

QUANTIFICAÇÃO DO RISCO DE FALHA DE INSTRUMENTOS DE CONTROLE REMOTO USADOS EM EQUIPAMENTOS DE PERFURAÇÃO E ESCAVAÇÃO¹

Júlio César da Silva²

Resumo

A mina do Sossego, produtora de concentrado de cobre, é uma mineração que produz em média 400.000 toneladas/ano de concentrado, conta atualmente com 6 perfuratrizes, num ritmo de produção médio de 16,43 m/h, e 3 escavadeiras de grande porte (71 yd³), num ritmo médio de 3100 tbn/h, estes equipamentos têm como função principal garantir a movimentação de cerca de 4000000 de toneladas/mês na mina. Como a frota é relativamente pequena, todos os equipamentos têm um impacto muito acentuado na produção da mina, assim a disponibilidade física dos mesmos deve possuir altos valores com pouca oscilação durante o ano. A introdução de sistemas supervisórios em sistemas que apresentam altos índices de falha, pode ser uma solução para aumentar a disponibilidade física e auxiliar no planejamento da manutenção de mina, para isto iremos estudar o comportamento dos índices de falha para chegarmos a pontos ótimos de sua variação. Assim presente trabalho tem como objetivo mensurar estas variáveis e retornar o ganho gerado em disponibilidade física e confiabilidade das máquinas que tiverem tais sistemas implantados. Para isto iremos trabalhar neste estudo de caso com a Escavadeira 4100 XPB (P&H) e da Perfuratriz GD-120 (P&H), pelo fato de já trabalharem a mais de 2 anos na mina, e possuírem um histórico de manutenção, na Mina do Sossego, bem razoável.

Palavras-chave: Taxa de falha; Método de Markov.

QUANTIFICATION OF THE RISK OF FAILURES IN INSTRUMENTS REMOTE CONTROL USING ON DRILLINGS AND SHOVELS EQUIPMENTS

Abstract

The introduction of supervisor systems in machines what show high failures levels, can be one solution for add availability and help in mine maintenance schedule. For this will study the comportment of failure rates and possible solutions. This paper had as objective try measure the gain in physical availability and reliability in machines with these systems. In our case study will work with P&H 4100 XPB Shovel, and P&H GD-120 Drilling Machine, both equipments stay in Sossego`s Mine and had a good maintenance historical.

Key words: Mean time to failure; Mean time between failure.

1 DESENVOLVIMENTO

1.1 Descrição das Falhas

Para a aquisição de um banco de dados confiável, contendo os dados referentes às falhas ocorridas na escavadeira 4100 XPB e perfuratriz GD-120, iremos utilizar o despacho eletrônico da Mina do Sossego e assim, chegamos a uma descrição, de como se comportam as falhas existentes nos equipamentos:

1.1.1 Escavadeira 4100 XPB

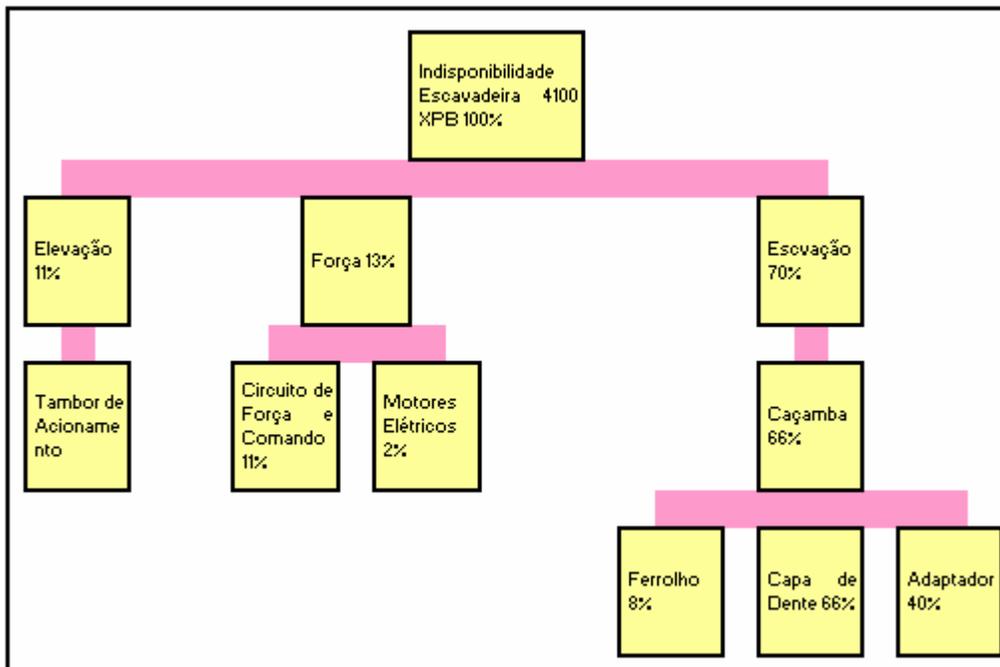


Figura 1. Pareto de falhas da Escavadeira 4100 XPB

Assim temos que o conjunto que mais interfere na indisponibilidade do equipamento é o conjunto de escavação. Sendo que, neste os maiores causadores de falhas são os Adaptadores, a Capa de Dente e o Ferrolho, todas partes da caçamba, temos também os componentes elétricos, os quais são responsáveis por 13% das paradas da Escavadeira 4100 XPB e o tambor de acionamento do sistema de Elevação por outros 11%.

1.1.2 Perfuratriz GD-120

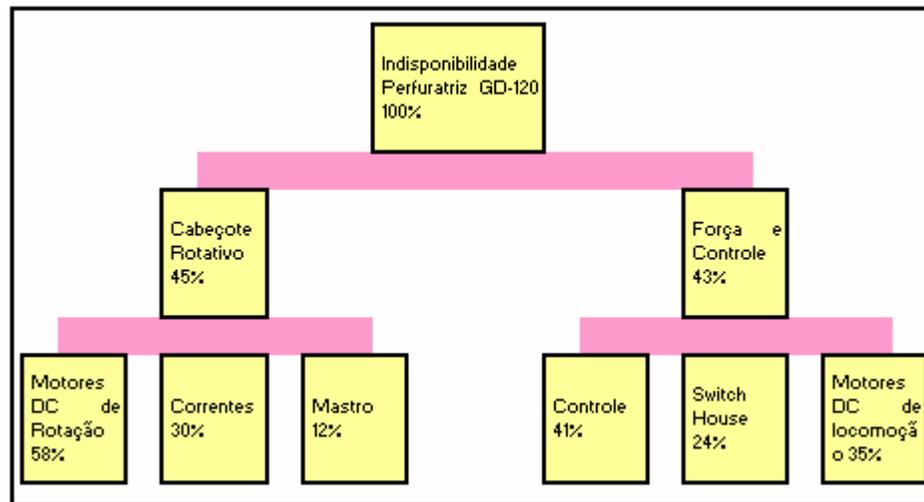


Figura 2. Pareto de falhas da Perfuratriz GD-120

No pareto da Perfuratriz GD-120, dividiremos a indisponibilidade nos principais subconjuntos, de acordo com o pareto feito através dos dados do histórico de manutenção obtidos pelo despacho eletrônico da Mina do Sossego, assim temos que no cabeçote rotativo (onde estão englobados os motores do mesmo, além do sistema que o interliga e o sustenta) a indisponibilidade causada pelo mesmo é de 45% e no sistema de força e controle da perfuratriz (onde estão contemplados, o motor de locomoção, os painéis elétricos, drivers de controle, etc...), a indisponibilidade com que ele contribui é de 43%.

1.2 Objetivo da Inserção dos Sistemas Supervisórios nos Equipamentos

Como estamos inserindo sistemas de supervisão nos equipamentos, esperamos diminuir o tempo médio entre falhas (MTTF), ocorrido nos subconjuntos dos quais estamos trabalhando, para assim diminuirmos o MTTF geral das máquinas na média acumulada. Através dos históricos gerados pelas máquinas, temos os valores diários de disponibilidade física atingida pelas máquinas, através deste valor, iremos calcular os tempos de vida globais de nossas máquinas, e utilizar com os valores paretados que encontramos acima. Como o despacho de nossa mina não nos fornece a disponibilidade inerente dos equipamentos, apenas a disponibilidade alcançada, iremos propor a seguinte hipótese para darmos início ao nosso raciocínio:

