

Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

DEI
DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA
INDUSTRIAL

Número 42 | 09 2022

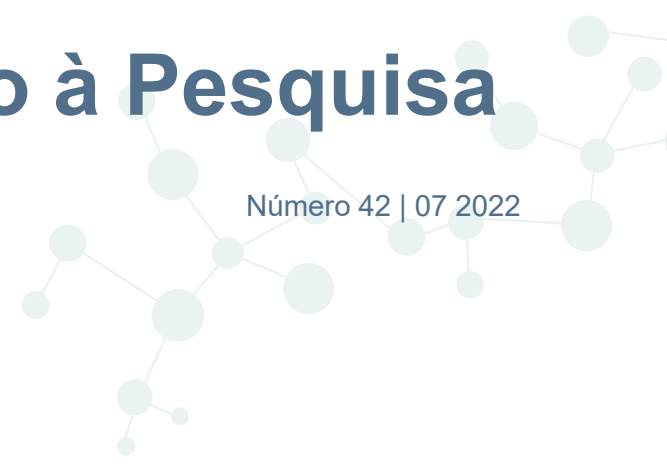
Otimização da periodicidade de manutenção preventiva

Autor:

Amanda Ferreira



Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa



Número 42 | 07 2022

Otimização da periodicidade de manutenção preventiva

Autor:

Amanda Ferreira

Orientador: Rafael Martinelli

CRÉDITOS:

SISTEMA MAXWELL / LAMBDA
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

Organizadores: Fernanda Baião / Soraida Aguiar

Layout da Capa: Aline Magalhães dos Santos





Sumário

1. Introdução
2. Objetivo
3. Referencial Teórico
4. Problema e Modelo Matemático
5. Aplicação do Modelo Matemático
6. Conclusão
7. Próximos Passos
8. Referencial Bibliográfico



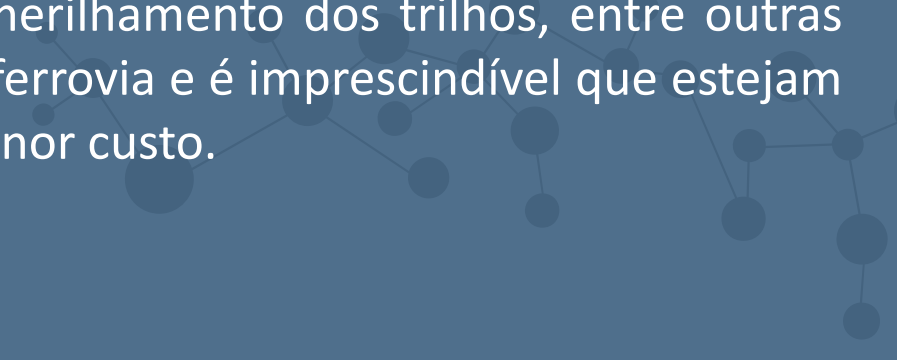
Introdução

- A manutenção é parte estratégica das empresas [Souza et. al. 2022];
- Manutenção preventiva é uma intervenção com grande representatividade no funcionamento absoluto da capacidade produtiva de uma empresa [Rosa et. al. 2018];
- A definição dos intervalos de manutenção preventiva podem ser obtidos a partir de métodos de Pesquisa Operacional [Monteiro 2016].



Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de otimização de periodicidade dos planos de manutenção preventiva através do estudo de tempos de intervenções preventivas e corretivas, custos incorporados ao processo e capacidade de mão de obra. O modelo matemático proposto será aplicado ao ambiente logístico ferroviário, especificamente os equipamentos de manutenção da malha férrea, responsáveis por manter a linha ferroviária operacional através da correção geométrica, regulação e esmerilhamento dos trilhos, entre outras funções, estas máquinas são primordiais no processo de manutenção da ferrovia e é imprescindível que estejam disponíveis para realização de suas atividades de maneira confiável ao menor custo.



Referencial Teórico

- A principal finalidade da manutenção está associada à permanência dos equipamentos operando o mais próximo permitido de suas condições originais [Souza 2013];

Manutenção Preventiva

Visa reduzir as falhas ou queda no desempenho do equipamento baseando em um planejamento com intervalos definidos de tempo [Xavier 2021]; Almeida [2000] reforça que uma das dificuldades deste tipo de manutenção é a estipulação dos prazos estatísticos.

