



## **Mineração 4.0: otimização da manutenção preditiva através da análise de vibração**

## **Mining 4.0: optimization of predictive maintenance through vibration analysis**

## **Minería 4.0: optimización del mantenimiento predictivo a través del análisis de vibraciones**

DOI: 10.55905/revconv.17n.5-056

Originals received: 04/08/2024

Acceptance for publication: 04/26/2024

**Pablo de Carvalho Farias**

Pós-Graduado em Processos de Manutenção

Instituição: Centro Universitário União das Américas (UNIAMÉRICA)

Endereço: Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, Brasil

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

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-4616-2425>

### **RESUMO**

A indústria 4.0 tem revolucionado os processos de produção, nos mais variados setores da economia, a exemplo da indústria mineradora. Com a utilização de técnicas avançadas de monitoramento constante e coleta de dados, essas inovações tecnológicas desempenham papel fundamental na manutenção preditiva e prevenção de falhas catastróficas na mineração. A técnica de manutenção preditiva de análise de vibração permite a detecção precoce de falhas em equipamentos e intervenção corretiva imediata, evitando danos irreversíveis. A indústria 4.0 possibilita a instalação de sensores inteligentes nesses equipamentos, para a realização de uma análise espectral da frequência, como forma de evidenciar o problema potencial antes da falha. Ao ser evitada a parada não programada, aumenta-se a vida útil, confiabilidade e disponibilidade dos ativos, assim como evitam-se danos ambientais e perdas humanas. Com o objetivo de demonstrar a essencialidade da correta gestão de manutenção, será feita uma abordagem teórica abrangente dos principais tópicos e um breve estudo de um exemplo prático dos benefícios da análise vibratória em correias transportadoras no setor da mineração.

**Palavras-chave:** indústria 4.0, indústria mineradora, manutenção preditiva, análise de vibração.

### **ABSTRACT**

Industry 4.0 has revolutionized production processes in the most varied sectors of the economy, such as the mining industry. With the use of advanced techniques for constant monitoring and data collection, these technological innovations play a key role in predictive maintenance and prevention of catastrophic mining failures. The predictive maintenance technique of vibration analysis allows early detection of equipment failures and immediate corrective intervention, avoiding irreversible damage. Industry 4.0 makes it possible to install intelligent sensors in this equipment, to perform a spectral analysis of the frequency, to highlight the potential problem



before failure. By avoiding unscheduled downtime, the useful life, reliability, and availability of assets is increased, as well as environmental damage and human losses are avoided. To demonstrate the essentiality of correct maintenance management, a comprehensive theoretical approach to the main topics and a brief study of a practical example of the benefits of vibration analysis on conveyor belts in the mining sector will be made.

**Keywords:** industry 4.0, mining industry, predictive maintenance, vibration analysis.

## RESUMEN

La industria 4.0 ha revolucionado los procesos productivos en los más variados sectores de la economía, como la industria minera. Con el uso de técnicas avanzadas para el monitoreo constante y la recopilación de datos, estas innovaciones tecnológicas juegan un papel clave en el mantenimiento predictivo y la prevención de fallas mineras catastróficas. La técnica de mantenimiento predictivo de análisis de vibraciones permite la detección temprana de fallos en los equipos y la intervención correctiva inmediata, evitando daños irreversibles. La Industria 4.0 permite instalar sensores inteligentes en estos equipos, para realizar un análisis espectral de la frecuencia, como una forma de resaltar el problema potencial antes de fallar. Al evitar tiempos de inactividad no programados, se aumenta la vida útil, la fiabilidad y la disponibilidad de los activos, así como se evitan daños ambientales y pérdidas humanas. Con el fin de demostrar la esencialidad de una correcta gestión del mantenimiento, se realizará una aproximación teórica integral a los principales temas y un breve estudio de un ejemplo práctico de los beneficios del análisis de vibraciones en cintas transportadoras en el sector minero.

