



University of  
Texas Libraries



e-revist@s



Centro Universitário Santo Agostinho



# revista fsa

[www4.fsnet.com.br/revista](http://www4.fsnet.com.br/revista)

Rev. FSA, Teresina, v. 15, n. 6, art. 8, p. 151-167, nov./dez. 2018

ISSN Impresso: 1806-6356 ISSN Eletrônico: 2317-2983

<http://dx.doi.org/10.12819/2018.15.6.8>

DOAJ DIRECTORY OF  
OPEN ACCESS  
JOURNALS

WZB  
Wissenschaftszentrum Berlin  
für Sozialforschung



## **Análise de Correlação e Regressão como Ferramenta para Gestão da Manutenção: um Estudo Aplicado na Indústria de Mineração e Logística**

## **Correlation and Regression Analysis as a Tool for Maintenance Management: a Study Applied in the Mining and Logistics Industry**

### **Saymon Ricardo de Oliveira Sousa**

Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria

Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade CEUMA

E-mail: [saymon.ricardo.sousa@gmail.com](mailto:saymon.ricardo.sousa@gmail.com)

### **Roselaine Ruviaro Zanini**

Doutora em Epidemiologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

E-mail: [rrzanini63@gmail.com](mailto:rrzanini63@gmail.com)

### **Cristiane Melchior**

Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria

Graduada em Administração pela Fundação Educacional Machado de Assis

E-mail: [crmelchior@gmail.com](mailto:crmelchior@gmail.com)

### **Ricardo Daher Oliveira**

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba

E-mail: [ricardo.daher@hotmail.com](mailto:ricardo.daher@hotmail.com)

---

#### **Endereço: Saymon Ricardo de Oliveira Sousa**

Universidade Federal de Santa Maria, CEP: 97119-900,  
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

#### **Endereço: Roselaine Ruviaro Zanini**

Universidade Federal de Santa Maria, CEP: 97119-900,  
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

#### **Endereço: Cristiane Melchior**

Universidade Federal de Santa Maria, CEP: 97119-900,  
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

#### **Endereço: Ricardo Daher Oliveira**

Rua Josué Montello, nº 1, Renascença II, Departamento  
de Engenharia de Produção, CEP: 65075-120, São Luís,  
Maranhão, Brasil.

**Editor-Chefe: Dr. Tonny Kerley de Alencar  
Rodrigues**

**Artigo recebido em 27/05/2018. Última versão  
recebida em 15/06/2018. Aprovado em 16/06/2018.**

**Avaliado pelo sistema Triple Review: a) Desk Review  
pelo Editor-Chefe; e b) Double Blind Review  
(avaliação cega por dois avaliadores da área).**

**Revisão: Gramatical, Normativa e de Formatação**

**Agradecemos à CAPES – Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior pelo apoio financeiro na forma de concessão de bolsas de estudo.**



## RESUMO

A importância de prever falhas em equipamentos industriais com maior confiabilidade e rapidez faz com que diferentes métodos sejam agregados para compor estas necessidades e acelerar as estratégias de manutenção nas organizações. Este trabalho fundamentou-se na análise de correlação e regressão através de técnicas estatísticas que conduzissem a uma percepção mais ampla do impacto da manutenção não planejada. O objetivo foi examinar de que forma a análise de correlação e regressão podem auxiliar na gestão da manutenção industrial portuária. Realizou-se uma abordagem exploratória e quantitativa por meio do estudo de caso, abrangendo a revisão bibliográfica como suporte para a temática investigada. Verificou-se com a utilização das variáveis Confiabilidade, Manutenção Corretiva e Manutenção Preventiva a existência de uma correlação significativa dos coeficientes que permitiu expressar matematicamente a equação da regressão. Ao concluir a pesquisa, foi possível observar que a Manutenção Corretiva impacta negativamente na Confiabilidade dos equipamentos industriais.

**Palavras-chave:** Gestão da Manutenção. Estatística. Correlação e Regressão.

## ABSTRACT

The importance of predicting failures in industrial equipment with greater reliability and speed causes different methods to be aggregated to match these needs and accelerate maintenance strategies in organizations. This work was based on the analysis of correlation and regression through statistical techniques that led to a broader perception of the impact of unplanned maintenance. The objective was to examine how the correlation and regression analysis can assist in the management of port industrial maintenance. An exploratory and quantitative approach was carried out through the case study, covering the bibliographic review as a support for the research topic. The variables Reliability, Corrective Maintenance and Preventive Maintenance were verified by the existence of a significant correlation of the coefficients that allowed to express mathematically the regression equation. At the conclusion of the research, it was possible to observe that Corrective Maintenance has a negative impact on the Reliability of industrial equipment.

