



**INSTITUTO FEDERAL**  
Minas Gerais

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS – CAMPUS BETIM  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**MARCOS ANTÔNIO DAMACENA**

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A  
MANUTENÇÃO CORRETIVA E A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE  
UM COMPRESSOR ATLAS COPCO**

**Betim  
2023**

**MARCOS ANTONIO DAMACENA**

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A  
MANUTENÇÃO CORRETIVA E A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE  
UM COMPRESSOR ATLAS COPCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Betim como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Ronald Leite

Betim  
2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

D155e Damascena, Marcos Antonio

Estudo de caso: análise comparativa entre a manutenção corretiva e a manutenção preventiva de um compressor Atlas Copco / Marcos Antonio Damascena. – 2023

37 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Ronald Leite Barbosa.

1. Manutenção preventiva. 2. Manutenção corretiva. 3. Máquinas - Manutenção e reparos. 4. Compressores. I. Marcos Antonio Damascena. II. Título.

CDU: 658

MARCOS ANTONIO DAMACENA

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A MANUTENÇÃO  
CORRETIVA E A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE UM COMPRESSOR ATLAS  
COPCO**

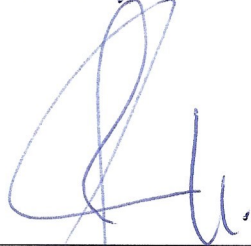
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia de  
Engenharia Mecânica do Instituto Federal  
de Minas Gerais Campus Betim como  
requisito parcial à obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Mecânica

Betim, 04 de Julho de 2023

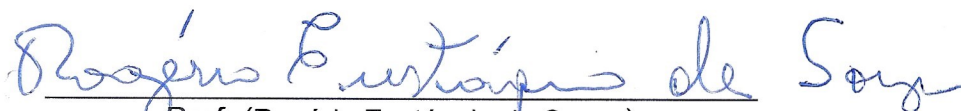
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. (Ronald Leite Barbosa)  
DAUTI – IFMG Campus Betim



Prof. (Flávio Magno de Carvalho Fonseca)  
Departamento – Universidade/Instituto do avaliador 1



Prof. (Rogério Eustáquio de Souza)  
Departamento – Universidade/Instituto do avaliador 1

## **TERMO DE RESPONSABILIDADE**

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “estudo de caso: Análise comparativa entre a manutenção corretiva e a manutenção preventiva de um compressor Atlas Copco” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

Betim,

Marcos Antônio Damacena

Dedico este trabalho à minha amada família que sempre esteve comigo em todas as minhas lutas e conquistas.

Não teria alcançado mais essa vitória se não fosse por eles!

## AGRADECIMENTOS

Hoje, ao concluir essa jornada tão desafiadora e gratificante do meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), gostaria de dedicar algumas palavras de profundo agradecimento a vocês, minha amada esposa Nayara e meu adorado filho João Lucas. Nayara, você tem sido minha fonte de inspiração e força ao longo de todo esse processo. Sua presença amorosa e apoio incondicional foram fundamentais para que eu pudesse me dedicar aos estudos e me aprofundar nessa pesquisa. Você sempre esteve ao meu lado, encorajando-me quando eu tinha dúvidas, motivando-me quando eu me sentia cansado e celebrando cada pequena conquista. Sua compreensão, paciência e carinho foram um suporte fundamental em todos os momentos. Agradeço por acreditar em mim e por ser a minha rocha, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Meu querido João Lucas, você trouxe ainda mais significado à minha vida e a esta jornada acadêmica. Ver o seu sorriso e receber seu abraço afetuoso sempre me deu uma motivação extra para avançar em meus estudos. Agradeço por ser uma fonte constante de alegria e inspiração, e por trazer equilíbrio e felicidade à nossa família.

Obrigado, mãe Erzina, Luciana e Eliana, por serem as melhores companhias, os melhores apoios e as melhores pessoas que poderia ter em minha vida. Sou profundamente grato por tudo que vocês representam para mim.

Professor Ronald, gostaria de expressar minha profunda gratidão e apreço pelo seu apoio e orientação durante toda a jornada do meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Desde o início, você esteve ao meu lado, guiando-me com sabedoria e paciência. Sua experiência, conhecimento e dedicação foram essenciais para o sucesso deste trabalho. Suas orientações foram sempre claras, precisas e valiosas, permitindo-me desenvolver um trabalho de qualidade e consistência.

