

Levando em consideração os resultados experimentais, bastante amplos, foram mostrados os pontos positivos e os pontos negativos dos algoritmos desenvolvidos. Como justamente é indicado nas Considerações Finais do capítulo, a eficiência da utilização dos algoritmos desenvolvidos deve ser considerada do ponto de vista de compromisso nas questões "memória e/ou velocidade" e "precisão/perda da garantia de computação do pior caso de incerteza". A necessidade de observação desse compromisso deve ser considerada como uma dificuldade principal na aplicação dos algoritmos na prática. Assim, a pesquisa de novos procedimentos para aceleração do processo de busca da solução é uma das linhas fundamentais no desenvolvimento futuro dos métodos de solução dos problemas de otimização multi-objetivo robusta.

O capítulo 5, **OTIMIZAÇÃO ROBUSTA MULTI-OBJETIVO PARA SINTONIA DE CONTROLADORES PID**, é dedicado à tentativa da aplicação prática dos resultados teóricos e experimentais do trabalho. A escolha do problema real foi baseada nas considerações da abrangência de sua aplicação em problemas de engenharia, de interesse da comunidade na área e na aplicabilidade de métodos intervalares. Levando em conta essas considerações, foi escolhido o problema de otimização de processos controlados por PID (considerando isso, o capítulo inclui uma revisão bibliográfica relacionada aos controladores PID e aos correspondentes critérios de estabilidade). Em particular, no capítulo, é apresentada uma formulação geral do problema robusto multi-objetivo para sintonia do PID e, também, é apresentada uma formulação específica para analisar o correspondente estudo de caso.

Neste capítulo, são discutidas as importantes questões associadas com a forma de modelagem do problema para ser tratado por métodos intervalares. Todos os algoritmos propostos foram aplicados para a resolução do problema. Os algoritmos geraram os resultados coerentes entre si.

O capítulo 6, **CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS**, primeiramente, inclui a discussão e avaliação final dos resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho. Como uma generalização dos resultados obtidos pode ser considerada a comparação (Tabela 6.1) dos algoritmos elaborados de diferentes pontos de vista.

A lista dos trabalhos futuros, em princípio, engloba os aspectos computacionais, associados com a aceleração do processo de busca da solução. Levando isso em consideração, é importante, na opinião do revisor, indicar um aspecto substancial. Na área de tomada de decisões em ambiente *fuzzy*, uma das abordagens usadas está associada com a decomposição de conjuntos *fuzzy* envolvidos na formulação do problema com base nos conjuntos de α -nível (conjuntos de α -corte). Considerando isso, a solução dos problemas para qualquer conjunto de α -nível pode ser baseada na aplicação dos resultados do presente trabalho (por exemplo, o caminho correspondente para problemas mono-objetivo é considerado no trabalho [E.A. Galperin and P.Ya. Ekel, Synthetic realization approach to fuzzy global optimization via gamma algorithm, *Mathematical and Computer Modelling*, 41(13), 2005, 1457-1468.]).

nível de incerteza no processo de modelagem. Finalmente, são discutidos os poucos trabalhos existentes relacionados à otimização multi-objetivo intervalar.

No Capítulo 3, **ALGORITMOS INTERVALARES E EVOLUCIONÁRIO-INTERVALAR PARA OTIMIZAÇÃO ROBUSTA MULTI-OBJETIVO**, inicialmente, são discutidos os diversos caminhos para a modelagem das incertezas. Entretanto, infelizmente, não foi dada atenção suficiente à utilização da teoria de conjuntos *fuzzy*. Dentre as abordagens discutidas, as informações associadas com a abordagem geral (abordagem clássica), baseada na construção das matrizes *payoff* e sua análise, utilizando os critérios especiais, não foram encontradas. Levando isso em consideração, é importante indicar que os resultados de recentes pesquisas [P.Ya. Ekel, J.S.C. Martini, and R.M. Palhares, Multicriteria analysis in decision making under information uncertainty, *Applied Mathematics and Computation*, 200(2), 2008, 501-516.] mostram claramente a possibilidade de generalização da abordagem clássica para problemas multi-objetivo.

Este capítulo apresenta ainda os conceitos fundamentais necessários para o desenvolvimento de procedimentos de otimização multi-objetivo intervalar, incluindo os conceitos introduzidos pelo autor. Esses conceitos serviram para a construção de três algoritmos. Em particular, o primeiro algoritmo e o segundo algoritmo propostos são baseados em análise intervalar. Ao mesmo tempo, o terceiro algoritmo tem um caráter híbrido: é baseado em combinação dos algoritmos evolucionários e técnicas intervalares. Ainda neste capítulo, são apresentados os desenvolvimentos (tratamento das restrições, modificação da técnica de nicho, definição da métrica adequada, etc.) que permitiram a construção do algoritmo híbrido.

