

Determinação de Política Ótima para Manutenção de Equipamentos

Amanda Kellen Soares de Pinho
Estudante de Engenharia
de Sistemas na UFMG
Email: amandakellen@ufmg.br

Abstract—Este estudo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um modelo de otimização de política ótima para manutenção de equipamentos de uma empresa. Planos de manutenção de máquinas através do estudo da vida útil, probabilidade de falha e custos. A modelagem foi implementada utilizando o Matlab e um script Python para cálculo da probabilidade de falha. Esse modelo possui o objetivo de minimizar o custo de manutenção e o custo de falha total.

I. INTRODUÇÃO

A gestão da manutenção e otimização de processos vêm se tornando prioridade na maioria das empresas. Frente a um mercado cada vez mais competitivo, é preciso evitar problemas e falhas a fim de entregar sempre o melhor serviço aos clientes e reduzir o custo de manutenção [1].

De acordo com Arunraj e Maiti “O maior desafio de um engenheiro de manutenção, é implementar uma estratégia de manutenção que maximize a disponibilidade e a eficiência do equipamento, controle a taxa de deterioração do equipamento, assegure uma operação segura e ambientalmente amigável e ainda minimize o custo total de operação”. Muitas metodologias existem e outras novas estão a ser desenvolvidas para que os objetivos da otimização da manutenção sejam cumpridos, contribuindo para o sucesso das organizações[2].

Christer (1998) desenvolveu o tema sobre otimização da periodicidade de manutenção preventiva a partir da taxa de falha dos equipamentos; Ferreira (2010) abordou a modelagem matemática usando método de multicritério, rede bayesianas, para otimizar a utilização de técnicas de manutenção mais apropriadas a um determinado processo preventivo/corretivo[3].

Devido a isso, este documento propõe a aplicação de um algoritmo multiobjetivo para a determinação de uma política ótima para manutenção de 500 equipamentos de uma empresa. Esse tem como objetivo minimizar o custo de manutenção total e minimizar o custo esperado de falha total.

II. REVISÃO DA LITERATURA

Devido a alta competitividade no mercado, é necessário minimizar falhas para melhor atendimento aos clientes assim como redução dos custos. Os planos de manutenção vão além da realização de ajustes e devem ser vistos como uma estratégia para prevenir erros e gastos desnecessários mantendo a produtividade e confiabilidade da empresa juntamente com o público. Para o problema apresentado neste trabalho

foi considerado um modelo biobjetivo para otimização dessa manutenção.

Para Waldo[4] grande parte dos problemas reais na área de otimização envolvem a obtenção de mais de uma meta a ser atingida ao mesmo tempo. Muitas vezes essas metas são conflitantes, ou seja, não há uma solução única que otimize todas simultaneamente. Por isso precisamos buscar um conjunto de soluções eficientes.

Problemas dessa natureza são chamados de problemas de otimização multiobjetivo por envolverem minimização (ou maximização) simultânea de um conjunto de objetivos satisfazendo a um conjunto de restrições. Neste caso, a tomada de decisão será de responsabilidade do analista, que deverá ponderar os objetivos globais do problema e escolher uma entre as soluções do conjunto de soluções eficientes (Arroyo, 2002)[5].

Segundo Pareto (1896), o conceito de Pareto-ótimo constitui a origem da busca na otimização multiobjetivo. Pela definição, um vetor z é Pareto-ótimo se não existe um outro vetor viável z^* que possa melhorar algum objetivo, sem causar uma piora em pelo menos um outro objetivo. Em outras palavras, um vetor solução z pertence ao conjunto de soluções Pareto-ótimo se não existe nenhum vetor solução z^* que domine z [6].

Para os problemas multiobjetivo, os métodos convencionais utilizados para solução dos métodos monoobjetivos não são eficientes. Por isso foram criados métodos para vencer esse desafio.

Os três métodos clássicos para a solução desses tipos de problema são:

- Método ϵ – restrito;
- Método da soma ponderada;
- Método de programação por metas.

A. Método ϵ – restrito

Este método consiste na otimização do objetivo mais importante sujeitando-se às restrições dos outros objetivos. Para construir o conjunto Pareto-ótimo, mesmo quando o espaço objetivo é não convexo, deve-se apenas variar o limite superior ϵ_i . Porém, se este limite não é adequado, o subconjunto de possíveis soluções obtido pode ser vazio, ou seja, não existe solução viável [6].

B. Método da soma ponderada

Este método é, provavelmente, o mais simples dos métodos clássicos que consiste em transformar o problema multiobjetivo original em um problema escalar monoobjetivo. Usando pesos diferentes para cada objetivo, forma-se uma função f que é a combinação linear dos objetivos[5].