**Keywords:** Maintenance Management. Statistic. Correlation and Regression.

## 1 INTRODUÇÃO

O atual cenário econômico, acompanhado das constantes evoluções tecnológicas, impôs às organizações dos mais diversos setores a necessidade da busca continuada pela melhor forma de operar seus processos, independente da natureza ao qual esses pertencem. Nessa linha de pensamento, o processo de tomada de decisão nas organizações constantemente necessita de subsídios que fomentem a correta análise dos elementos constituintes do processo decisório apresentando, assim, métodos matemáticos com vasta aplicação e relevância para esta temática (SOUSA *et al.*, 2016).

A ciência moderna está repleta de métodos com a finalidade de prever determinados eventos como por exemplo, a Meteorologia, que analisa a velocidade, altitude do vento, umidade relativa do ar. A Estatística também se apresenta em diversos níveis de complexidade para as organizações, fornecendo modelos e métodos analíticos que possibilitam o melhor gerenciamento dos processos organizacionais. O desdobramento de tais ferramentas aborda distintas áreas do conhecimento, desde Matemática, Finanças, Pesquisa Operacional, assim como Engenharia da Manutenção, tornando-se uma técnica crucial para a resolução de problemas organizacionais e melhoria do desempenho produtivo.

Nesse contexto, a Estatística é um componente fundamental no campo da inteligência organizacional, envolvendo todas as tecnologias para coleta, manutenção, acesso e análise de dados a fim de aperfeiçoar as decisões empresariais, convertendo dados brutos e não estruturados em informações úteis. A gestão da manutenção necessita de informações confiáveis e oportunas para analisar as possíveis tendências e adaptar-se às condições de mudança. A estatística proporciona uma tomada de decisão com base em dados precisos e reduz a possibilidade de suposições (DOANE; SEWARD, 2014).

Considerando-se a relevância do tema abordado, o presente artigo tem por objetivo utilizar a análise de correlação e ajustar um modelo de regressão aos dados de operação de uma gerência portuária. Nesse sentido, busca-se responder o seguinte questionamento: como a análise de correlação e regressão poderá contribuir para a gestão da manutenção? Tal questão requer tanto um mapeamento de literatura, quanto a utilização de mecanismos de observação ou coleta de informações que permitem a concretização do objetivo da pesquisa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para que a pesquisa atinja seus propósitos, é necessário que se faça uma contextualização acerca das teorias existentes, cujo propósito está voltado à consistência técnica-científica do presente estudo. Neste sentido, são considerados os seguintes temas: confiabilidade, métodos de manutenção, análise de correlação e regressão que, entende-se ser técnicas úteis para a análise do problema suscitado neste estudo.

### 2.1 Confiabilidade e Métodos de Manutenção

A disponibilidade de sistemas reparáveis pode ser estimada utilizando-se diversos métodos e medidas, assumindo que um item em falha poderá ser restaurado por meio da manutenção. Nas indústrias, estimar ou prever a disponibilidade de um sistema é de suma importância para o desempenho global, pois a disponibilidade é definida como a probabilidade de que o sistema esteja em estado de operação em um tempo aleatório. Os métodos de previsão e avaliação da disponibilidade podem fornecer medidas de desempenho quantitativas, utilizadas na avaliação de alternativas que permitam a redução de custos, levando à definição de manutenção (ERICSON, 2015).

A manutenção não atua apenas em máquinas e equipamentos que estão em operação; atua também na concepção de um projeto, uma vez que a disposição de peças, a acessibilidade dos conjuntos e até mesmo o dimensionamento das peças e dos componentes, devem obedecer a critérios para facilitar futuras operações de manutenção. Assim como as máquinas, as ferramentas, materiais e a tecnologia também evoluíram desde o surgimento da mecanização, industrialização e automatização; a manutenção também evoluiu, não só no que se refere aos procedimentos práticos de montagem, desmontagem, substituição de peças e alinhamento, mas, principalmente, na “Gestão da Manutenção” e no desenvolvimento dos tipos de manutenção que atendam a cada necessidade industrial (ALMEIDA, 2015).

O principal objetivo de todo o conjunto da manutenção é tornar mínima a relação entre custos e benefícios. A metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (*RCM – Reliability Centered Maintenance*) busca o desenvolvimento de programas de manutenção que minimizem as consequências de falhas em equipamentos. Os princípios básicos envolvem a identificação de modos de falhas funcionais, hierarquização das falhas, as consequências para o sistema e a seleção de ações preventivas. A *RCM* é um agrupamento de artifícios que se tornaram significativas no sentido de detectar os inúmeros elementos que favorecem a não-

confiabilidade de um equipamento, bem como os procedimentos adotados para implementar sua confiabilidade (MOSLEMI *et al.*, 2016).

