a modelagem proposta foi desenvolvido um protótipo utilizando a linguagem C# e as bibliotecas GAcOm e MULTICoM, ambas desenvolvidas pelo Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada – ICA/PUC-Rio, no qual cinco tipos de função de avaliação foram implementados. O pri-

meiro trata o problema mono-objetivo de minimização do valor esperado do custo total de operação, enquanto os dois seguintes são abordagens multi-critério cujos objetivos estão relacionados diretamente à segurança operativa e, por último, duas abordagens nas quais a função de avaliação considera aspectos econômicos e de segurança operativa eletroenergética.

As diferentes funções de avaliação propostas foram submetidas a um estudo de caso baseado no Programa Mensal da Operação, desenvolvido pelo ONS, de Janeiro de 2008. Alguns resultados foram comparados com o modelo NEWAVE, atualmente utilizado para o planejamento de médio prazo realizado pelo ONS. Embora o protótipo apresentado necessite ainda de muitas melhorias, os resultados obtidos até o momento mostram que existem ganhos importantes ao se considerar os riscos de déficit explicitamente na otimização, tais como a estabilização dos riscos ao longo dos anos e a equalização destes riscos entre os subsistemas.

Os AGs, embora muito aplicados na literatura em estudos de curtíssimo prazo, não possuem nenhuma aplicação de sucesso no planejamento da operação de médio prazo de sistemas hidrotérmicos. Neste trabalho é descrita uma potencial forma de utilização desta técnica nesses estudos. Embora tenham sido citadas algumas vantagens da modelagem proposta, a aplicação prática necessita de aprimoramentos já detectados e que serão descritos neste capítulo. Essa dissertação propõe um protótipo de uma ferramenta de otimização para o planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos interligados que, se devidamente desenvolvida, resultará em um modelo mais amplo, que poderá se estender do médio ao curto prazo.

5.2 Trabalhos Futuros

A modelagem proposta, embora promissora, possui alguns pontos que necessitam ser aprimorados, e sobre os quais os trabalhos futuros deveriam ser orientados. Entre esses pontos, podem ser citados:

- *Alto custo computacional*

A função de avaliação implementada neste trabalho mostrou-se pouco eficiente, o que se agravou ao submetê-la a um conjunto de cenários. Esta fato torna a execução do protótipo demorada, e inviabiliza estudos relativos à melhor parametrização do AG, tais como o tamanho ideal da população e número de gerações, assim como a sensibilidade do problema ao uso de diferentes taxas para os operadores de mutação e crossover. A fim de melhorar o desempenho computacional do protótipo desenvolvido pode-se:

- otimizar o código da função de avaliação implementada, caso seja possível obter um ganho de tempo computacional;

- substituir a função de avaliação implementada por um problema de programação linear solucionado pelo algoritmo *simplex*, por exemplo, que é extremamente rápido para problemas de pequeno porte, como é o caso de cada sub-problema solucionado pela função de avaliação;

- utilizar, conjuntamente com uma das soluções acima, processamento paralelo para possibilitar o aumento no tamanho da população e no número de gerações, além de possibilitar a execução de algoritmos genéticos com múltiplas populações.

- *Espaço de busca muito grande*

A dimensão do espaço de busca do cromossomo proposto, embora reduzida pela consideração de metas de geração hidráulica a sistemas equivalentes, é extremamente grande, o que implica na necessidade de um número excessivo de indivíduos evoluir por um número também grande de gerações. Este problema não pode ser contornado, sendo necessário que o desempenho computacional da implementação seja melhorado para que se possa realizar uma melhor otimização. O uso de outros operadores de crossover, tal como o *blend-crossover* que é capaz de extrapolar o intervalo entre os pais (Seção 3.2.3), assim como AGs com inspiração quântica, podem viabilizar a obtenção de melhores soluções com um mesmo número de gerações e indivíduos.

Com relação às vantagens desta modelagem, sobre as quais os trabalhos futuros também devem extrair o máximo benefício, destacam-se:

- *Possibilidade de representação do problema de forma híbrida temporal e espacialmente*

- A representação espacial é realizada por meio da função de avaliação. Enquanto os cromossomos correspondem às metas de geração hidráulica agregadas por subsistemas para cada estágio, estas metas podem ser avaliadas a subsistemas equivalentes ou até mesmo a usinas individualizadas, seja por meio de algoritmos que emulem um conjunto de regras de operação, seja por meio de algoritmos de programação linear ou não-linear, nos quais o sistema pode ser bastante detalhado.

- A representação temporal, por sua vez, é realizada inicialmente por meio da divisão do cromossomo e posteriormente pela função de avaliação, que deve considerar informações adequadas à discretização usada pelo cromossomo. Portanto, o cromossomo pode representar os

estágios iniciais como semanas, os estágios intermediários como meses, e os estágios posteriores como trimestres, por exemplo.

Estes tipos de hibridização possuem a vantagem de permitir balancear o esforço computacional necessário para avaliar cada gene do cromossomo. Nos primeiros estágios, sob os quais as incertezas são menores e para os quais se deseja um planejamento mais detalhado, os genes do cromossomo poderiam representar os períodos como semanas e meses, com as usinas detalhadas na função de avaliação. A partir de um determinado estágio, após o qual não se obtém muitos ganhos ao detalhar a representação física do sistema, a avaliação poderia ser realizada a sistemas equivalentes e com a representação temporal trimestral, por exemplo. Esta abordagem possibilitaria um maior detalhamento dos períodos iniciais, com o conseqüente aumento do esforço computacional, compensado por uma redução do esforço computacional na avaliação dos estágios finais, cuja representação física seria muito menos detalhada. Desta forma, a questão relativa ao tamanho do espaço de busca pode ser tratada.

– *Flexibilidade na representação das incertezas*

As incertezas são representadas por meio de cenários de afliências gerados externamente ao modelo de otimização. Estes modelos podem fazer uso de metodologias de regressão linear ou não linear, e até mesmo de redes neurais artificiais, ao contrário da metodologia atualmente empregada (PDDE), cujo modelo de geração de cenários deve ser uma regressão linear.

– *Facilidade de alteração do critério de otimização*

O critério de otimização utilizado pode ser alterado com facilidade, incorporando novas diretrizes à solução do problema de acordo com as mudanças que ocorrerem nos critérios utilizados no planejamento do sistema elétrico.

Embora neste trabalho tenha sido usada a avaliação multicritério por meio da técnica de distância ao alvo, existem outras possibilidades que podem agregar benefícios à otimização multi-critério.

O uso do conceito de dominância e do conjunto de Pareto ótimo, por exemplo, permite que a avaliação seja realizada considerando a segurança operativa (como os riscos anuais de déficit e a energia não suprida) e a minimização do valor esperado do custo total de operação que, neste caso, poderia desconsiderar o custo estimado dos déficits. Embora estas grandezas sejam incompatíveis em unidade e ordem de grandeza, este tipo de abordagem possibilitaria a obtenção de soluções não dominadas sob as quais o decisor deveria escolher. Esta escolha

pode considerar informações adicionais não representadas na otimização e pode ser realizada com o auxílio de uma sistema de apoio à decisão que permita a formalização da escolha do decisor. Desta forma, o decisor, de posse de informações meteorológicas desfavoráveis, por exemplo, poderia optar por uma solução com maior custo, mas com menores riscos de déficit.

Este tipo de abordagem é a mais promissora, e a que provavelmente mais se ajusta às necessidades do planejamento da operação do setor elétrico brasileiro.