



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SISTEMAS

Trabalho Computacional – Teoria da Decisão (ELE088)

Data de entrega: definida no Moodle

Professor:
Lucas S. Batista

APRESENTAÇÃO

Este trabalho tem por intuito abordar, de forma conjunta, grande parte dos conceitos vistos na disciplina “ELE088 - Teoria da Decisão”. Para tal, propõe-se a seguir um problema relacionado ao gerenciamento ótimo da política de manutenção de um conjunto de equipamentos de uma empresa. De forma geral, o aluno deverá compreender e formular o problema, além de discutir e apresentar algoritmos para a sua solução. O aluno também deverá analisar os resultados empregando o indicador de qualidade indicado e, por fim, escolher a ação (solução) a ser implementada usando um método específico de auxílio a tomada de decisão.

Especificação do problema

Deseja-se determinar a política de manutenção ótima para cada um dos 500 equipamentos de uma empresa, considerando-se a minimização do custo de manutenção e a minimização do custo de falha esperado.

- **Equipamentos:**

- Cada equipamento tem uma importância distinta na empresa, a qual é estimada com base no custo decorrente de uma falha no equipamento. Equipamentos mais importantes têm custo de falha maior, enquanto que equipamentos menos importantes têm custo de falha menor.
- Os equipamentos foram separados em quatro grupos (*clusters*), conforme suas características construtivas e de uso. Para cada um desses grupos foi construído um modelo que estima a probabilidade de falha do equipamento tendo em conta sua idade e o horizonte de planejamento da manutenção.

- As características dos equipamentos estão disponíveis no arquivo *EquipDB.csv*, onde cada linha representa um equipamento e as colunas (separadas por vírgulas) contém as seguintes informações:

Coluna 1: ID – código de identificação do equipamento (varia de 1 a 500).

Coluna 2: t_0 – tempo em que o equipamento está operando desde sua data de instalação até o dia atual.

Coluna 3: *cluster* – código do *cluster* (grupo) que melhor modela a probabilidade de falha daquele equipamento (varia de 1 a 4).

Coluna 4: custo de falha – custo decorrente da eventual falha do equipamento.

- O arquivo *EquipDB.csv* contém 500 linhas e 4 colunas.

• Planos de manutenção:

- Durante o horizonte de planejamento da manutenção, cada equipamento deve ser enquadrado necessariamente em um dos três planos de manutenção disponíveis: 1) nenhuma manutenção; 2) manutenção intermediária, e; 3) manutenção detalhada.
- Cada plano de manutenção tem um custo específico, sendo que quanto mais detalhada a manutenção mais cara ela é.
- O efeito do regime de manutenção na probabilidade de falha é modelado por meio de um fator de risco (k), que é utilizado como multiplicador do tempo para o qual se está estimando a probabilidade de falha do equipamento ($\Delta t' = k \cdot \Delta t$). Quanto mais detalhado o plano de manutenção, menor o fator de risco.

- As características dos planos de manutenção estão disponíveis no arquivo *MPDB.csv*, onde cada linha representa um plano de manutenção e as colunas (separadas por vírgulas) contém as seguintes informações:

Coluna 1: ID – código de identificação do plano de manutenção (varia de 1 a 3).

Coluna 2: k – fator de risco associado ao plano de manutenção.

Coluna 3: custo – custo de aplicação do plano de manutenção para um equipamento, no horizonte de planejamento da manutenção.

- O arquivo *MPDB.csv* contém 3 linhas e 3 colunas.

• Clusters:

- Ao todo foram considerados 4 *clusters*.
- Cada *cluster* representa um modelo que descreve a probabilidade de falha de um equipamento enquadrado naquele grupo.
- As probabilidades de falhas foram determinadas por meio de distribuições de Weibull, com parâmetro de escala η e parâmetro de forma β .
- A probabilidade $p_{i,j}$ de falha de um equipamento i , sob o plano de manutenção j , até um dado horizonte de planejamento da manutenção (Δt) é estimada pela equação (1), que determina a probabilidade de falha de um equipamento até Δt dado que ele não falhou até a data atual (t_0):

$$p_{i,j} = \frac{F_i(t_0 + k_j \Delta t) - F_i(t_0)}{1 - F_i(t_0)} \quad (1)$$

em que:

$$F_i(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta_i} \right)^{\beta_i} \right]. \quad (2)$$

- As características dos *clusters* estão disponíveis no arquivo *ClusterDB.csv*, onde cada linha representa um *cluster* e as colunas (separadas por vírgulas) contém as seguintes informações:

Coluna 1: ID – código de identificação do *cluster* (varia de 1 a 4).