**Palabras clave:** industria 4.0, industria minera, mantenimiento predictivo, análisis de vibraciones.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria mineradora possui clara relevância na economia mundial, desempenhando papel fundamental na balança comercial brasileira, fornecendo recursos minerais para os mais diversos setores industriais. Tamanha competitividade resulta em uma grande pressão para o aumento da produtividade, redução dos custos, além da necessidade de observância das regulamentações aplicáveis ao setor, para garantir a segurança e a sustentabilidade.

Nesse ambiente de pressão por uma maior eficiência operacional e aumento de lucros, uma parada não programada pode ocasionar prejuízos significativos. A interrupção da produção gera perdas imediatas de receita e alto custo para reparação emergencial de danos nos equipamentos, assim como pode aumentar o risco de acidentes e danos ambientais, a depender da causa de falha do ativo.



A indústria 4.0 surge, então, como solução para aprimoramento dos processos industriais, atualização das formas de manutenção e garantia da competitividade, ao integrar tecnologias avançadas, como sensores inteligentes, inteligência artificial e *machine learning*.

O presente artigo visa demonstrar como a manutenção preditiva, com base especialmente na técnica de análise de vibração, possibilita detectar com antecedência possíveis problemas que os componentes de um equipamento podem apresentar. Tal fator é estratégico no setor da mineração, tendo em vista as condições extremas a que os ativos são submetidos.

Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente, selecionando-se artigos científicos e livros, considerando a relevância dos temas a serem aqui abordados. Após a coleta de dados, foram selecionadas as principais tendências e desafios sobre o tema, conforme será a seguir demonstrado.

Em um primeiro momento, será apresentado um breve resumo da evolução histórica das revoluções industriais, desde a produção manual até o surgimento da indústria 4.0. Em seguida, abordar-se-á a importância da indústria mineradora para a economia brasileira e como a indústria 4.0 contribui para o aumento da competitividade no setor.

A partir disso, o estudo passa a demonstrar a essencialidade da manutenção preditiva e da análise vibratória na detecção precoce de falhas e avarias em equipamentos utilizados na mineração, com o intuito de minimizar o período de inatividade dos equipamentos, aumentar sua vida útil e melhorar a segurança dos trabalhadores.

Como forma de evidenciar a importância do tema, será apresentado um exemplo prático de como o monitoramento de vibração, através de sensores inteligentes, pode evitar acidentes catastróficos em equipamentos de alta complexidade da indústria mineradora.

## 2 INDÚSTRIA 4.0

A indústria percorreu um longo caminho desde seu embrião até o surgimento da Indústria 4.0, passando por inúmeras inovações tecnológicas que revolucionaram a forma como bens e serviços são produzidos, bem como impactou significativamente a economia, a sociedade e o meio ambiente.



O presente trabalho não possui o objetivo de abordar detalhes da evolução história industrial, mas tão somente abordá-la em seus principais aspectos, com o intuito de permitir um melhor entendimento da Indústria 4.0 e sua relevância no setor da mineração.

A primeira Revolução Industrial teve seu início na Inglaterra, no final do século XVIII e início do século XIX, e marcou a transição da produção manual para a mecanizada, através da utilização do carvão como fonte de energia, introdução de máquinas a vapor e técnicas de produção em massa, como a linha de montagem. Tal fato permitiu o aumento da produção em menor tempo, trazendo maiores lucros e desenvolvimento da economia.

Na segunda Revolução Industrial, com o intuito de dar continuidade ao aumento da produção e dos lucros, ocorreu a descoberta da eletricidade, revolucionando as novas formas de energia, automação e processos industriais (final do século XIX e início do século XX). Em 1914, Henry Ford criou o Fordismo e o processo de semi-automatização, permitindo avanço considerável na indústria automobilística, com a introdução de linhas de montagem automatizadas (Sakurai; Zuchi, 2018).

Diante das grandes inovações tecnológicas, após o fim da Segunda Guerra Mundial, a terceira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Técnico-Científica-Informacional, caracterizou-se pelo desenvolvimento nos campos da informática, robótica e automação industrial, além da descoberta da energia nuclear.

Com isso, a produção flexível e personalizada, aos poucos, foi substituindo a produção em massa, aumentando a eficiência. Ademais, essa revolução digital passou a permitir o imediatismo da transmissão de informações pelo mundo, intensificando o processo de globalização.

