

Um Modelo para Otimização de Manutenção e Substituição de Equipamentos Reparáveis

Saulo A. de Araujo¹

IMECC/UNICAMP, Campinas, SP

André Krindges², Moiseis S. Ceconello³

UFMT, Cuiaba, MT

Cristiano Torezzan⁴

FCA/UNICAMP, Limeira, SP

A gestão eficaz de equipamentos operacionais é fundamental para garantir o funcionamento adequado dos sistemas produtivos e para minimizar falhas. No entanto, determinar os períodos ideais para manutenção e substituição desses equipamentos apresenta-se como um desafio significativo. A literatura oferece uma variedade de modelos que abordam os problemas de manutenção e de substituição separadamente, como, por exemplo, o modelo de manutenção apresentado por [2] que aborda tal problemática como um modelo de programação inteira e [1] que apresenta um modelo de substituição e utilização de veículos de uma frota baseado em otimização inteira. Contudo, [3] apresenta dois modelos de programação dinâmica que reúnem as duas abordagens, porém tal modelo não considera alguns fatores importantes como demanda.

Este trabalho visa propor um modelo de otimização integrado que aborda ambas as problemáticas simultaneamente, visando encontrar um calendário ótimo para manutenção e para substituição de equipamentos. Para isso, considera-se uma série de fatores, tais como demanda, restrições orçamentárias e curvas de falha. A abordagem proposta consiste em um modelo de otimização inteira, cujo objetivo é reduzir simultaneamente os custos associados e a probabilidade de falha dos equipamentos em cada período de tempo. Uma versão inicial do modelo é descrita como:

$$\text{Minimizar: } \sum (C_{ijt} * x_{ijt}) + (V_{it} * (1 - y_{it})) \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_i x_{i0t} \geq D_t \quad \forall t \quad (2)$$

$$\sum_j x_{ijt} \leq 1 \quad \forall t \quad (3)$$

$$\sum_{ijt} (C_{ijt} * x_{ijt}) \leq M \quad (4)$$

$$y_{i,t+1} = y_{i,t} + \sum_j d_{ijt} * x_{ijt} \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$x_{ijt} \in \{0, 1\}, y_{it} \in (0, 1) \quad \forall i, j, t \quad (6)$$

Nesse modelo x_{ijt} são variáveis binárias que representam se o equipamento i receberá a ação j no período t , y_{it} indicam a confiabilidade do equipamento i no período t , sendo y_{i0} a confiabilidade inicial da máquina i , C_{ijt} são os custos referentes a cada operação j no equipamento i e no período t e V_{it} é o valor de quebra do equipamento i no período t , que também pode ser entendido como uma penalidade para a

¹s211290@dac.unicamp.br

²krindges@gmail.com

³moiseis@gmail.com

⁴torezzan@unicamp.br

recorrência de quebra. O parâmetro D_t indica a demanda de máquinas no tempo t , M é o montante total disponível para as operações e d_{ijt} representa a depreciação da máquina i em relação à ação j no tempo t .

Dessa maneira, a família de restrições (2) garante que a quantidade máquinas i em operação será suficiente para atender a demanda no período t , a restrição (3) determina que cada máquina i receba no máximo uma ação j em cada período de tempo t , a restrição (4) garantirá que o custo total de operação não exceda um montante fixo e finalmente a restrição (5) determina o valor da confiabilidade $y_{i,t+1}$ em relação às ações tomadas no período anterior em cada máquina.

O modelo foi implementado em linguagem Python e a biblioteca OR-Tools foi utilizada para testes e validações iniciais. A Tabela 1 ilustra a solução de um exemplo com 5 máquinas, considerando os custos de manutenção, substituição e condições iniciais de confiabilidade, conforme detalhado nas colunas de 1 a 3. O horizonte temporal adotado foi de 1 ano, com uma demanda média de 3 veículos por mês e um saldo total de 5000 para manutenção e reposição.

Tabela 1: Exemplo de 5 máquinas em um período de 1 ano.

Dados das máquinas				Cronograma por mês												
Máquina	C_{i1t}	C_{i2t}	y_{i0}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Custo total
M1	200	800	90%	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	400
M2	200	800	40%	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1200
M3	300	1200	60%	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1500
M4	300	1200	80%	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	600
M5	400	1600	90%	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	800

O algoritmo foi executado em um computador equipado com um processador Intel i7-10750H, levando 3 minutos para convergir. O modelo identificou a necessidade de substituir a máquina 2 e realizar manutenção na máquina 3 no primeiro mês, devido à baixa confiabilidade inicial dessas máquinas. O algoritmo tende a planejar manutenções alternadas para cumprir as restrições de demanda, orçamento e confiabilidade.

Para efeitos de comparação, os modelos delineados por [3] diferem do modelo apresentado neste estudo em relação à metodologia empregada para o cálculo das curvas de falha. Além disso, uma diferença substancial reside no fato de que o modelo descrito considera tanto a redução de custos quanto a maximização da confiabilidade de forma simultânea, enquanto [3] propõem modelos separados para cada objetivo de maximização e minimização.

Os objetivos prospectivos deste estudo incluem a aplicação desse modelo em um contexto relacionado à gestão de frotas de veículos, em uma colaboração com os Correios, com o propósito de alcançar uma gestão mais eficiente da frota automotiva. Nesse contexto, um dos desafios é a complexidade computacional para obtenção de soluções em cenários com grande número de equipamentos. Uma possibilidade que será considerada é o uso de abordagens heurísticas.

Referências

- [1] D. Jin e H. L. Kite-Powell. “Optimal fleet utilization and replacement”. Em: **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review** 36.1 (2000), pp. 3–20.
- [2] R. Manzini, R. Accorsi, T. Cennerazzo, E. Ferrari e F. Maranes. “The scheduling of maintenance. A resource-constraints mixed integer linear programming model”. Em: **Computers & Industrial Engineering** 87 (2015), pp. 561–568.
- [3] K. S. Moghaddam e J. S. Usher. “Preventive maintenance and replacement scheduling for repairable and maintainable systems using dynamic programming”. Em: **Computers & Industrial Engineering** 60.4 (2011), pp. 654–665.