Coluna 2: η – parâmetro de escala do modelo de Weibull que descreve o *cluster* (em anos).

Coluna 3: β – parâmetro de forma do modelo de Weibull que descreve o *cluster*.

- O arquivo *ClusterDB.csv* contém 4 linhas e 3 colunas.

• **Modelo:**

- O modelo deverá conter duas funções objetivo: $f_1(\cdot)$, minimização do custo de manutenção total, e; $f_2(\cdot)$, minimização do custo esperado de falha total.
- O custo de manutenção total é a soma dos custos dos planos de manutenção adotados para todos os equipamentos.
- O custo esperado de falha de cada equipamento i , sob o plano de manutenção j , é o produto da probabilidade de falha ($p_{i,j}$) e o custo de falha do equipamento. O custo esperado de falha total é a soma dos custos esperados de falha de todos os equipamentos.
- O horizonte de planejamento da manutenção deve ser $\Delta t = 5$ anos.

Com base nessa especificação, pede-se:

ENTREGA #1: MODELAGEM MATEMÁTICA E OTIMIZAÇÃO MONO-OBJETIVO

i. Formulação:

- (a) Construa o modelo matemático de otimização do planejamento da manutenção dos equipamentos da empresa.

ii. Algoritmo de solução:

- (a) Proponha uma variação da metaheurística vista no curso que seja adequada para resolver as versões mono-objetivo do problema (i.e., para otimizar separadamente as funções $f_1(\cdot)$ e $f_2(\cdot)$ com suas respectivas restrições).
- (b) Explícite como uma solução candidata será modelada computacionalmente.
- (c) Proponha pelo menos três (03) estruturas de vizinhança.
- (d) Proponha uma heurística construtiva para gerar a solução inicial.
- (e) Considere alguma estratégia de refinamento (busca local).

iii. Resultados da otimização mono-objetivo:

- (a) Utilize o algoritmo proposto no item (ii) para resolver as versões mono-objetivo do problema.
- (b) Como o método é estocástico, ele deve ser executado 05 vezes para cada uma das funções e os cinco resultados finais obtidos devem ser apresentados: para cada função otimizada, mostre os valores *min*, *std* e *max* considerando-se as 05 soluções finais encontradas.
- (c) Para cada função otimizada, apresente as 05 curvas de convergência do algoritmo sobrepostas em uma mesma figura, i.e., evolução do valor de $f(\cdot)$ em função do número de avaliações de soluções candidatas ou iterações do algoritmo proposto.

ENTREGA #2: OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO

iv. Resultados da otimização multiobjetivo:

- (a) Apresente a modelagem matemática do problema considerando as abordagens escalares Soma Ponderada (Pw) e ϵ -restrito ($P\epsilon$).
- (b) Para cada uma das abordagens escalares (Soma Ponderada (Pw) e ϵ -restrito ($P\epsilon$)), utilize o algoritmo apresentado no item (ii) para resolver o problema biobjetivo construído (sugere-se normalizar as funções objetivo).
- (c) Como o método é estocástico, ele deve ser executado 05 vezes considerando cada uma das abordagens escalares. Para cada uma dessas técnicas, as 05 fronteiras obtidas devem ser apresentadas sobrepostas em uma mesma figura (considere os valores absolutos das funções objetivo).
- (d) Cada fronteira estimada deve conter no máximo 20 soluções não-dominadas.

v. Análise baseada no indicador de qualidade Hypervolume:

- (a) Empregue o indicador de qualidade hypervolume (*s-metric*) para mensurar as propriedades de convergência e diversidade das soluções não-dominadas obtidas. Como cada abordagem foi executada mais de uma vez, considere as soluções não-dominadas obtidas a partir da união de todas as fronteiras encontradas. Para a determinação do hypervolume, considere um vetor de referência igual ao vetor anti-utópico ideal. Apresente a formulação, interpretação geométrica e características gerais deste indicador.