Por sua vez, a quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, representa uma convergência entre mundo real e virtual. Segundo Silveira (2016), o termo indústria 4.0 apareceu pela primeira vez na Feira de Hannover, em 2011, através de um projeto do governo alemão para promoção da digitalização da indústria.

A indústria 4.0 integra sistemas ciberfísicos, computação em nuvem, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, *machine learning*, etc à produção industrial. Essa integração permite o desenvolvimento de fábricas inteligentes e autônomas, facilitando a previsão de possíveis falhas e agendamento de manutenções, o que aumenta a disponibilidade das máquinas e equipamentos, e reduz os prejuízos diante de uma possível falha evitável.

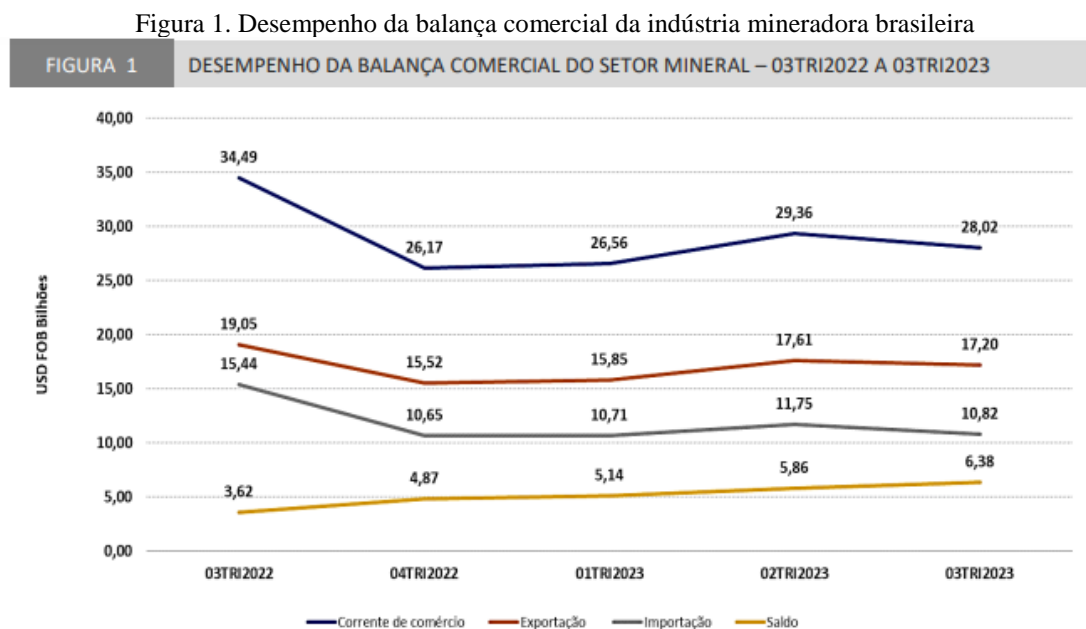


### 3 INDÚSTRIA MINERADORA

A indústria mineradora exerce papel fundamental na economia brasileira. O Brasil possui uma gama variada de recursos minerais, como cobre, minério de ferro, nióbio, entre outros, o que o coloca em posição de destaque no setor da mineração.

A exportação de minérios e minerais representa um ponto importante da balança comercial brasileira, contribuindo de forma significativa para o Produto Interno Bruto (PIB). Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), a indústria mineradora brasileira manteve-se estabilizada em 2023, representando R\$ 248,2 bilhões do PIB do país. Quanto ao comércio exterior, o minério de ferro alcançou o valor de 71% dos minérios exportados em 2023.

A Agência Nacional de Mineração (ANM), em seu Informe Mineral relativo ao terceiro trimestre de 2023, ressaltou a força da mineração na economia brasileira, apresentando dados que demonstram que a balança comercial do setor alcançou 23,6% do saldo superavitário da balança comercial brasileira, conforme pode ser visto abaixo (ANM, 2023, p.3):



Fonte: Comex Stat/SECEX/Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), 2023.  
Elaborado por COEMI/SRG/ANM

Por ser um dos principais setores da economia brasileira, a indústria mineradora tem também impulsionado o desenvolvimento tecnológico, de forma que empresas do setor realizam consideráveis investimentos em pesquisa, não só com o objetivo de melhorar a eficiência



operacional, como também minimizar os impactos ambientais e melhorar as condições de trabalho do setor.