$$MTTF = MTBF$$

Tempo médio até a Falha = Tempo Médio entre Manutenções Corretiva ou Preventiva

Iremos fazer esta aproximação porque a intenção deste artigo é obter um ponto ótimo na manutenção preventiva, com o auxílio de sistemas supervisórios, mas que diminua o índice de manutenções corretivas, desta forma o MTTF e o MTBF tenderão para valores parecidos. Como os sistemas supervisórios nos quais estamos tratando

neste trabalho são em quase sua totalidade para sistemas não reparáveis (Material de desgaste e sistemas elétricos) teremos que o MTTF das máquinas será dado por:

$$MTTF = \frac{1}{N} \sum (t_{fi} - t_{ri}) = \frac{1}{\lambda}$$

Equação <1>

Assim a idéia é diminuir a taxa de falhas λ para assim aumentar nosso MTTF e desta forma aumentar nossa confiabilidade para cada máquina em questão.

1.3 Estudo do Desempenho das Máquinas Relativo às suas Taxas de Falha dos Sub-sistemas Analisados

De acordo com o pareto feito para as duas máquinas iremos propor a confiabilidade das máquinas em termos dos sistemas que serão atendidos pelos sistemas que serão supervisionados, assim iremos assumir que todos os componentes de ambas as máquinas (Escavadeira 4100 XPB e Perfuratriz GD-120) são mutuamente independentes. Assim usaremos o Método de Markov para analisar as interações de falha. Assim definiremos como se irão se comportar as combinações de falha e operação dos componentes que farão parte do sistema proposto para cada máquina, assim objetivo será poder calcular a probabilidade de ocorrência de um estado i num tempo t , promovendo as alterações nas taxas de falha, causadas pela inserção dos sistemas de supervisão e assim poder mensurar os ganhos hipotéticos na disponibilidade e confiabilidade de nossos equipamentos.

Para isto temos que a confiabilidade ao longo do tempo para os sistemas que estamos propondo será:

$$R(t) = \sum_{i \in o} P_i(t)$$

Equação <2>

Para determinar os valores de $P_i(t)$, que é a probabilidade de um sistema passar de um estado operacional para um estado de falha, usaremos utilizar equações diferenciais, uma para cada estado do sistema proposto, referindo as transições de estado, para assim calcularmos a probabilidade que um componente terá de falhar entre um estado t e um $t + \Delta t$, assim iremos desenvolver o esquema de interação de falhas para os equipamentos analisados em questão:

1.3.1 Escavadeira 4100XPB

Pelo pareto levantado, temos que grande parte da confiabilidade e indisponibilidade física da máquina é dada pelos seguintes sub sistemas: Escavação, Força e Elevação, assim iremos construir seu diagrama de interação de falhas, mas para isto será necessário construir uma tabela com todas as interações de falha possíveis:

Tabela 1

Escavadeira 4100XPB								
Componente	Estado							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Escavação	o	x	o	o	x	x	o	x
Força	o	o	x	o	x	o	x	x
Elevação	o	o	o	x	o	x	x	x
o – Operando								
x – Falhando								

Como a máquina depende simultaneamente do funcionamento dos três sistemas, podemos assumir que a combinação que os liga é em série, desta maneira quando um dos sistemas falhar temos que o equipamento assumirá o estado de falho.



Figura 3. Diagrama de Blocos para Escavadeira 4100 XPB

Assim teremos nosso mapa de transição:

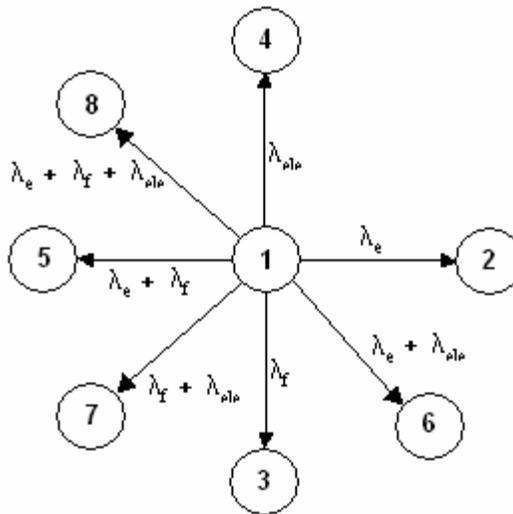


Figura 4. Mapa de Transição de Falha para Escavadeira 4100 XPB

Onde de acordo com a tabela e o pareto feito na escavadeira teremos:

$$\lambda_e + \lambda_{ele} + \lambda_f = 0,031$$

$$\lambda_e - \text{taxa de falha para escavação} = 0,022$$

$$\lambda_f - \text{taxa de falha para força} = 0,004$$

$$\lambda_{ele} - \text{taxa de falha para elevação} = 0,005$$

Assim teremos as equações diferenciais para o mapa proposto:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ P_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4*(\lambda_e + \lambda_f + \lambda_{ele}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_e & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_f & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_{ele} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_e + \lambda_f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_e + \lambda_{ele} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{ele} + \lambda_f & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_e + \lambda_f + \lambda_{ele} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ P_8 \end{bmatrix}$$

Equação <3>

Resolvendo a equação diferencial acima e aplicando a relação com a confiabilidade chegamos a seguinte relação:

$$R(t) = e^{-0,124t} + e^{-0,022t} + e^{-0,004t} + e^{-0,005t} + e^{-0,026t} + e^{-0,027t} + e^{0,009t} + e^{-0,031t} - 4$$

Equação <4>

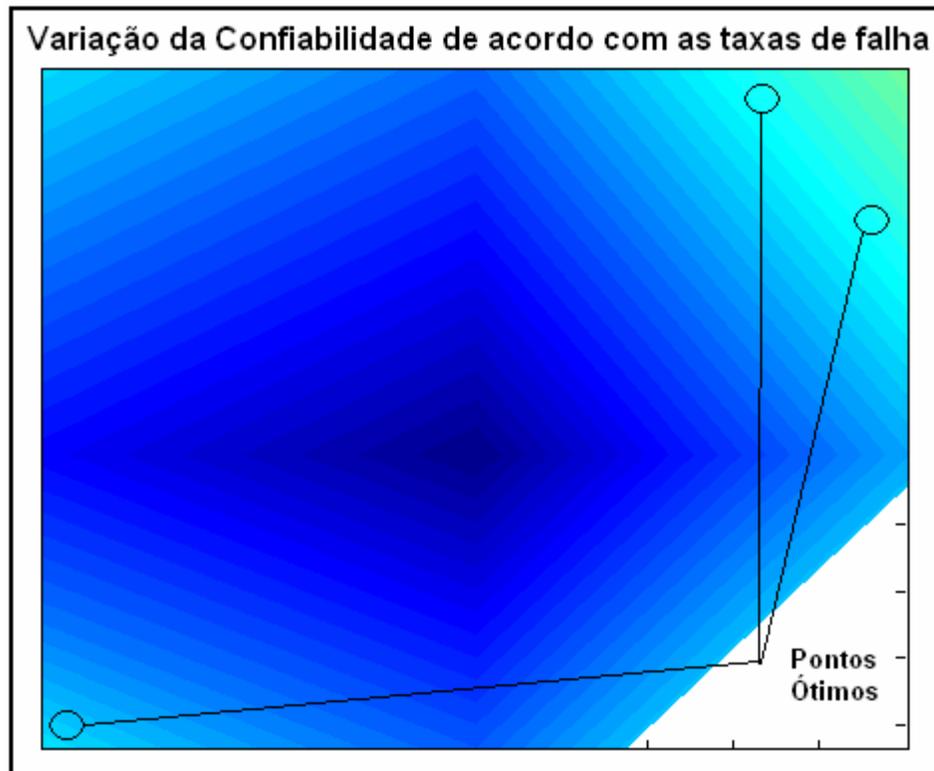


Figura 5. Simulação da Confiabilidade em função da taxa de falha para um período de 24 h na Escavadeira 4100 XPB

Através de simulação computacional, para 24 h, temos que os valores ótimos para nossos valores de disponibilidade com utilização factível dos sistemas de supervisão para escavadeira, variam de 10% à 5% de aumento nos valores de confiabilidade e disponibilidade física. Com variações na ordem de 2% nas taxas de falha. Esta variação é a esperada dentro de um funcionamento normal dos dispositivos e de boa organização da equipe de manutenção.