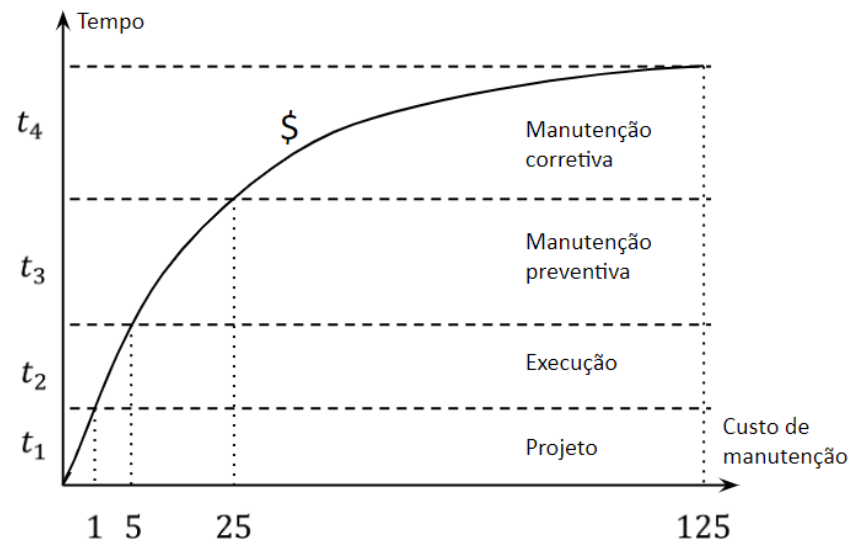
X

Manutenção Corretiva

Caracterizada por permitir que os equipamentos operem até que haja a quebra [Slack et. al. 2002]; esta intervenção possui maior impacto financeiro, uma vez que a inatividade do equipamento durante sua recuperação deixa de gerar rentabilidade para a organização [Beltrame et. al.].

Referencial Teórico

- A postergação de uma manutenção aumenta a possibilidade do equipamento ficar por mais tempo indisponível para operar e acarreta na elevação dos custos diretos [Muduc 2021];



Fonte: Adaptado de Sitter [1984]

Referencial Teórico

- A disponibilidade das máquinas e os custos com manutenção podem ser melhorados através do controle das taxas de falha e do ajuste da periodicidade das inspeções, a programação matemática é sugerida como uma ferramenta para otimizar estes custos, buscando intervalos de manutenção ótimos e o desenvolvimento de métodos que diminuam a ocorrência das falhas [Santos 2019].

Azevedo [2007] desenvolveu um modelo de programação matemática para apoio às decisões relacionadas à programação da manutenção preventiva em linhas de produção, buscando minimizar a mão de obra empregada nestas atividades.	Leal et. al. [2006] realizaram uma análise de manutenção buscando otimizar o tempo de realização de manutenção preventiva de acordo com a taxa de falha dos equipamentos.	Kolus et. al. [2020] desenvolvem uma programação simultânea de atividades de produção e manutenção com o objetivo de minimizar o custo total de atraso esperado em uma única máquina .	Viana et. al. [2008] sugere que a programação da manutenção preventiva é um problema de otimização combinatória, o trabalho realizado por eles busca identificar as melhores datas para agendar a manutenção, minimizando os custos de interrupção na produção e quebra de maquinário .	Künzel [2017] buscou um problema de manutenção, pautado nas limitações de recursos e custos envolvidos, com o intuito de auxiliar na decisão de realizar a manutenção preventiva através da programação linear inteira.
---	--	---	--	--

Problema e Modelo Matemático

- A manutenção preventiva contribui com a disponibilidade dos ativos para operar, uma vez que o ocasionamento de falhas não programadas acarreta em paradas não planejadas;
- Definir intervalos de manutenção preventiva em períodos menores que o essencial implica em paradas e substituição de peças desnecessárias;
- O principal desafio da manutenção programada é definir a periodicidade ideal da intervenção no equipamento combinado à vida útil dos componentes instalados em máquina ao menor custo possível.