Nesse ponto, é possível observar a importância da indústria 4.0 no desenvolvimento da mineração, ao permitir a automação dos processos desde a extração e transporte, até o beneficiamento e distribuição. Além do aumento da eficiência e redução de custos, tais inovações tecnológicas também colaboram para a melhoria da segurança e preservação do meio ambiente, com o uso sustentável dos recursos naturais, assim como com a realização das atividades do setor com prevenção de falhas catastróficas, que poderiam gerar perdas humanas e ambientais irreversíveis.

Com a Internet das Coisas (IoT) e utilização de sensores inteligentes, é possível conectar equipamentos e permitir uma visão global e em tempo real de todas as operações, para tomadas de decisão mais fundamentadas e planejadas. Ademais, esses sensores permitem ainda a coleta de dados necessários para o planejamento da manutenção, uma vez que a previsão de falhas é essencial ao agendamento de intervenções para evitar paralisações não planejadas.

Nessa toada, observa-se que a manutenção preditiva merece papel de destaque na indústria mineradora 4.0 pelos motivos abaixo destacados:

- a) ao identificar falhas, é possível planejar intervenções de manutenção antes da quebra de equipamentos, levando à redução de custos com reparos emergenciais;
- b) aumento da disponibilidade dos equipamentos, ao evitar paradas não programadas;
- c) ajuda a detectar precocemente a possibilidade de falha em equipamentos críticos, e, consequentemente, adotar as medidas corretivas necessárias, reduzindo o risco de acidentes no local de trabalho e aumentando a segurança dos trabalhadores;
- d) permite a análise de desempenho e realização de ajustes necessários ao aumento da eficiência operacional.

Posto isso, serão analisados os principais pontos da manutenção no setor da mineração, com ênfase na manutenção preditiva e uma de suas principais técnicas: análise de vibração.

#### **4 MANUTENÇÃO PREDITIVA**

A manutenção pode ser entendida como o conjunto de ações essenciais ao adequado e permanente funcionamento de ativos, através da preservação do estado de normalidade de



máquinas e equipamentos, para que sejam capazes de realizar a função para a qual foram criados. Isso é feito por meio do acompanhamento de possíveis defeitos e falhas, intervindo com a realização de reparos necessários, com o objetivo de manter o pleno funcionamento do ativo e aumentar a sua disponibilidade e confiabilidade.

A NBR 5462/1994 define esses dois termos fundamentais para o entendimento da manutenção:

2.2.5 Disponibilidade: Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

2.2.6 Confiabilidade: Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas, durante um dado intervalo de tempo (ABNT, 1994, p.2-3)

Diante do exposto, a manutenção, ao garantir o funcionamento adequado dos ativos, contribui para a disponibilidade operacional, redução de custos, competitividade no mercado, segurança do local de trabalho e diminuição dos impactos ambientais negativos.

Para a garantia da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, a manutenção pode ser classificada em três tipos principais, de acordo com a forma com que a intervenção é feita: manutenção corretiva (planejada e não planejada), manutenção preventiva e manutenção preditiva.

A manutenção corretiva destina-se à correção de falhas ou avarias quando estas já ocorreram, ou seja, representa uma reação a um equipamento que já se encontra em falha. Esse tipo de manutenção se subdivide em duas classes:

- a) manutenção corretiva não planejada: ocorre de forma imediata, sem que exista um planejamento prévio;
- b) manutenção corretiva planejada: após a identificação da falha, há a programação do reparo de acordo com a disponibilidade de recursos.

Por sua vez, a manutenção preventiva consiste na realização de tarefas periódicas e programadas, como lubrificação, limpeza, substituição de peças, para evitar a provável falha e garantir o funcionamento adequado do equipamento, ou seja, representa uma forma proativa de manutenção.