Com a evolução da manufatura, foram criados ao longo do tempo muitos inventos para a área de máquinas. Este fato gerou a necessidade de métodos de manutenção mais eficazes que não só consertassem os equipamentos ou máquinas danificadas, mas também sua quebra inesperada. Essas necessidades resultaram na criação de sistemas de gestão da manutenção que visam prolongar o tempo de utilização e a eficiência das máquinas, equipamentos e instalações. Os tipos básicos de manutenções são a corretiva e a preventiva (ALMEIDA, 2015).

Denomina-se manutenção corretiva a atividade efetuada logo após a ocorrência de uma falha, com a função de repor um equipamento em condições de execução da função requerida. Quando não há uma manutenção preventiva, o impacto da indisponibilidade do equipamento é maior. A manutenção corretiva pode ser dividida em duas fases, a corretiva não planejada que é a correção da falha de maneira aleatória e a planejada sendo essa a correção que se faz em função do acompanhamento da operação do equipamento até a ocorrência da falha (OTANI; MACHADO, 2008).

A manutenção preventiva é realizada periodicamente e deve ser a principal atividade de manutenção em qualquer organização, envolvendo tarefas sistêmicas como as inspeções, reformas e substituições de peças ou componentes. Nesta modalidade, a frequência das falhas diminui, a disponibilidade dos equipamentos aumenta e os eventos inesperados também diminuem, ou seja, a manutenção preventiva evita a ocorrência de falhas por intermédio da substituição de partes do sistema (XENOS, 2014).

Nesse sentido, o controle dos processos de manutenção por intermédio de métodos estatísticos passou a auxiliar os gestores na tomada de decisão assertiva, baseada no diagnóstico do processo em análise. Desse modo, a estatística contribui diretamente com os processos de manutenção por se tratar de um conjunto de métodos que engloba fases de um estudo, iniciando-se pelo planejamento, administração, controle, coleta de dados, modelagem, inferência e apresentação de resultados para disseminação de informações (IGNÁCIO, 2012).

Muitos problemas em engenharia e ciência envolvem explorar a relação entre duas ou mais variáveis, sejam elas determinísticas ou não. Para avaliar a intensidade de ligação entre variáveis, utiliza-se a análise de correlação. Comumente é empregado o coeficiente de correlação de Pearson para medir tal intensidade; entretanto, quando o relacionamento das variáveis não é linear, outras alternativas devem ser aplicadas. Existem diversos critérios para analisar tal relação, desde variáveis que seguem uma distribuição normal e outros para

distribuições não conhecidas. A coleção de ferramentas estatísticas que é utilizada, para modelar e explorar relações entre variáveis que estão relacionadas de maneira não determinística é chamada de análise de regressão. Pelo fato de problemas desse tipo ocorrerem tão frequentemente em muitos ramos da engenharia e da ciência, a análise de regressão é uma das ferramentas estatísticas mais utilizadas (MONTGOMERY; RUNGER, 2018).

## 2.2 Análise de Correlação e Regressão

O coeficiente de correlação é uma medida que descreve o grau de linearidade entre observações pareadas em duas variáveis  $x$  e  $y$ , que possibilita investigar se as variáveis estão relacionadas deterministicamente. Afirmar que  $x$  e  $y$  estão relacionadas significa dizer que o conhecimento do valor de  $x$  implica no conhecimento exato do valor de  $y$ . Assim, o Coeficiente de Correlação de *Pearson* objetiva verificar o grau de associação entre duas variáveis (DEVORE, 2006; CHARNET, 2008), apresentado na equação (1).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

O valor do coeficiente de *Pearson* varia de  $-1 \leq r \leq +1$ . Quando  $r$  for próximo de 0, há pouca ou nenhuma relação linear entre  $x$  e  $y$ . Um valor  $r$  próximo de +1 indica uma grande relação linear positiva, ao passo que um valor  $r$  próximo de -1 indica uma alta relação linear negativa (DOANE; SEWARD, 2014; DEVORE, 2006).

A análise de regressão é uma seção da estatística que equaciona a relação entre duas ou mais variáveis, sendo que a regressão múltipla é uma extensão da regressão simples, a qual engloba diversas variáveis independentes também chamadas de preditoras. É utilizada quando um modelo com um único preditor não é efetivo para descrever a real relação entre a variável dependente  $Y$  (a variável resposta) e seus possíveis preditores ( $X_1, X_2, X_3, \dots$ ). Ainda, entende-se que a interpretação de regressão múltipla é similar à da regressão simples. Pode-se assumir que a variável resposta  $Y$  se encontra relacionada a  $k$  preditores por meio de uma equação linear, conforme apresentado na equação (2) (BUSSAB, 2006).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2)$$

Um erro aleatório  $\varepsilon$  representa a maior variabilidade do modelo. Os coeficientes desconhecidos da regressão  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  são chamados de parâmetros, onde cada coeficiente  $\beta_j$  indica uma alteração no valor esperado de  $Y$  quando se altera uma unidade  $X_j$ , enquanto o restante é constante. A regressão supõe que os erros são variáveis aleatórias independentes, com distribuição normal e variância constante. A análise dos resíduos do modelo permite identificar possível existência de não normalidade, autocorrelação ou heterocedasticidade (GUPTA; GUTTMAN, 2017).