Problema e Modelo Matemático

> Conjuntos

Itens (i); Meses (k); Periodicidades (p)

> Variáveis

$X_{i,k}$ - representa o item i realizando a manutenção no mês k;

$Y_{i,p}$ - correspondente ao item i com periodicidade p

> Parâmetros

HC_k representa a capacidade de mão de obra em horas; HD_i são as horas demandadas pelo item i para manutenção preventiva; $tempo_{[p]}$ corresponde aos meses k relacionados com as periodicidades p; $C_{i,p}$ envolve o custo da decisão em realizar a manutenção preventiva do item i na periodicidade p considerando todo o horizonte do tempo

Problema e Modelo Matemático



$$\text{MIN } \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} C_{i,p} Y_{i,p} \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum_{i \in I} HD_i X_{i,k} \leq HC_k \quad \forall k \in K \quad (2)$$

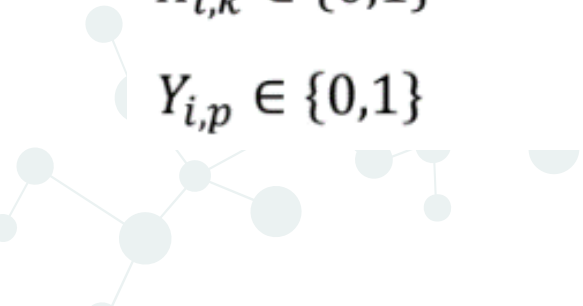
$$\sum_{p \in P} Y_{i,p} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{tempo[p]} X_{i,k} \geq Y_{i,p} \quad \forall i \in I, p \in P \quad (4)$$

$$X_{i,k} \geq X_{i,k-tempo[p]} - (1 - Y_{i,p}) \quad \forall i \in I, p \in P, k \in \{1, \dots, tempo[p]\} \quad (5)$$

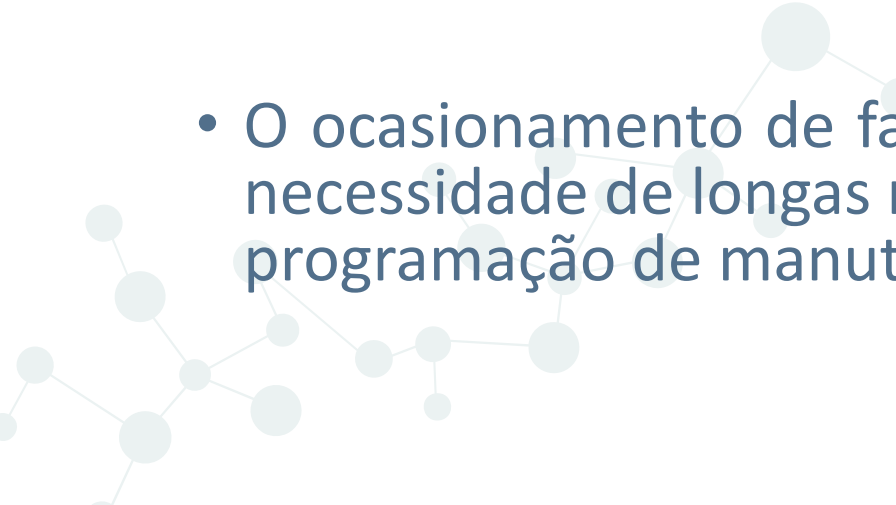
$$X_{i,k} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (6)$$

$$Y_{i,p} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, p \in P \quad (7)$$



Aplicação do Modelo Matemático



- A empresa estudada faz parte do segmento ferroviário, ela oferece transporte de cargas numa malha que alcança os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo;
 - A efetivação do transporte de cargas pela empresa está diretamente associada à boa condição da malha ferroviária, o serviço de manutenção do trecho é realizado pelos equipamentos de via;
 - O ocasionamento de falhas não premeditadas nas máquinas de via gera a necessidade de longas manutenções corretivas, indicando a necessidade da programação de manutenções preventivas com prazos certos.
- 

Aplicação do Modelo Matemático

- A Socadora é uma das principais e mais complexas máquinas, sua operação é fundamental para a continuidade do processo ferroviário;
- Existem dois tipos de intervenções preventivas para a Socadora, a primeira, chamada de A, acontece todo trimestre, a segunda, denominada B, é realizada anualmente;
- Componentes a serem substituídos durante a manutenção preventiva A apresentam altos índices de falha, o número de ocorrências excede a previsão feita pela empresa;

Aplicação do Modelo Matemático

- O custo operacional de uma Socadora é extremamente caro, são aproximadamente 5.000 reais por hora, permitir o ocasionamento de falhas de forma exacerbada e não programada gera um gasto muito alto para a empresa;
- Em média os intervalos de produção duram 5 horas por dia, isso significa que o custo de uma máquina parada para a empresa são 25.000 reais no dia, na semana 125.000 reais;
- O trabalho busca redimensionar os períodos de manutenção preventiva dos itens críticos das Socadoras contemplados na intervenção A.