A manutenção preditiva parte de um conhecimento prévio de todos os componentes da máquina, através de um monitoramento contínuo, formando um banco de dados e análises da





condição de funcionamento. Com a realização de testes periódicos, é possível determinar o momento correto para reparos ou substituição de componentes, antes da ocorrência de uma parada não programada.

Ao conhecer as reais condições de um equipamento e a evolução de um possível defeito, permite-se determinar o maior tempo indicado para que se efetue a intervenção, garantindo o maior tempo de vida útil do ativo.

As inovações tecnológicas provenientes da Indústria 4.0 permitem avaliar as reais condições de uso dos equipamentos e máquinas. Tal fator é primordial na indústria mineradora, tendo em vista que paradas não programadas podem resultar em perdas significativas. Ademais, a ocorrência de uma falha crítica pode ocasionar danos irreversíveis ao meio ambiente e perdas humanas.

Os avanços da indústria 4.0 levam a uma maior eficiência e precisão da manutenção preditiva. Por meio do monitoramento contínuo, sensores são capazes de coletar dados em tempo real e transmiti-los para sistemas de gerenciamento. Nesses sistemas, ocorre a análise avançada de dados, permitindo a detecção de possíveis anomalias.

A detecção precoce resulta na intervenção antes da ocorrência de falhas e avarias, bem como contribui para diagnosticar a origem dos problemas dos equipamentos. Com isso, as grandes empresas conseguem efetuar um melhor planejamento das intervenções de manutenção e realizar as modificações necessárias para prolongar a vida útil dos ativos.

Os fatores supramencionados são cruciais na indústria mineradora, visto que os equipamentos operam em condições extremas. Dentre as inúmeras técnicas de manutenção preditiva no setor da mineração, a análise de vibração merece papel de destaque e será a seguir analisada em maiores detalhes.

#### 4.1 TÉCNICA DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

As máquinas industriais produzem vibrações em seu funcionamento, através de movimentos oscilatórios. A vibração pode ser conceituada como um movimento que se repete após determinado intervalo de tempo, a exemplo do balançar de um pêndulo (Rao, 2008).





Porém, quando a oscilação se apresenta fora dos níveis normais, pode indicar desgaste de algum dos componentes do equipamento ou problemas que levam à necessidade de intervenção de manutenção, como folgas mecânicas, desalinhamento de eixos, desbalanceamento etc.

A vibração mecânica excessiva, portanto, pode levar ao desgaste prematuro de componentes, reduzindo sua vida útil e gerando riscos à segurança dos trabalhadores. Por isso, o monitoramento das vibrações dos equipamentos é crucial para sua disponibilidade e confiabilidade, e, conseqüentemente, a manutenção da eficiência da produção e prevenção de acidentes no local de trabalho.

Assim, um sistema mecânico, ao ser submetido a uma força, oscilará diante de uma posição de equilíbrio, gerando a vibração mecânica. A vibração tem como principais características: frequência, amplitude e fase.

A frequência está ligada ao número de ciclos completos em uma unidade de tempo, chamada de hertz (Hz), que representa um ciclo por segundo. A amplitude representa o ponto máximo da oscilação do sistema, podendo ser medida em milímetros (mm) ou metros (m). Por sua vez, a fase consiste na posição vibratória em relação a um ponto de referência, sendo expressa em graus ou radianos.

A análise de vibração é uma técnica de manutenção preditiva muito utilizada na indústria mineradora, pois permite o monitoramento contínuo dos equipamentos e identificação de problemas antes da ocorrência de falhas possivelmente catastróficas.

Baseada no fato de que os problemas mecânicos em equipamentos industriais de alta complexidade produzem vibrações, essa técnica permite a instalação de sensores (acelerômetros) em pontos estratégicos do ativo. A energia mecânica produzida pela vibração é transformada em sinal elétrico, o qual é enviado para um dispositivo de coleta de dados.

Uma vez coletados pelo aparelho, os dados podem ser interpretados por especialistas, determinando a real condição de determinado componente da máquina e se há a necessidade de reparo. Além disso, o dispositivo, ao detectar vibrações anormais, pode gerar alertas automáticos para que seja feita a intervenção corretiva imediata.