O método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) é utilizado para estimar parâmetros de uma regressão, de maneira a assegurar o melhor ajuste, de tal forma que os resíduos sejam os menores possíveis. Os resíduos podem ser positivos ou negativos. Para ajustar uma equação de regressão linear simples utiliza-se as equações (3), (4) e (5) (CHARNET, 2008).

$$\hat{y}_1 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 \quad (3)$$

$$\hat{\beta}_0 = \frac{\sum y_i - \hat{\beta}_1 \sum x_i}{n} \quad (4)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} = \frac{s_{xy}}{s_{xx}} \quad (5)$$

Onde:  $\hat{\beta}_0$  e  $\hat{\beta}_1$  são estimadores de mínimos quadrados do intercepto e inclinação da reta. A expressão apresenta uma estimativa pontual da média de  $Y$  para cada valor de  $X$  (CHARNET, 2008).

Antes de determinar quais preditores são significantes, realiza-se um teste global (teste F). Para uma regressão com  $k$  preditores, as hipóteses a serem testadas são,  $H_0$ : em que todos os coeficientes verdadeiros são zero ( $\beta_1 = \beta_2 \dots = \beta_k = 0$ ) e  $H_1$ : pelo menos um dos coeficientes é diferente de zero. (DOANE; SEWARD, 2014). A base para o teste decompõe em duas partes a variação da variável resposta em torno de uma média, sendo:

$$\begin{array}{rcc} \mathbf{SQTot} & & \mathbf{SQReg} \\ \text{Variação Total} & = & \text{Explicado pela regressão} + \text{Erro inexplicado} \end{array}$$

O método de estimação MQO deverá minimizar a soma de quadrados dos resíduos representado por  $SQErro$ , conforme apresentado na equação (6), sendo a variação não explicada em  $Y$ . Cada valor predito  $\hat{y}_i$  é baseado em uma equação de regressão ajustada com  $k$  preditores (DOANE; SEWARD, 2014).

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6)$$

Uma medida utilizada no ajuste geral é o coeficiente de determinação  $R^2$ , podendo ser calculado usando a soma dos quadrados do erro ( $SQErro$ ), a soma de quadrados da regressão ( $SQReg$ ) e a soma dos quadrados total ( $SQTot$ ), conforme ilustrado nas equações (7) e (8) respectivamente (GUPTA; GUTTMAN, 2017; DOANE; SEWARD, 2014).

$$R^2 = 1 - \frac{SQErro}{SQTot} \quad (7)$$

Ou

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQTot} \quad (8)$$

O coeficiente de determinação é interpretado como a proporção da variabilidade da variável resposta expressa pelo modelo avaliado. O valor de  $R^2$  pertence ao intervalo [0;1] e quando mais próximo de 1, melhor será o ajuste do modelo (DEVORE, 2006).

### 3 METODOLOGIA

Quanto aos objetivos, este estudo se propôs a aprofundar-se por meio de uma pesquisa exploratória, visando compreender a problemática. Em relação aos procedimentos técnicos aplicados utilizou-se uma revisão bibliográfica, que contemplou livros e artigos científicos, a fim de responder ao problema de pesquisa levantado (GONZÁLEZ; FERNÁNDEZ; CAMARGO, 2014).



A técnica bibliográfica visa encontrar as fontes primárias, secundárias, materiais científicos e tecnológicos necessários para a realização da pesquisa científica. Este levantamento bibliográfico utiliza técnicas estatísticas, análises quantitativas, e permite a generalização das conclusões para o total da população (COLLIS; HUSSEY, 2005; OLIVEIRA, 2002; DENCKER, 2000; GIL, 2006).

O estudo foi realizado na área de descarga de vagões e empilhamento de minério de uma indústria de mineração e logística situada no litoral do Maranhão. Os dados referem-se a um sistema integrado de movimentação de minério de ferro (contendo mina, ferrovia e porto, conforme a Figura 1), escoando toda a produção da mina de Carajás (Brasil) que, atualmente, é considerada a maior mina a céu aberto do mundo.

**Figura 1 – Sistema Integrado**



Fonte: Elaborado a partir Vale Informar (2016).