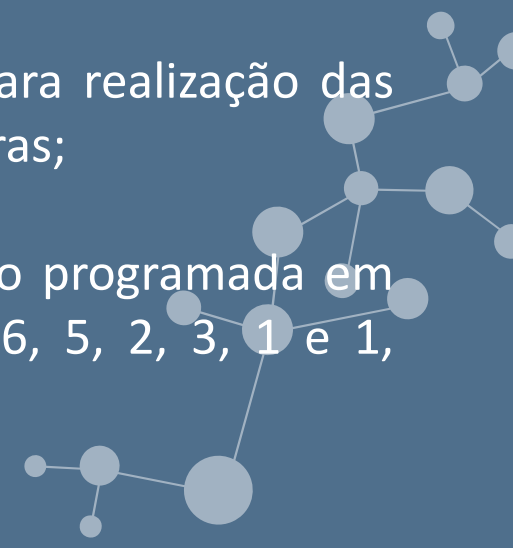
Aplicação do Modelo Matemático

- Informações dos itens críticos para uma Socadora, base de consulta contempla os anos de 2019, 2020, 2021 e 2022.

	Quantidade de itens	Custo	Período médio de falhas	Tempo de preventiva	Tempo de corretiva
Item 1	2	R\$ 2.200,00	A cada 48 dias	6 horas	25 horas (5 dias)
Item 2	2	R\$ 2.000,00	A cada 57 dias	5 horas	25 horas (5 dias)
Item 3	4	R\$ 1.500,00	A cada 30 dias	2 horas	10 horas (2 dias)
Item 4	2	R\$ 2.500,00	A cada 64 dias	3 horas	30 horas (6 dias)
Item 5	2	R\$ 700,00	A cada 80 dias	1 hora	10 horas (2 dias)
Item 6	3	R\$ 900,00	A cada 72 dias	1 hora	10 horas (2 dias)

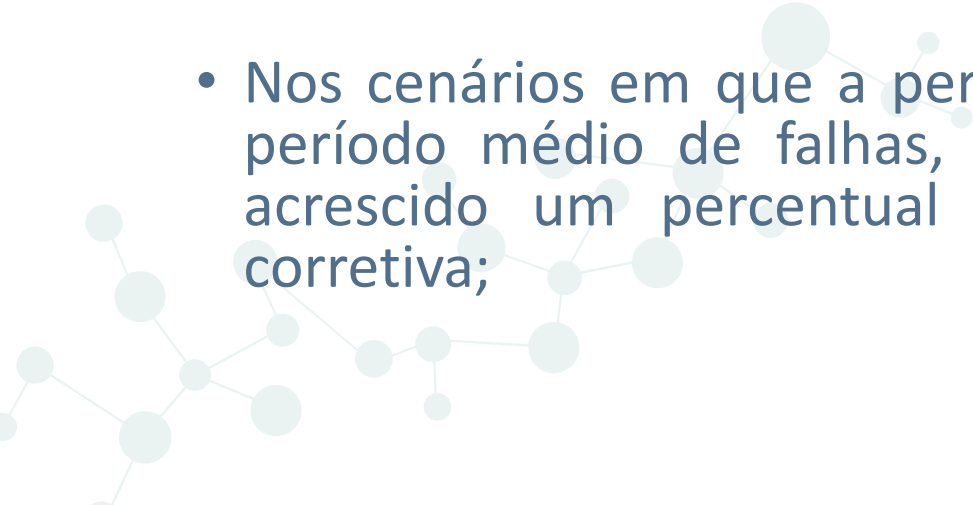


Aplicação do Modelo Matemático

- O modelo matemático proposto está baseado nos 6 itens críticos para uma Socadora;
 - Periodicidades de 1, 2 e 3 meses, alinhado à manutenção preventiva A;
 - Horizonte de tempo do cronograma de manutenção corresponde a 1 ano;
 - O parâmetro $tempo[p]$ recebe os mesmos valores da periodicidade, pois está atrelado a este conjunto;
 - A cada mês a capacidade a ser ofertada para realização das intervenções preventiva corresponde à 8 horas;
 - O tempo em horas para fazer a intervenção programada em cada um dos 6 componentes críticos são 6, 5, 2, 3, 1 e 1, respectivamente;
- 

Aplicação do Modelo Matemático



- O parâmetro de custo foi definido através de cálculos visando estimar os valores que a empresa gastaria em manutenção preventiva para todo horizonte de tempo;
 - Para os casos em que o período médio de falhas é maior que a periodicidade da manutenção preventiva o custo corresponde às despesas com a intervenção programada;
 - Nos cenários em que a periodicidade da manutenção preventiva é superior ao período médio de falhas, além das despesas da intervenção programada, é acrescido um percentual sobre a possibilidade de acontecer manutenção corretiva;
- 

Aplicação do Modelo Matemático

- Os cálculos de custo são exemplificados para o componente 1, cujo período médio de falhas são 48 dias, o custo do componente são 2.200 reais e o tempo de atuação em preventiva e corretiva são 6 horas e 25 horas, respectivamente, o custo operacional da máquina são 5.000 reais por hora.