"Um cientista descreve o que é. Um engenheiro cria o que nunca foi."

Theodore von Kármán

DAMACENA, Marcos Antônio. “Estudo de caso análise: comparativa entre a manutenção corretiva e a manutenção preventiva de um compressor Atlas Copco”. (Graduação em Engenharia Mecânica). Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Betim.

## **RESUMO**

O presente estudo apresentou um estudo de caso sobre os tipos de manutenção em compressores, com foco na análise da manutenção corretiva e da manutenção preventiva em compressores da marca Atlas Copco. Observou-se que a manutenção é fundamental para garantir a operação eficiente e segura de compressores, onde a escolha do tipo de manutenção mais adequado depende de diversos fatores, como o tipo de equipamento, a sua aplicação e as condições de operação. A manutenção corretiva é aquela realizada após a ocorrência de falhas ou defeitos no equipamento. Embora possa parecer uma solução rápida e econômica, essa modalidade de manutenção pode gerar prejuízos financeiros e operacionais em longo prazo, além de aumentar o risco de acidentes. Por outro lado, a manutenção preventiva é aquela realizada de forma programada e sistemática, visando a prevenção de falhas e a maximização da vida útil do equipamento. No caso específico dos compressores Atlas Copco, foi observado que a manutenção preventiva é a opção mais indicada, uma vez que esses equipamentos são projetados para operar em condições severas e críticas, e possuem sistemas integrados de monitoramento e diagnóstico de falhas. A manutenção preventiva envolve a inspeção periódica do equipamento, a troca de peças e componentes desgastados ou danificados, além da realização de testes de funcionamento e eficiência. A manutenção em compressores não deve ser vista como um gasto desnecessário, mas sim como um investimento necessário para garantir a operação segura e eficiente dos equipamentos, evitando prejuízos financeiros e operacionais decorrentes de falhas ou acidentes.

Palavras-chave: Manutenção; Manutenção Preventiva; Manutenção Corretiva; Compressores.

DAMACENA, Marcos Antônio. “Comparative analysis between corrective maintenance and preventive maintenance of an Atlas Copco compressor” (Graduação em Engenharia Mecânica). Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Betim.

### **ABSTRACT**

The present study presented a case study on the types of maintenance in compressors, focusing on the analysis of corrective maintenance and preventive maintenance in Atlas Copco compressors. It was observed that maintenance is fundamental to ensure the efficient and safe operation of compressors, and the choice of the most appropriate type of maintenance depends on several factors, such as the type of equipment, its application, and operating conditions. Corrective maintenance is performed after the occurrence of failures or defects in the equipment. Although it may seem like a quick and economical solution, this type of maintenance can generate financial and operational losses in the long term, as well as increase the risk of accidents. On the other hand, preventive maintenance is performed in a programmed and systematic manner, aiming at preventing failures and maximizing the equipment's service life. In the specific case of Atlas Copco compressors, it was observed that preventive maintenance is the most indicated option, since this equipment are designed to operate in severe and critical conditions and have integrated monitoring and fault diagnosis systems. Preventive maintenance involves periodic inspection of the equipment, replacement of worn or damaged parts and components, as well as performance and efficiency tests. Maintenance on compressors should not be an unnecessary expense but rather as a necessary investment to ensure the safe and efficient operation of the equipment, avoiding financial and operational losses resulting from failures or accidents.

Keywords: Maintenance; Preventive Maintenance; Corrective Maintenance; Compressors.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de manutenção.....	17
Figura 2 – Esquema de funcionamento do Compressor Atlas Copco GA 160.....	21
Figura 3 – Compressor Atlas Copco .....	24
Figura 4 – Programa de manutenção preventiva.....	25
Figura 5 – Registro diário do compressor .....	26
Figura 6 – Atividades de manutenção por hora trabalhada .....	28
Figura 7 – Orçamento de manutenção .....	29
Figura 8 – Anormalidades na unidade compressora Atlas Copco .....	31
Figura 9 – Orçamento de manutenção corretiva.....	33