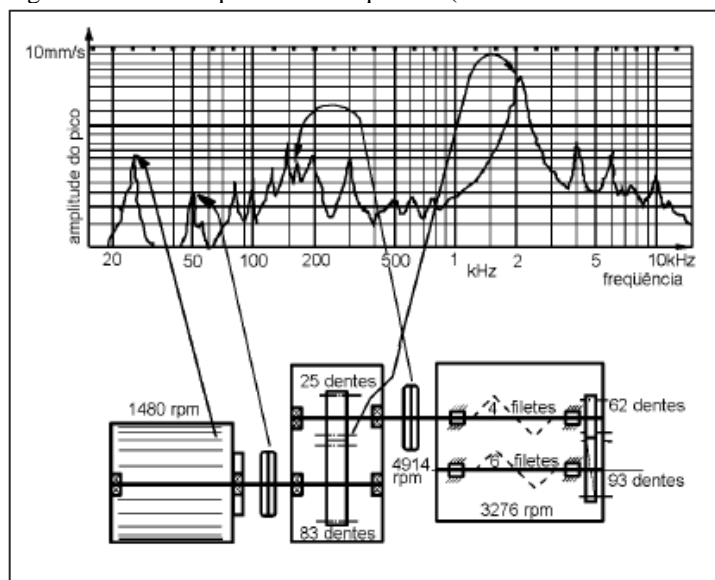
Os dados de vibração podem ser analisados no domínio do tempo e no domínio da frequência. No primeiro, identificam-se os padrões de vibração próprios de um problema específico no equipamento. No domínio da frequência, a análise é feita pela Transformada de Fourier, ao converter o domínio do tempo no domínio da frequência.



A Transformada de Fourier permite analisar sinais do domínio da frequência, para compreender seus componentes em um sinal, sendo uma de suas aplicabilidades a análise de vibração em indústrias, onde, através da identificação das frequências do sinal vibratório, é possível detectar precocemente os problemas dos equipamentos mecânicos.

O resultado da Transformada de Fourier demonstra a amplitude de diversos componentes de frequência constantes no sinal elétrico, permitindo a demonstração por meio de gráfico, onde o eixo horizontal traz a frequência e o eixo vertical, a amplitude, como pode ser visto abaixo:

Figura 2. Análise espectral da frequência (Transformada de Fourier)



Fonte: SENAI, 2008

Ao analisar o espectro da frequência, os picos demonstram problemas específicos de cada componente, ou seja, cada problema induz um padrão de vibração em frequências diferentes. Cada pico de frequência indica uma origem de problema diversa e, com isso, ao identificar o problema específico, a equipe de manutenção poderá atuar de forma proativa, de acordo com o planejamento correto, sem necessidade de paradas não programadas.

Para evidenciar a aplicabilidade do monitoramento das vibrações, no tópico a seguir, será apresentado um exemplo de como a análise espectral da frequência pode evitar acidentes de grande porte em correias transportadoras, no setor da mineração.



#### 4.2 EXEMPLO PRÁTICO COM CORREIAS TRANSPORTADORAS

Um dos principais equipamentos utilizados no setor da mineração se refere às correias transportadoras, responsável pela movimentação de materiais a granel (cascalho, areia, carvão, minério), ou seja, permite o transporte de grandes quantidades de material por longas distâncias, em substituição, por exemplo, do transporte rodoviário, garantindo a transposição do minério desde sua extração até a usina de beneficiamento de forma mais eficiente e segura.