Manutenção	Fórmula	Cálculo	Custo		Custo no horizonte de tempo
30 dias	Manutenção Preventiva	$2.200 + (6 \times 5.000)$	R\$	32.200,00	R\$ 386.400,00
60 dias	Manutenção Preventiva + $[(60-48)/48]$ * Manutenção Corretiva	$[2.200 + (6 \times 5.000)] + [0,25 \times 2.200 + (25 \times 5.000)]$	R\$	64.000,00	R\$ 384.000,00
90 dias	Manutenção Preventiva + $[(90-48)/48]$ * Manutenção Corretiva	$[2.200 + (6 \times 5.000)] + [0,87 \times 2.200 + (25 \times 5.000)]$	R\$	143.500,00	R\$ 574.000,00

* Manutenção preventiva: custo do componente + [(horas de manutenção preventiva) × (custo da máquina parada por hora)]

* Manutenção corretiva: custo do componente + [(horas de manutenção corretiva) × (custo da máquina parada por hora)]

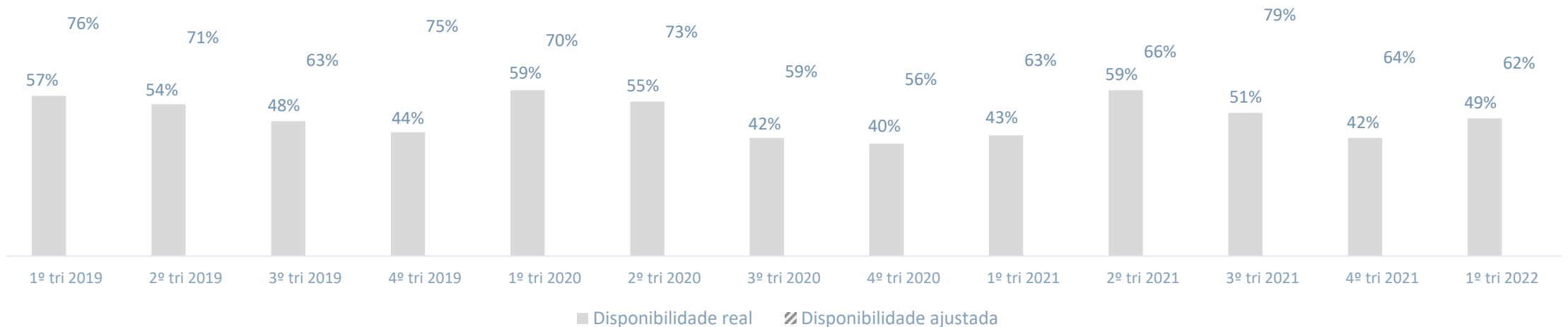
Aplicação do Modelo Matemático

- O modelo matemático foi executado utilizando o software Jupyter, que conta com a extensão da linguagem de programação Julia, e o solver GLPK. O computador usado apresenta processador Intel® Core™ i5-8250U CPU @ 1.60GHz 1.80GHz, sistema operacional Windows e 8GB de memória RAM.
- A execução do modelo resultou na periodicidade de manutenções preventivas de 2 meses para os itens 1, 2, e 6, já os itens 3, 4 e 5 mantiveram a periodicidade de 3 meses.

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Item 1	x		x		x		x		x		x	
Item 2		x		x		x		x		x		x
Item 3		x			x			x			x	
Item 4	x			x			x			x		
Item 5			x			x			x			x
Item 6		x		x		x		x		x		x

Aplicação do Modelo Matemático

- A execução do cronograma de manutenção preventiva atual utilizado pela organização apresentaria o custo aproximado de 2.000.000 reais, o valor para execução do cronograma de manutenção obtido através do modelo matemático é de 1.445.470 reais;
- O novo cronograma de manutenção preventiva também assegura maior disponibilidade das Socadoras para operar.