1.3.2 Perfuratriz GD-120

Mantendo o mesmo raciocínio aplicado a Escavadeira 4100 XPB, vamos levantar todas as interações causadas pelos sub-sistemas que foram tidos como principais na Perfuratriz GD-120, assim teremos:

Tabela 2

Perfuratriz GD-120				
Componente	Estado			
	1	2	3	4
Cabeçote Rotativo	○	X	○	X
Força e Controle	○	○	X	X
○ - Operando				
x - Falhando				

Da mesma maneira os dois sistemas estão dispostos em série, ou seja se qualquer um dos subconjuntos falhar, levará a perfuratriz a falha.

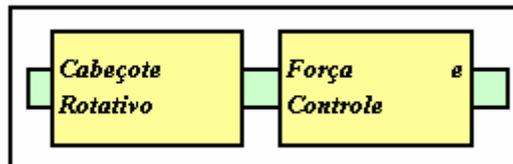


Figura 6. Diagrama de Blocos para Escavadeira 4100 XPB

Desta feita o mapa de transição ficará com a seguinte disposição:

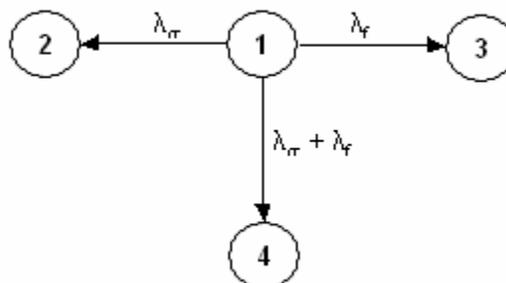


Figura 7. Mapa de Transição de Falha para Perfuratriz GD-120

Onde de acordo com a tabela e o pareto feito na Perfuratriz teremos:

$$\lambda_{cr} + \lambda_f = 0,050$$

$$\lambda_{cr} - \text{taxa de falha para cabeçote rotativo} = 0,022$$

$$\lambda_f - \text{taxa de falha para força e controle} = 0,021$$

Assim teremos as seguintes equações para o mapa proposto:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 * (\lambda_{cr} + \lambda_f) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{cr} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_f & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_{cr} + \lambda_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix}$$

Equação <4>

Resolvendo a equação diferencial acima e aplicando a relação com a confiabilidade chegamos a seguinte relação:

$$R(t) = e^{-0,124t} + e^{-0,022t} + e^{-0,004t} + e^{-0,005t} + e^{-0,026t} + e^{-0,027t} + e^{0,009t} + e^{-0,031t} - 4$$