Foram considerados 38 equipamentos que movimentam material a granel. As informações são de uma gerência de operações responsável pela operação de parte do sistema industrial. Os dados que compõem as análises são provenientes de um sistema interno de automação contendo todas as informações de operação. Ao todo, foram coletadas 33 observações de um mês de operação.

As variáveis que compõem o banco de dados são: (i) Confiabilidade mede a probabilidade de um sistema desenvolver suas atividades sem falhas por um período determinado, conforme expresso na equação (9).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (9)$$

Admite-se que  $\beta$  e  $\eta$  são conhecidos, onde  $\beta$  é o parâmetro de forma e  $\eta$  é o parâmetro de escala; (ii) Manutenção Corretiva envolve todas as horas de manutenção executadas em

paradas corretivas não planejadas; (iii) Manutenção Preventiva obtida pela quantidade de horas de manutenção planejadas e executadas no período considerado.

Para o estudo, a variável Confiabilidade será considerada como variável dependente ( $Y$ ) e as demais como variáveis explicativas ou independentes ( $X_1$  e  $X_2$ ). As etapas a serem cumpridas na metodologia fazem parte do método de Análise de Correlação e Regressão, citadas a seguir:

- Inicialmente, examinou-se o comportamento das variáveis estudadas pelo gráfico *Scatterplot*.
- Na sequência, calculou-se os coeficientes de correlação de *Pearson*.
- A seguir, foram testadas a significância dos coeficientes da regressão.
- Por fim, realizou-se uma análise dos resíduos gerados pelo modelo, utilizando-se os testes de normalidade, média aproximadamente 0, presença de *outliers*, homocedasticidade, autocorrelação, observações influentes e multicolinearidade.

Ao utilizar a regressão múltipla, eventualmente verifica-se que determinados subconjuntos das observações estão distantes de onde o restante dos dados foi coletado. A distância de *Cook* mede a influência de uma observação ao realizar-se uma análise de regressão de mínimos quadrados, ou seja, pontos que exercem um peso desproporcional nas estimativas do modelo, ou o efeito de excluir uma dada observação. Além disso, auxilia na identificação de possíveis *outliers*. Um valor  $D_i > 1$  indica que um ponto é influente (HINES et al, 2011).

Quando variáveis independentes são intercorrelacionadas, tem-se uma condição conhecida como multicolinearidade; esta condição não causa viés nos estimadores de Mínimos Quadrados ou nas previsões para  $Y$ , mas introduz uma inflação na variância. Quando os preditores são fortemente intercorrelacionados, as variâncias dos estimadores de seus coeficientes tendem a inflar, alargando os intervalos de confiança para os verdadeiros coeficiente  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ . Um teste geral para multicolinearidade dá-se é por meio do Fator de Inflação da Variância (VIF), que utiliza os critérios apresentados na Tabela 1, para análise. Vale ressaltar, que outros pesquisadores consideram como critério de seleção do VIF valores abaixo de 4 (DOANE; SEWARD, 2014).

Tabela 1 – Critérios para análise do Fator de Inflação da Variância - VIF

$R_j^2$	$VIF_j$	Interpretação
0,00	$\frac{1}{1 - R_j^2} = \frac{1}{1 - 0,00} = 1,0$	Sem inflação da variância
0,50	$\frac{1}{1 - R_j^2} = \frac{1}{1 - 0,50} = 2,0$	Inflação da variância moderada
0,90	$\frac{1}{1 - R_j^2} = \frac{1}{1 - 0,90} = 10,0$	Inflação da variância forte
0,99	$\frac{1}{1 - R_j^2} = \frac{1}{1 - 0,99} = 100,0$	Inflação da variância severa

Fonte: Adaptado de Doane e Seward (2009).

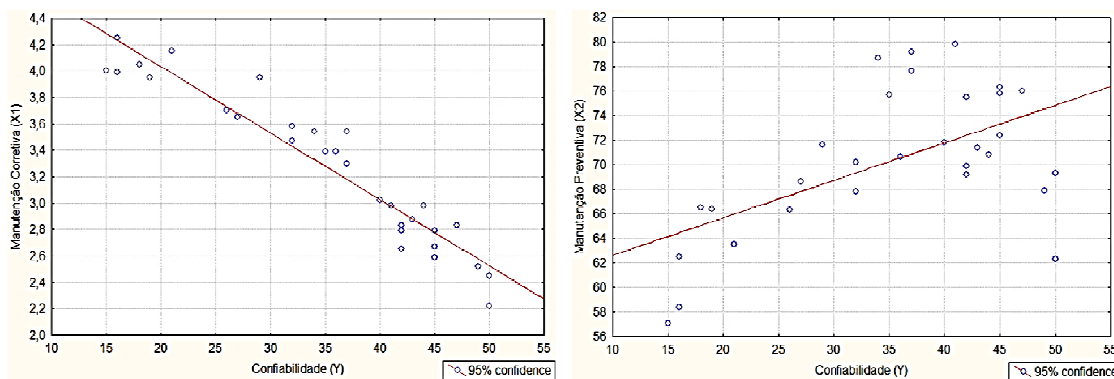
Não há limites para a magnitude de um VIF; pesquisadores sugerem que um VIF maior que 10 deve ser analisado ou até mesmo removido (DOANE; SEWARD, 2014). Observa-se que os valores de *VIF* na diagonal principal em módulo são menores que 4, ou seja, não há evidências de problema de multicolinearidade.