Conclusão

- Os resultados encontrados foram satisfatórios, indicando que a utilização de programação matemática para definição dos intervalos de manutenção é viável;
- A aplicação do modelo matemático envolveu alguns itens críticos do modelo de máquina Socadora, comparado ao cenário atual, o cronograma sugerido neste trabalho é cerca de 28% mais econômico, além disso foi constatado o aumento de disponibilidade de 17% a cada trimestre, assegurando a maior utilização do equipamento pela empresa.



Próximos passos

- Incluir as demais Socadoras e elaborar um calendário indicando os momentos do mês, conforme periodicidade e meses escolhidos, em que devem ser feitas as substituições dos componentes críticos;
- Realizar análise de probabilidade envolvendo os números de custo, o objetivo é deixar os valores o mais próximo do contexto real;
- Recriar cronogramas de manutenção preventiva para as demais máquinas da frota dos equipamentos de manutenção de via.

Referencial Bibliográfico



ALMEIDA, M. T. Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade. 2000. Disponível em: Acesso em 03 maio 2022.

AZEVEDO, Andressa Amaral. Otimização da manutenção preventiva em linhas de montagem: estudo de caso em uma empresa de manufatura contratada do setor eletroeletrônico. 2007.

BELTRAME, Júlia Oliveira; GUZZO, Marcus Vinicius Pires; SILVA, Raiane Borlini; MARTINS, Débora de Souza. Análise da Eficiência da Manutenção através de Indicadores Chave de Desempenho.

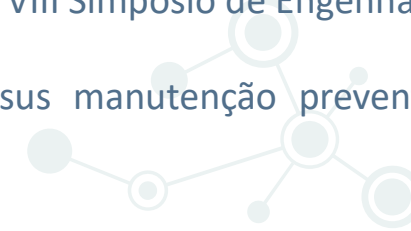
KOLUS, Ahmet; AL-TURKI, Ahmed El-Khalifa and Umar M.; DUFFUAA, Salih Osman. An integrated mathematical model for production scheduling and preventive maintenance planning. International Journal of Quality & Reliability Management, 2020.

KÜNZEL, Eric Edward. Modelagem matemática aplicada na gestão de manutenção: um estudo feito em uma indústria do setor de borracha. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LEAL, Olavo Pinto; BAFFA, Paulo; GARCIA, Helenice Leite. Otimização da frequência na manutenção preventiva. XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, 2006.

MONTEIRO, Elton Andrade. Pesquisa Operacional Aplicada à Logística. Anais do VIII Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 2016.

MUDUC, Sabina. Análise de custo-benefício da manutenção corretiva versus manutenção preventiva das infraestruturas da Guarda Nacional Republicana. 2021. Tese de Doutorado.



Referencial Bibliográfico

ROSA, S. C. F.; LEITÃO, J. O. M.; SILVA, A. L. E.; THIER, F. Análise da Gestão da Manutenção em uma empresa de transformação de polímeros. VIII CONBREPRO, Ponta Grossa, dez. 2018.

SANTOS, Luís Márcio Alves. Et al. A Importância da manutenção industrial e seus indicadores. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 11, Vol. 01, pp. 108-128. 2019.

SITTER, W. R. Costs for service life optimization The “law of fives”. In: CEB-RILEM. Durability of concrete structures. Proceedings of the international workshop held in Copenhagen, on 18-20 may 1983. Copenhagen, 1984.

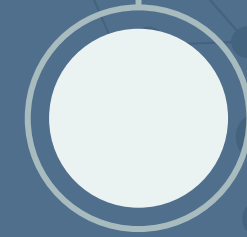
SLACK, N; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. Administração da Produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUZA, Valdir Cardoso. Organização e Gerência da Manutenção. 5. ed. São Paulo: All Print, 2013.

SOUZA, Valdir Cardoso; MARCHI, Carolina; BUENO, Nathalia; FAUSTINO, Tais; BARREIRO, Thays. Utilização das tecnologias da indústria 4.0 na manutenção preditiva através do monitoramento de equipamentos e instalações. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 1, p. 7063-7083, 2022.

VIANA, Alan Alcides; MIRANDA JÚNIOR, Gilberto; CONCEIÇÃO, Samuel Vieira. Otimização de Custos e Planejamento da Manutenção Preventiva. XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Anais. João Pessoa: SOBRAPO, 2008.

XAVIER, Júlio Nascif. Manutenção – Tipos e Tendências. 2021. Disponível em: <http://claudemiralves.weebly.com/uploads/3/8/6/2/3862918/tendencia.pdf/>. Acessado em 17 de março de 2022.



Obrigada!