



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

---

## Trabalho Computacional – Otimização Multiobjetivo (EEE910)

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 “EEE910 - Otimização Multiobjetivo”. 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  $\eta$  e parâmetro de forma  $\beta$ .
- 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 ( $\Delta t$ ) é estimada pela equação (1), que determina a probabilidade de falha de um equipamento até  $\Delta t$  dado que ele não falhou até a data atual ( $t_0$ ).

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

onde:

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

- 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:**  $\eta$  – parâmetro de escala do modelo de Weibull que descreve o *cluster* (em anos).

**Coluna 3:**  $\beta$  – 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: 1) minimização do custo de manutenção total, e; 2) 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:

#### i. Formulação:

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

#### ii. Algoritmo de solução:

Discuta e justifique sua escolha de um algoritmo (ou conjunto de algoritmos) adequado para resolver o problema biobjetivo definido no item (i).

#### iii. Resultados:

Implemente e utilize o algoritmo apresentado no item (ii) para resolver o problema biobjetivo construído. Caso seja utilizado algum método não exato, então o aluno deverá discutir os resultados de, ao menos, cinco execuções.

#### iv. Análise baseada no indicador de qualidade Hipervolume

Empregue o indicador de qualidade hipervolume (*s-metric*) para mensurar as propriedades de convergência e diversidade da fronteira Pareto aproximada obtida. Para a determinação do hipervolume considere um vetor de referência igual ao vetor anti-utópico ideal. Apresente a formulação, interpretação geométrica e características gerais deste indicador.

## v. Tomada de decisão

Empregue uma técnica de auxílio à tomada de decisão para escolha de uma ação (solução) final a ser implementada. Justifique e discuta apropriadamente todo o processo de auxílio à tomada de decisão. Por simplicidade, caso tenha executado o algoritmo mais de uma vez (abordagem não exata), considere a fronteira não-dominada obtida a partir da união de todas as fronteiras encontradas.

A estratégia de decisão utilizada deve ser adequadamente definida e apresentada. É importante notar que neste trabalho você representa o projetista e, portanto, é responsável pela definição de pesos e demais parâmetros necessários.

Empregue no mínimo três (03) atributos no processo de decisão, i.e., as duas funções objetivo e pelo menos mais um critério adicional que considerar pertinente.

## vi. Pacote final a ser enviado ao professor

No final deste TC, o aluno deverá entregar o relatório do trabalho, códigos desenvolvidos, e arquivo *.csv* (*Comma-separated Values*) contendo a melhor fronteira Pareto estimada obtida. No caso de múltiplas execuções do algoritmo, o aluno deverá reportar quantas execuções foram realizadas para obtenção da solução.

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.

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.

Para facilitar a organização e avaliação pelo professor, o *.csv* gerado deve conter o nome e sobrenome do aluno, e.g., *LucasBatista.csv*.

O relatório, código desenvolvido e arquivo *.csv* de saída, deverão ser enviados somente via plataforma Moodle.

## vii. Avaliação do TC

Este TC representa uma avaliação de 40 pontos, em que 10 pontos 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.

A avaliação do hipervolume será realizada com base no CSV submetido pelo aluno, utilizando a função *EvalParetoApp.m*<sup>1</sup>. Esta função é compatível tanto com o Matlab quanto com o GNU Octave.

---

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

Tabela 1: Pontuação associada ao valor do Hipervolume alcançado.

Hipervolume	Pontuação
$HVI \geq 0.6288$	10 pontos + 5 pontos extras
$0.6000 \leq HVI < 0.6288$	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.

Bom trabalho!