As análises foram realizadas através do *software Statistica 9.0 para Windows (Statsoft, Inc.; <http://www.statsoft.com>)*, sendo que, para os testes considerou-se um nível de 5% significância.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, são apresentados os gráficos que representam o relacionamento entre Manutenção Corretiva e Confiabilidade, e Manutenção Preventiva e Coinfiabilidade respectivamente.

Figura 2 – Gráficos de dispersão



Fonte: Elaborado pelos autores

Observa-se que as variáveis são correlacionadas é, na Figura 2, pode-se notar que a confiabilidade expressa pela variável (Y) possui uma relação linear negativa com a variável Manutenção Corretiva, bem como uma relação positiva, quando relacionada com a variável Manutenção Preventiva ( $X_2$ ). A etapa seguinte consiste em calcular o coeficiente de correlação para medir a intensidade (positiva ou negativa) de ligação entre as variáveis. Na Tabela 2 pode-se observar os valores dos coeficientes de correlação de Pearson, considerando as variáveis analisadas.

Tabela 2 – Matriz de Correlação

Variáveis	Confiabilidade (Y)	Manutenção Corretiva ( $X_1$ )	Manutenção Preventiva ( $X_2$ )
Y	1,00 p-valor < 0,001	-0,9535 p-valor < 0,001	0,5706 p-valor < 0,001
$X_1$	-0,9535 p-valor < 0,001	1,00 p-valor < 0,001	-0,3862 p-valor < 0,001
$X_2$	0,5706 p-valor < 0,001	-0,3862 p-valor < 0,001	1,00 p-valor < 0,001

Fonte: Elaborado pelos autores

Na Tabela 2, evidencia-se uma correlação forte e negativa entre a Confiabilidade e a Manutenção Corretiva ( $r = -0,9535$ ; p-valor < 0,001), enquanto que entre a Confiabilidade e a Manutenção Preventiva identificou-se uma correlação moderada e positiva ( $r = 0,5706$ ; p-valor < 0,001).

Considerando-se os resultados da análise de correlação, verificou-se que existe pelo menos um coeficiente significativo (p-valor < 0,001), quando se considera um modelo de

regressão  $y = f(X_1, X_2)$ . Assim, na Tabela 3 pode-se observar os principais resultados do ajuste do modelo de regressão.

**Tabela 3 - Teste de significância dos coeficientes**

Regressão: $\hat{Y} = \tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 x_1 + \tilde{\beta}_2 x_2$			
r = 0,9784 R <sup>2</sup> = 0,9573 R <sup>2</sup> ajustado = 0,9541			
	<b>Coefficiente</b>	<b>Estatística t</b>	<b>p-valor</b>
<b>Constante</b>	57,4848	8,0377	p < 0,000
<b>Manutenção Corretiva (X<sub>1</sub>)</b>	-16,3708	-19,9756	p < 0,000
<b>Manutenção Preventiva (X<sub>2</sub>)</b>	0,4440	5,5127	P < 0,000

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base nos resultados expostos pela Tabela 3, para um nível de significância de 5% todos os parâmetros são significativos (p-valor < 0,05), sendo o valor da constante “ $\alpha$ ” igual a 57,4848 e os valores de “ $\beta$ ” igual a -16,3708 para Manutenção Corretiva e 0,44400 para Manutenção Preventiva. No ajuste da equação, é necessário observar que a Manutenção Corretiva e/ou Preventiva poderá assumir valor 0 sendo, então, a Confiabilidade estimada de 57,4848 %. A equação da regressão é apresentada a seguir.