ENTREGA #3: TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

vi. Resultados da tomada de decisão:

- (a) Como cada abordagem foi executada mais de uma vez, o processo de tomada de decisão deve ser realizado considerando as soluções não-dominadas obtidas a partir da união de todas as fronteiras estimadas. Caso o número de soluções identificadas seja elevado, considere no máximo 20 soluções não-dominadas.
- (b) Assuma como critérios de decisão pelo menos quatro (04) atributos de interesse, i.e., as duas funções objetivo definidas no problema e pelo menos mais duas funções adicionais que considerar relevantes. Os atributos empregados devem ser claramente definidos e apresentados. A ideia é escolher uma configuração final (solução) que seja confiável/

robusta em um contexto real. Para os atributos adicionais a serem propostos, a equipe tem liberdade para gerar os dados extras necessários.

- (c) Empregue 02 métodos de auxílio à tomada de decisão para escolher a ação final a ser implementada (as opções são Abordagem Clássica, AHP, ELECTRE, PROMETHEE e TOPSIS).
- (d) Plote uma figura contendo a fronteira de soluções avaliadas na tomada de decisão e indique, nesta figura, qual(is) solução(ões) foi(foram) escolhida(s).
- (e) Plote uma figura ilustrando, para a solução final escolhida, a distribuição de planos de manutenção entre os equipamentos.
- (f) Compare os métodos escolhidos, discutindo as vantagens e limitações de cada um.
- (g) Os métodos de decisão utilizados devem ser apropriadamente definidos e apresentados.
- (h) No caso de incomparabilidade entre alternativas no final do processo, estabeleça um critério adicional e tome sua decisão. É importante notar que neste trabalho você representa a unidade de decisão e, portanto, é responsável pela definição dos pesos dos atributos e demais parâmetros que forem necessários.

INSTRUÇÕES FINAIS

vii. Pacote final a ser enviado ao professor:

- (a) No final deste TC, o aluno/ equipe deverá entregar o relatório do trabalho, apresentação, códigos desenvolvidos, e arquivo *.csv* (*Comma-separated Values*) contendo a melhor fronteira Pareto estimada obtida (a mesma usada na tomada de decisão).
- (b) Deverá existir um arquivo *main*, responsável pela execução de toda a otimização, e cuja saída seja o arquivo *.csv* mencionado anteriormente. Essa função será executada pelo professor para verificação dos resultados.
- (c) No arquivo *.csv*, cada linha deve representar uma solução obtida e cada coluna indica o índice do plano de manutenção adotado para o equipamento correspondente. Dessa forma, esse *.csv* possuirá *número de soluções* linhas e 500 colunas.
- (d) Para facilitar a organização e avaliação pelo professor, o *.csv* gerado deve conter o sobrenome do aluno/ equipe, e.g., *BatistaCarrano.csv*.
- (e) O relatório, apresentação, código desenvolvido e arquivo *.csv* de saída deverão ser enviados somente via plataforma Moodle.

viii. Avaliação do TC:

- (a) A última entrega deste TC representa uma avaliação de 30 pontos, sendo 10 de apresentação e 20 do relatório, em que 10 pontos do texto serão atribuídos de acordo com a qualidade das soluções obtidas. Essa medida de qualidade baseia-se no valor do hipervolume. A pontuação relacionada está definida na Tabela 1.
- (b) A avaliação do hipervolume será realizada com base no CSV submetido pelo aluno, utilizando a função *EvalParetoApp.m*¹. Esta função é compatível tanto com o Matlab quanto com o GNU Octave.

¹A sintaxe de chamada da função é *Hipervolume = EvalParetoApp('Nome do arquivo.csv')*.

Tabela 1: Pontuação associada ao valor do Hipervolume alcançado.

Hipervolume	Pontuação
$0.6000 \leq HVI < 0.6288$	10 pontos
$0.5500 \leq HVI < 0.6000$	7 pontos
$0.5000 \leq HVI < 0.5500$	5 pontos
$0.3500 \leq HVI < 0.5000$	3 pontos
$HVI < 0.3500$	0 pontos

NOTA

O atendimento a todos os itens estabelecidos, bem como a apresentação e organização formal deste TC, são fundamentais para uma boa avaliação do mesmo. Para o texto final, o aluno deve empregar um dos “templates” disponibilizados na página da disciplina.

Serão aceitas no máximo 10 equipes, priorizando o menor número de alunos por equipe.

Bom trabalho!