C. Método de programação por metas

A Programação por Metas nos permite considerar objetivos distintos, com unidades distintas e com metas que são alvos desejáveis a serem atingidos e emprega a noção de uma distância mínima do melhor, de onde resulta que o objetivo passa a ser minimizar os desvios em ordem às metas pré-fixadas[7].

Um aspecto importante da Programação por Metas é que ela requer uma participação ativa do decisor. É preciso que o decisor atribua um peso a cada um dos desvios a serem minimizados. Estes pesos representam prioridades e vão fazer com que metas com níveis de prioridade mais baixos só sejam considerados após os de maior prioridade já terem sido atingidos. Em seguida, iterativamente, o decisor vai redefinindo suas prioridades à medida que as soluções vão sendo obtidas até uma solução satisfatória ser encontrada[7].

Para abordagem na matéria de Pesquisa Operacional foi criado um modelo biobjetivo que realiza a otimização da melhor política para manutenção dos equipamentos de uma empresa utilizando o método da soma ponderada para obtenção da solução ótima.

III. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM

No problema proposto foi utilizado três conjuntos de dados *EquipDB*, *MPDB* e *ClusterDB*, anexados juntamente com este documento, que contém, respectivamente, os dados dos 500 equipamentos, planos de manutenção utilizados e informações dos Clusters.

Estes contém as seguintes informações mostradas abaixo.

1) EquipDB

- **Coluna 1:** código de identificação do equipamento - 1 a 500;
- **Coluna 2:** tempo de operação do equipamento, em anos;
- **Coluna 3:** código do cluster que melhor modela a probabilidade de falha do equipamento;
- **Coluna 4:** custo decorrente da eventual falha do equipamento.

2) MPDB

- **Coluna 1:** código de identificação do plano de manutenção - 1 a 3;
- **Coluna 2:** fator de risco associado ao plano de manutenção;
- **Coluna 3:** custo de aplicação do plano de manutenção para um equipamento, no horizonte de planejamento da manutenção.

3) ClusterDB

- **Coluna 1:** código de identificação do cluster - 1 a 4;
- **Coluna 2:** parâmetro de escala do cluster- η

- **Coluna 3:** parâmetro de forma do cluster- β

O problema foi modelado de forma multiobjetiva, as variáveis e constantes são mostrados abaixo.

$X_{ij} \Rightarrow$ Matriz binária onde i são os equipamento e j são os planos de manutenção. Possui valor 1 caso o equipamento i esteja sob o plano de manutenção j e 0 caso contrário.

$C_i \Rightarrow$ Custo de falha do equipamento i

$C_{mj} \Rightarrow$ Custo de aplicação do plano de manutenção do horizonte de planejamento j

$P_{ij} \Rightarrow$ Probabilidade de falha do equipamento i sob o plano de manutenção j

$NM \Rightarrow$ Quantidade de máquinas

$MP \Rightarrow$ Quantidade de planos de manutenção

$t_i \Rightarrow$ Tempo de operação do equipamento i em anos

$k_j \Rightarrow$ Fator de risco associado ao plano de manutenção.

$$\min \sum_{i=1}^{NM} \sum_{j=1}^{MP} C_{mj} * X_{ij} \quad (1)$$

$$\min \sum_{i=1}^{NM} \sum_{j=1}^{MP} C_i * P_{ij} * X_{ij} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{NM} X_{ij} = 1 \forall j \in \{1, \dots, MP\} \\ X_{ij} \in [0, 1] \end{cases} \quad (3)$$

$$P_{ij} = \frac{F_i(t_i + k_j \Delta t) - F_i(t_i)}{1 - F_i(t_i)} \quad (4)$$

onde:

$$F_i = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta_i} \right)^{\beta_i} \right] \quad (5)$$

Δt (Horizonte de planejamento de manutenção)=5

β_i = Parâmetro de forma do cluster i

η_i = Parâmetro de escala do cluster i

As equações 1 e 2 representam as funções objetivo, sendo 1 a minimização dos custos de manutenção e 2 a minimização do custo esperado de falha total. Em 3 estão as restrições do modelo no qual cada máquina deve estar sob um único plano de manutenção e a matriz X_{ij} pertence ao conjunto $[0,1]$. Na 4 é representado como é feito os cálculos da probabilidade de falha dos equipamentos i sob os planos de manutenção j . A equação 5 representa a função de taxa de falha do modelo proposto.