$$\hat{Y} = 57,4848 - 16,3708X_1 + 0,4440X_2$$

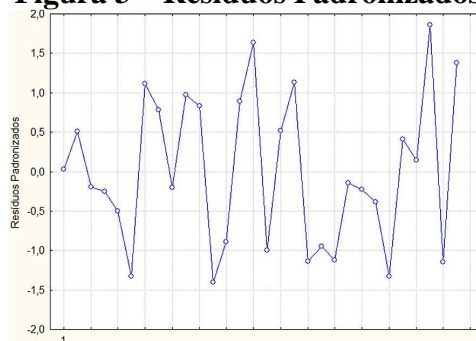
Esta equação indica que, em média, para o aumento de uma unidade de variação na Manutenção Corretiva a Confiabilidade diminuiria 16,3708%, mantendo  $X_2$  constante, enquanto que, com o aumento de uma unidade de variação na Manutenção Preventiva, a Confiabilidade aumentaria 0,4440%, mantendo  $X_1$  constante. Para a equação de regressão ajustada obteve-se o coeficiente de determinação de  $R^2 = 0,9573$ , portanto, aproximadamente 95,73% da variação da Manutenção Corretiva e Preventiva é explicada pela variação da Confiabilidade. A seguir, apresentam-se as principais estatísticas dos resíduos gerados pelo modelo.

**Tabela 4 – Estatísticas dos resíduos do modelo de regressão**

	Resíduos	Resíduos Padronizados
<b>Mínimo</b>	-3,30145	-1,39971
<b>Máximo</b>	4,38977	1,86112
<b>Média</b>	0,00000	-0,00000
<b>Mediana</b>	-0,40745	-0,17275

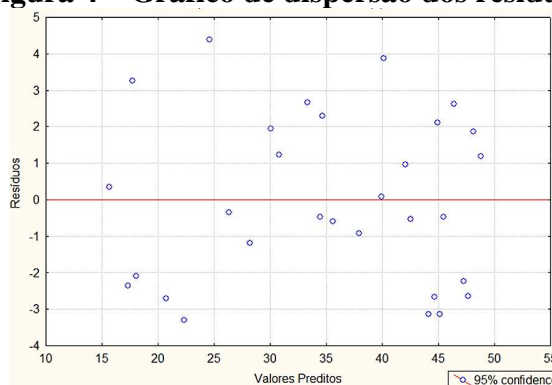
Fonte: Elaborado pelos autores

A média dos resíduos oriundos do modelo ajustado atende ao primeiro pressuposto com média aproximadamente zero ( $\mu \approx 0$ ). Além disso, observou-se que os resíduos seguem uma distribuição normal (p-valor > 0,20). Considerando os resultados da Tabela 4 e da Figura 3, observa-se que os resíduos padronizados permanecem dentro do intervalo  $[-2, +2]$ , não indicando presença de *outliers*.

**Figura 3 – Resíduos Padronizados**

Fonte: Elaborado pelos autores

Para verificar se os resíduos são Homocedásticos, realizou-se uma inspeção visual do gráfico de dispersão, conforme a Figura 4.

**Figura 4 – Gráfico de dispersão dos resíduos**

Fonte: Elaborado pelos autores

Por meio da inspeção visual da Figura 4, não é possível perceber uma tendência crescente na amplitude de dispersão dos resíduos; logo, a variância pode ser considerada constante e os resíduos são homocedásticos. Analisando-se a autocorrelação residual (teste Durbin-Watson), encontrou-se uma correlação em torno de 0,10, indicando que há independência entre os resíduos ( $DW \approx 2,0$ ).

Não foram observados valores influentes, quando considerados os resultados da distância de Cook's (Tabela 4), levando em conta o critério que considera valores menores que 1.

**Tabela 4 – Observações influentes**

<b>Distância de Cook's</b>	
<b>Máximo</b>	0,000015
<b>Mínimo</b>	0,141149
<b>Média</b>	0,038356
<b>Mediana</b>	0,030850

Fonte: Elaborado pelos autores.

O último pressuposto a ser analisado é o de multicolinearidade. Para verificar o problema de multicolinearidade (variáveis independentes  $X_1, X_2, \dots, X_n$  possuem relações lineares) utilizou-se o fator de inflação da variância (*FIV* ou *VIF*). Como critério de seleção foram considerados valores de *VIF* menores que 4. Finalizando-se, não se observou problemas de multicolinearidade ( $VIF = 1,17$ ); assim identificou-se que os resíduos do modelo ajustado atendem a todos os pressupostos exigidos na literatura.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa levou em consideração várias questões referentes a aplicação de métodos estatísticos, como análise de correlação e regressão no setor de mineração e logística. A aplicação da análise de correlação e regressão no contexto abordado trouxe ganhos para o processo de tomada de decisão na gestão da manutenção, uma vez que os resultados apontam onde se pode concentrar a estratégia de manutenção.

A Confiabilidade é um método que se caracteriza pelas práticas mais adequadas no cenário operacional, conservando as funções existentes. Verificou-se que o processo de Manutenção Corretiva impacta diretamente na Confiabilidade do sistema. Esse tipo de manutenção é uma das mais dispendiosas para as organizações pois, geralmente, as atividades de manutenibilidade só ocorrem após a quebra, avaria ou falha dos equipamentos.