Figura 3. Transporte de materiais em correia transportadora



Fonte: Apelmat, 2021

A NBR 6177 traz a seguinte definição para Transportador de Correia, abreviadamente, “TC” (*belt conveyor or BC*):

Arranjo de componentes mecânicos, elétricos e estruturas metálicas, consistindo em um dispositivo horizontal ou inclinado (ascendente ou descendente) ou em curvas (côncavas ou convexas) ou, ainda, uma combinação de quaisquer destes perfis, destinado à movimentação ou transporte de materiais a granel, através de uma correia contínua com movimento reversível ou não, que se desloca sobre os tambores, roletes e/ou mesas de deslizamento, segundo uma trajetória predeterminada pelas condições de projeto, possuindo partes ou regiões características de carregamento e descarga (ABNT, 1999, p.1)

Além de permitirem o transporte de grandes volumes de material, minimizam possíveis danos ao minério por disponibilizarem um transporte mais suave e seguro. Com o fluxo constante



e automatizado, aumenta-se a eficiência operacional. Outra vantagem em sua utilização é a redução do risco de acidentes e lesões diante da desnecessidade de movimentação manual pelos trabalhadores.

As correias transportadoras são formadas por inúmeros componentes, como tambores, roletes, correias, estrutura, acionamento etc, que, se não acompanhados continuamente, podem apresentar defeitos e risco à segurança da operação.

Diante dos inúmeros benefícios do uso de correias transportadoras na indústria da mineração, o bom funcionamento dos referidos componentes é essencial para garantia do alto desempenho operacional. A manutenção inadequada pode ocasionar a paralisação das atividades, ou até mesmo risco à integridade estrutural e à segurança dos trabalhadores, pela possibilidade de explosões e incêndios.

Como exemplo prático de prevenção de acidentes, seria possível a instalação de um sensor vibratório em um tambor de acionamento de uma correia transportadora, com o objetivo de coletar dados e detectar possíveis anomalias. Como visto anteriormente, a análise espectral da frequência permite identificar se há o aumento na amplitude da vibração, como forma de demonstrar um provável desalinhamento do tambor.

Identificado o pico, verifica-se que o desalinhamento está produzindo atrito excessivo e, conseqüentemente, o aumento de temperatura. O superaquecimento, em um ambiente de transporte de grandes quantidades de minério, poderia levar a incêndios e explosões.

O monitoramento da vibração ajuda, então, a corrigir o desalinhamento antes da ocorrência do acidente catastrófico, evitando a perda de materiais, interrupção não programada das operações, além de prevenir danos ambientais e perdas humanas.

Nesse exemplo, é possível observar como a manutenção preditiva e a análise de vibração são fatores essenciais em qualquer indústria, sobretudo no setor da mineração, em razão dos materiais transportados.

## 5 CONCLUSÃO

A implementação da indústria 4.0 representa uma grande revolução nos processos industriais, permitindo a automação de processos e integração de tecnologias inovadoras à



produção. Tal inovação alcança também as formas de realização da manutenção dos ativos, o que possui grande relevância na indústria da mineração.

A evolução das técnicas de manutenção preditiva, especialmente na análise de vibração, permite uma melhor gestão da programação de intervenções, reduzindo custos com paradas de emergência e aumentando a vida útil dos equipamentos.

Com base em todos os aspectos apresentados no presente trabalho, observa-se que a manutenção preditiva, sobretudo através da técnica de análise de vibração, aliada às inovações tecnológicas da indústria 4.0, o que permite o acoplamento de sensores inteligentes nos ativos utilizados na indústria mineradora, a exemplo das correias transportadoras, possibilita a detecção precoce de problemas potenciais antes da ocorrência de falhas, permitindo sua correção, mantendo a operação segura e eficiente, bem como garantindo a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, fatores esses essenciais à reputação de grandes empresas do setor da mineração.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Informe Mineral 3Tri2023**. Disponível em: [https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/informe-mineral/publicacoes-nacionais/informe\\_03tri2023.pdf](https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/informe-mineral/publicacoes-nacionais/informe_03tri2023.pdf). Acesso em: 05 mar. 2024

AMBROSIO, J. P. **Técnicas de inspeção em correias transportadoras por manutenção de integridade estrutural: o caso de uma indústria de mineração**. 2022. 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/4647>. Acesso em: 22 mar. 2024

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5462**: 1994 Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 6177**: Transportadores contínuos - transportadores de correia - terminologia. Rio de Janeiro, 1999