Em geral, os resultados deste capítulo, que tem caráter-chave para a tese, foram elaborados cuidadosamente e são apresentados de maneira bastante clara.

O Capítulo 4, **VALIDAÇÃO NUMÉRICA DOS ALGORITMOS PARA OTIMIZAÇÃO ROBUSTOS**, é dedicado aos procedimentos de observação, comparação e avaliação do grau de fidelidade dos algoritmos desenvolvidos com suas características técnicas, com base nas simulações realizadas utilizando os correspondentes problemas teste. Além da validação formal, foram levadas em consideração as flexibilidades de adaptação dos algoritmos desenvolvidos a problemas diferentes e a simplicidade de escolha dos seus parâmetros e, também, foram avaliados os esforços computacionais.

É importante indicar que o autor conscientemente não tenta comparar os algoritmos desenvolvidos no trabalho com os poucos métodos intervalares existentes: esses métodos não permitem resolver os problemas dentro do modelo geral de otimização multi-objetivo robusta, construído no trabalho.

Os problemas teste escolhidos para a análise dos algoritmos foram utilizados como referência em várias publicações.

Avaliação Final

Na tese do Senhor Gustavo Luís Soares, foi realizada uma generalização teórica e resolvido um problema científico de desenvolvimento de fundamentos de modelagem e solução de uma classe de problemas de otimização multi-objetivo, em condições de incerteza das informações, modelada com base na análise intervalar.

Os resultados gerais e os resultados particulares obtidos, sem dúvidas, têm um valor teórico e uma novidade científica. Potencialmente, os resultados do trabalho têm um valor prático. Eles foram parcialmente publicados e apresentados nos congressos. As perspectivas do seu desenvolvimento são grandes. As desvantagens indicadas e os pequenos erros da redação e erros em algumas fórmulas, que são assinalados no texto, devem ser corrigidos na versão definitiva. Porém, não são determinantes e não podem reduzir o valor do trabalho.

Levando o acima exposto em consideração, o revisor está convencido de que o Senhor Gustavo Luís Soares é digno de defender sua tese de doutorado diante da Comissão Examinadora para obter o título de Doutor pela Universidade Federal de Minas Gerais, pela École Nationale Supérieure d'Ingénieurs e pela Université de Bretagne Occidentale.

Belo Horizonte, MG, 08 de outubro de 2008.



Professor Petr Ekel, D.Sc. (hab.), Ph.D.
Acadêmico da Academia de Ciências de Engenharia da Ucrânia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

**PARECER SOBRE A TESE DE DOUTORADO DO SENHOR
GUSTAVO LUÍS SOARES**

Por

Professor Petr Ekel, D.Sc. (hab.), Ph.D.
Acadêmico da Academia de Ciências de Engenharia da Ucrânia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

A tese do Senhor Gustavo Luís Soares intitula-se “**Algoritmos Determinístico e Evolucionário Intervalares para Otimização Robusta Multi-Objetivo**”. A tese é dedicada à modelagem e solução de uma classe de problemas de otimização multi-objetivo em condições de incerteza das informações, modelada com base na análise intervalar.

A tese inclui seis capítulos e três apêndices. Em particular, o Capítulo 1, **INTRODUÇÃO**, está associado com a modelagem do problema multi-objetivo robusto e descrição da sua natureza. No capítulo são consideradas algumas noções relacionadas à modelagem de incerteza (em particular, o problema, do ponto de vista formal, é reduzido ao modelo *minmax*). O capítulo descreve os objetivos geral e específicos do trabalho. Também, são apresentados o escopo e metodologia empregada no desenvolvimento do trabalho.

O Capítulo 2, **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**, reflete um conjunto das questões relacionadas à otimização multi-objetivo. Em particular, são consideradas as noções, que têm um caráter fundamental para o trabalho, das soluções eficientes, soluções Pareto ótimas, fronteiras de Pareto, etc. Levando isso em consideração, é pertinente indicar que primeiramente essas noções foram introduzidas pelo Edgeworth [F.Y. Edgeworth, *Mathematical Physics*. London: P. Keegan, 1881]. O trabalho de Pareto, publicado mais tarde [V. Pareto, *Cours d'Économie Politique*. Lousanne: Lousanne Rouge, 1886], generaliza os resultados de Edgeworth. Neste capítulo, o Sr. Gustavo classifica os métodos de solução de problemas de otimização multi-objetivo. Entretanto, do ponto de vista formal (tecnologia e formas de processamento das preferências), é melhor falar sobre problemas de tomada de decisões multi-objetivo.

Neste capítulo, uma análise profunda é feita quanto aos diversos aspectos dos algoritmos evolucionários, à sua construção e à sua aplicação em problemas multi-objetivo. Grande parte do capítulo é dedicada à consideração da análise intervalar, incluindo as importantes questões de limitação sobre o crescimento do