IV. DESCRIÇÃO DO ALGORITMO

Para os experimentos sobre o modelo proposto foi montado um script em Python para calcular a probabilidade de falha (P_{ij}). Para isso foi utilizado a biblioteca CSV[8] para leitura das bases de dados *EquipDB*, *MPDB* e *ClusterDB* para cálculo das probabilidades implementando as equações 4 e 5. Além disso foi utilizada a biblioteca math [9] para cálculo

de exponencial e a biblioteca pandas[10] para salvar a nova base de dados gerada com os resultados das probabilidades calculadas.

Após a aquisição de todos os dados foi utilizado o Gurobi[11] e o Yalmip[12] para resolução computacional do modelo. Para escalar melhor o problema biobjetivo, foi utilizado o método das somas ponderadas e para tal foi criado uma matriz de pesos distintos gerados aleatoriamente entre 1 e 20.

V. RESULTADOS

Foram feitos 300 experimentos dentro do problema proposto e neste documento serão apresentados os 5 primeiros experimentos realizados.

No primeiro experimento as função objetivo 1 e 2 foram multiplicadas pelos pesos 2 e 4 respectivamente. Nesse caso as soluções ótima obtidas foram 670 para o objetivo 1 e 1.1598 para o objetivo 2.

No segundo experimento as função objetivo 1 e 2 foram multiplicadas pelos pesos 4 e 10 respectivamente. Nesse caso as soluções ótima obtidas foram 746 para o objetivo 1 e 1.1223 para o objetivo 2.

No terceiro experimento as função objetivo 1 e 2 foram multiplicadas pelos pesos 17 e 13 respectivamente. Nesse caso as soluções ótima obtidas foram 0 para o objetivo 1 e 1.7455 para o objetivo 2.

No quarto experimento as função objetivo 1 e 2 foram multiplicadas pelos pesos 14 e 13 respectivamente. Nesse caso as soluções ótima obtidas foram 158 para o objetivo 1 e 1.5617 para o objetivo 2.

No quinto experimento as função objetivo 1 e 2 foram multiplicadas pelos pesos 15 e 18 respectivamente. Nesse caso as soluções ótima obtidas foram 390 para o objetivo 1 e 1.3459 para o objetivo 2.

VI. CONCLUSÕES

Ao longo do desenvolvimento desse trabalho foi possível exercitar conceitos de pesquisa operacional aprendidos em aula e também utilizar um pouco do que aprendi em confiabilidade de sistemas ao ser realizado o cálculo das probabilidades de falhas.

Durante o desenvolvimento do trabalho ocorreram algumas complicações pois os primeiros cálculos não obtiveram um resultado esperado e foi necessário melhorias no código utilizado para a otimização do modelo para a obtenção de um resultado coerente. Levando-se em conta o que foi apresentado, acredita-se que o trabalho foi implementado de maneira coerente ao especificado.

REFERENCES

- [1] S/A, “Como otimizar e organizar os custos com manutenção.” <https://blog.engeman.com.br/organizar-os-custos-com-manutencao/>. [Online; acessado em 23 de Outubro de 2020].
- [2] J. F. D. Santos, “Metodologia para otimização da manutenção,” Master’s thesis, INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, 2015.
- [3] A. Corrêa, Rodrigo Fernandes Dias, “Modelagem matemática para otimização de periodicidade nos planos de manutenção preventiva,” Master’s thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- [4] W. G. C. Ticona, “Algoritmos evolutivos multi-objetivo para a reconstrução de árvores filogenéticas,” Master’s thesis, Universidade de São Paulo, 2008.
- [5] J. E. C. Arroyo, “Heurísticas e metaheurísticas para otimização combinatória multiobjetivo,” Master’s thesis, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2002.
- [6] G. P. Júnior, “Métodos de otimização multiobjetivo e de simulação aplicados ao problema de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto,” Master’s thesis, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.
- [7] C. M. C. d. C. Gomes, Carlos Francisco Simões, “Aplicação da programação por metas e método lexicográfico ao método stem – nova proposta de algoritmo de formulação linear multiobjetivo,” Master’s thesis, SBPO, 2004.
- [8] T. P. S. Foundation, “csv — leitura e escrita de arquivos csv.”
- [9] T. P. S. Foundation, “math — mathematical functions.”
- [10] T. pandas development team, “pandas-dev/pandas: Pandas,” Feb. 2020.
- [11] L. Gurobi Optimization, “Gurobi optimizer reference manual,” 2020.
- [12] J. Löfberg, “Yalmip : A toolbox for modeling and optimization in matlab,” in *In Proceedings of the CACSD Conference*, (Taipei, Taiwan), 2004.