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DOS EMPREITEIROS E LOCADORES DE MÁQUINAS TERRAPLANAGEM, AR COMPRIMIDO, HIDRÁULICO E EQUIPAMENTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – Apemat. **Transporte de material sobre correias avança na mineração**. São Paulo, SP, 2021. Disponível em: <https://www.apemat.org.br/transporte-de-material-sobre-correias-avanca-na-mineracao/>. Acesso em: 25 mar. 2024

BRASIL. Estado-Maior da Armada. **EMA-420: Normas para Logística do Material**. Brasília, DF, 2002. rev. 2. mod. 1

DAMINELLI, P. B. **Fatores potencialmente causadores de acidentes do trabalho nas fases de montagem e manutenção em correias transportadoras**. Monografia apresentada ao Setor de Pós-graduação da Universidade do Extremo Sul Catarinense–UNESC, para obtenção do título de especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/2513>. Acesso em: 10 abr. 2024

DIAS, A. R. L. **Mineração 4.0: a evolução e os benefícios da indústria 4.0 no setor de mineração**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/21146>. Acesso em: 06 mar. 2024

ESPINDULA, L.G. **Manutenção preditiva e a indústria 4.0 um estudo de caso da implementação de um sistema de monitoramento on-line de ativos**. Trabalho de conclusão Curso (Graduação em Engenharia mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2021. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/18342>. Acesso em: 20 jan. 2024

FERREIRA, C. V. V. **Indústria 4.0: a transformação digital na cadeia produtiva da indústria mineradora**. 2020. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências





Econômicas) - Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/14328>. Acesso em: 06 mar. 2024

FILHO, G. B. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2020

GOMES, A.C.A. **Implementação da manutenção preditiva para detecção de falhas em sistemas mecânicos por meio de análise de vibração**. Trabalho de conclusão Curso (Graduação em Engenharia mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2022. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/20691>. Acesso em: 05 fev. 2024

GOMES, B. **Manutenção Preditiva – Análise de vibração e sua viabilidade de implantação**. 2019. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Anhanguera Educacional Participações, Matão, 2019. Disponível em: [https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/27994/1/BRUNO\\_EDUARDO\\_GOMES\\_ATIVIDADE3.pdf](https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/27994/1/BRUNO_EDUARDO_GOMES_ATIVIDADE3.pdf). Acesso em: 03 fev. 2024

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Em 2023, mineração repete faturamento do ano anterior e pretende ampliar investimentos até 2028**. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/em-2023-mineracao-repete-faturamento-do-ano-anterior-e-pretende-ampliar-investimentos-ate-2028/#:~:text=O%20faturamento%20da%20ind%C3%BAstria%20da,red%C3%A7%C3%A3o%20de%200%2C7%25>. Acesso em: 05 mar. 2024

NETO, E. D. C. **Os impactos da Indústria 4.0 na mineração**. 2019. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28296>. Acesso em: 02 mar. 2024

OLIVEIRA, R. T. **Automação em inspeções de correias transportadoras aplicadas à mineração**. 2019. 47 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/2493>. Acesso em: 20 mar. 2024

RAO, S. S. **Vibrações Mecânicas**. 4ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice-Hal, 2008

SAKURAI, R. *et al.* **As Revoluções Industriais até a indústria 4.0**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 480–491, 2018. DOI: 10.31510/inf.v15i2.386. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/386>. Acesso em: 20 abr. 2024

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI. CFP “Alvimar Carneiro de Rezende”. **Curso técnico mecânico – Manutenção Industrial**. Contagem: SENAI, MG, 2008 (Apostila para curso de treinamento e desenvolvimento)

SILVA, D. O. *et al.* (2023). **Manutenção preditiva – Análise de vibrações na Indústria 4.0**. REVISTA FOCO, 16(11), e3628. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n11-104>.





Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/3628>. Acesso em: 24 jan. 2024

SILVEIRA, C. B. **O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo**. Citisystems. 2016. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>. Acesso em: 14 dez. 2023

WELFFGRANSER, A. S. **Utilização da análise de vibração para predição de falhas em rolamentos autocompensadores e esferas**. 2023. Monografia (graduação) - Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, Coordenadoria de Curso Superior de Engenharia Mecânica, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2905>. Acesso em: 22 mar. 2024