Pelas da equação de regressão ajustada pode-se examinar que, para o aumento de uma unidade de variação na Manutenção Corretiva, a Confiabilidade diminuiria 16,3708%, mantendo a Manutenção Preventiva constante, já e com o aumento de uma unidade de variação na Manutenção Preventiva, a Confiabilidade aumentaria 0,4440%, mantendo a Manutenção Corretiva constante. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que a Manutenção Preventiva exerce acompanhamento dos padrões, critérios e variáveis de desempenho de máquinas e equipamentos que busca definir o melhor momento da intervenção, maximizando o aproveitamento do ativo.

Futuras análises, utilizando métodos quantitativos para apoio de decisão, podem fornecer importantes subsídios para a tomada de decisão na gestão da manutenção. A partir desse estudo, várias abordagens futuras podem surgir, como: a aplicação da Análise de Correlação e Regressão em demais setores da indústria, possibilitando verificar a influência e a capacidade de diferentes variáveis explicarem o comportamento do sistema produtivo, assim como a implementação de outras técnicas que expliquem a relação entre as variáveis analisadas.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. S. **Manutenção Mecânica Industrial Princípios Técnicos e Operações**. São Paulo: Érica, 2015.
- BUSSAB, W. Q.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 5ª ed. Campinas: Saraiva, 2006.
- CHARNET, R. **Análises de modelos de regressão linear: com aplicações**; 2ª ed. Campinas: Unicamp, 2008.
- COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em Administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- DENCKER, A. F. M. **Métodos e técnicas de pesquisas em turismo**. 4ª ed. São Paulo: Futura, 2000.
- DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciência**. São Paulo: Cengage, 2006.
- DOANE, D. P.; SEWARD, L. E. **Estatística aplicada à administração e economia**. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- ERICSON, C. A. **Hazard analysis techniques for system safety**. Nova Jersey: Jhon Wiley & Sons, 2015.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2006.



GONZÁLEZ, J. T.; FERNÁNDEZ, A. H.; CAMARGO, C. de B. **Aspectos Fundamentais da Pesquisa Científica**. Asunción: Marben, 2014.

GUPTA, B. C.; GUTTMAN, I. **Estatística e probabilidade com aplicações para engenheiros e cientistas**. Rio de Janeiro, LTC, 2017.

HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M.; **Probabilidade e estatística na engenharia**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

IGNÁCIO, S. A. **Importância da estatística para o processo de conhecimento e tomada de decisão**. Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD, n. 118, p. 175-192, 2012.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

MOSLEMI, N *et al.* Mode-based reliability centered maintenance in transmission system. **International transactions on Electrical Energy Systems**, 27, n. 4, 2016. 1-12.

OLIVEIRA, S. L. **Tratado de metodologia científica**: projetos de pesquisa, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v.4, n. 02, p.1-16, 2008.

SOUSA, S. R. O *et al.* Gestão da produção com foco no controle dos custos industriais. In: OLIVEIRA, R. D.; CUTRIM, R. M.; RONCHI, C. C. (Org). Toledo: Vivens, 2016. **Gestão na Engenharia da Produção**: uma abordagem gerencial aos sistemas produtivos. Toledo: Vivens, 2016.

VALE INFORMAR. Vale S.A. **Vale Brasil**. 07 Dezembro 2016. Disponível em <<https://valeinformar.valeglobal.net/BR/MA/Paginas/Home-07-12-16.aspx?pdf=1#pdf-f3e43fe9-aa79-4041-9e6f-56179522f16f-card-920>>. Acesso em: 15 Janeiro 2018.

XENOS, H. G. **Gerenciamento a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: Falconi, v.2. 2014. 312 p. ISBN 978-85-98252-64-7.

**Como Referenciar este Artigo, conforme ABNT:**

SOUSA, S. R. O; ZANINI, R. R; MELCHIOR, C; OLIVEIRA, R. D. Análise de Correlação e Regressão como Ferramenta para Gestão da Manutenção: um Estudo Aplicado na Indústria de Mineração e Logística. **Rev. FSA**, Teresina, v.15, n.6, art. 8, p. 151-167, nov./dez. 2018.

Contribuição dos Autores	S. R. O. Sousa	R. R. Zanini	C. Melchior	R. D. Oliveira
1) concepção e planejamento.	X	X	X	X
2) análise e interpretação dos dados.	X	X	X	X
3) elaboração do rascunho ou na revisão crítica do conteúdo.	X	X	X	X
4) participação na aprovação da versão final do manuscrito.	X	X	X	X