Equação <5>

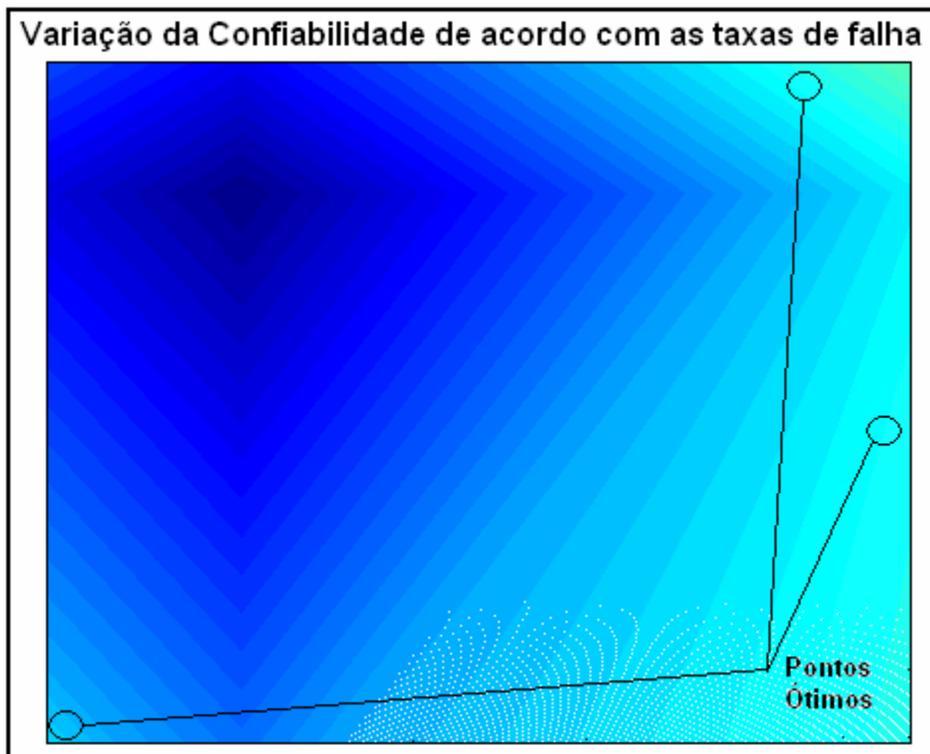


Figura 8. Simulação da Confiabilidade em função da taxa de falha para um período de 24 h na Perfuratriz GD-120

Assim como na Escavadeira 4100 XPB, temos os pontos ótimos para na Perfuratriz GD-120, com uma variação um pouco maior 15 a 7% de acréscimo na

confiabilidade e disponibilidade física. Para um decréscimo de 1,5% nas taxas de falhas dos sub sistemas aqui estudados.

3 CONCLUSÕES

Através das simulações produzidas fica claro que pequenas variações na taxa de falha proporcionam grandes ganhos na confiabilidade e disponibilidade física, na ordem de 10 à 15%, o que viabiliza a inserção dos sistemas supervisórios. O que será relatado abaixo é a proposição de alguns sistemas de supervisão que poderão possivelmente reduzir os valores das taxas de falhas de nossos sistemas, apesar de os mesmos serem viáveis, o desafio é levar os mesmos a um funcionamento ideal, para que se possa fazer uma boa gestão da manutenção em equipamentos de mina.

Assim iremos propor alguns sistemas de controle remotos supervisórios, para os conjuntos que causam instabilidade na produção dos equipamentos, para assim podermos mensurar, os ganhos com a diminuição da taxa de falha, e conseqüente aumento da confiabilidade e disponibilidade física.

Sistemas de Supervisão Propostos

a) Esteira - Câmera Termográfica acoplada ao truck para medir espessura da esteira e um software para comparação e medição dos valores encontrados de espessura para assim sinalizar algum evento. Alto custo e bom dimensionamento para manutenções preventivas.

b) Caçamba - Câmera Preto e Branco (digital) para filmagem dos dentes da caçamba antes e depois do movimento de escavação acompanhada de um software para fazer o processamento das imagens e compará-las antes e depois do ciclo de escavação. Assim pode-se aumentar a velocidade na sinalização de alguma falha envolvendo o material de desgaste das escavadeiras, podendo também programar preventiva envolvendo os mesmos, através de imagens digitais. Custo Moderado, boa performance na diminuição da taxa de falhas e dimensionamento de manutenções preventivas.

c) Sistema Elétrico - Sistema de controle de todos os parâmetros elétricos envolvidos nos equipamentos, tais como: Corrente de armadura em motores CC, corrente de campo em motores CC, controle de torque dos acionamentos presentes nas máquinas, (tais como acionamento do sistema de elevação, para aumento de vida útil dos componentes mecânicos), perfis de tensão e corrente nas malhas de controle de todos os motores das máquinas, para aproximação de vibração mecânica dos motores elétricos utilizando os parâmetros de entrada dos mesmos, e etc... Baixo Custo, excelente performance na diminuição de falhas e dimensionamento de manutenções preventivas.

d) Cabeça Rotativa - Inserção de acelerômetros para medição de níveis de vibração mecânica, para assim definirmos um nível de segurança para os equipamentos, sendo que acima do range proposto o sistema emitirá um sinal para corte da máquina. Baixo Custo, performance moderada na diminuição de falhas causadas por vibração e no dimensionamento de manutenções preventivas.

Agradecimentos

Gabriel Lima – Orientador do artigo;
Messias Souza – Colaborador;
CVRD – Disponibilização de informações

BIBLIOGRAFIA

- 1 Lewis, E. E. Introduction to Reliability Engineering. New York: John Wiley & Sons, 1987.
- 2 Lima, Gabriel. Engenharia da Confiabilidade. São Paulo, 2005.