## **ABREVIATURAS, SIGLAS E CONVENÇÕES**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CV	Válvula de retenção de ar
MPV	Válvula de pressão mínima
NBR	Norma Técnica Brasileira
OSV	Válvula de retenção de óleo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Justificativa</b> .....	12
<b>1.2 Colocação do problema</b> .....	13
<b>1.3 Objetivos</b> .....	14
1.3.1 Objetivo Geral .....	14
1.3.2 Objetivos Específicos .....	14
<b>1.4 Estrutura do trabalho</b> .....	14
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
<b>2.1 História da Manutenção</b> .....	15
<b>2.2 Tipos de Manutenção</b> .....	17
<b>2.3 Custos da manutenção</b> .....	20
<b>3.4 Manutenção de Compressores</b> .....	20
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	23
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	29
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35

## **1 INTRODUÇÃO**

As indústrias nos últimos anos estão investindo cada vez mais no setor de manutenção, para que todos os seus equipamentos e máquinas estejam funcionando corretamente e assim, não exerçam influência negativas nas atividades da linha de produção ou no setor em que estão atuando.

Todo equipamento precisa de manutenção regularmente, ou seja, constantemente ele precisa passar por um processo de avaliação para verificar como está o seu funcionamento para que uma parada não programada venha interromper a produção (PINTO; NASCIF, 2013).

Entre estes equipamentos, destaca-se o compressor pela sua grande utilidade e diversidade, que também necessita de manutenção periódica. O compressor é utilizado nas indústrias para diversos fins, como em limpezas de peças e dispositivos, para calibrar pneus, acionar máquinas e ferramentas, entre outras inúmeras funcionalidades.

Os compressores são equipamentos de múltiplas funções no setor industrial, mas que diante de alguma falha pode trazer sérias complicações ao processo produtivo, como por exemplo, pode causar acidentes colocando em risco a segurança do trabalhador, comprometer a integridade da máquina e parar a produção.

Existem estudos direcionados para a importância da manutenção nos compressores, que ressaltam a necessidade de se fazer avaliações periódicas sobre seu estado geral de funcionamento para prevenir possíveis falhas, a exemplo: Santos e Sellitto (2016) que abordam o uso de estratégias de manutenção para aumentar a disponibilidade dos compressores na indústria petrolífera; Freire (2015) que apresenta alguns tipos de compressores e descreve seu funcionamento; Nóbrega (2016), que descreve a manutenção de compressores alternativos; entre outros artigos.

### **1.1 Justificativa**

É preciso destacar que a literatura sobre este tema é um pouco escassa, o que fomenta a necessidade de realizar mais estudos sobre a manutenção de um equipamento tão importante para as indústrias. Desta forma, este estudo se justifica pela importância que a manutenção preventiva de compressores representa para a segurança do ambiente de trabalho, bem como para o desempenho da produtividade.

Assim sendo, o presente trabalho relata informações sobre os tipos de compressores mais utilizados na indústria, seu funcionamento e como a manutenção preventiva é aplicada. Este estudo pode ampliar o conhecimento sobre o assunto e abrir precedentes para incentivar mais pesquisas sobre esta temática.

Os compressores são equipamentos complexos e dinâmicos com diversas funcionalidades na indústria. Como todo equipamento, os compressores também estão sujeitos a falhas durante o seu funcionamento, por isso, precisam de cuidados para evitar uma parada repentina, o que pode comprometer a produção. Assim, esse estudo buscou analisar como as técnicas de manutenção preventivas podem ser utilizadas em compressores industriais, de forma que eles tenham maior disponibilidade de trabalho.

Nesse estudo sobre a aplicação de manutenção preventiva em compressores industriais, empregou-se uma abordagem teórica sobre as técnicas preventivas que podem ser utilizadas para verificar o padrão de funcionamento e assegurar que não ocorram eventuais falhas no processo produtivo, comparadas com a manutenção corretiva.

## **1.2 Colocação do problema**

A manutenção em compressores é uma atividade fundamental para diversas indústrias, principalmente para aquelas que precisam de ar comprimido em suas operações. A grande questão é que muitas empresas encontram desafios para manter seus compressores em boas condições de funcionamento, evitando problemas como vazamentos, falhas mecânicas e perda de eficiência que podem levar a interrupções na produção e como consequência, aumento dos custos operacionais. Diante disso, surge a seguinte questão: quais as principais causas de falhas em compressores e como a manutenção preventiva pode evitar esses problemas?

Para responder a essa questão, foi realizada uma análise das práticas de manutenção adotada por uma empresa em compressores ATLAS COPCO modelo GA 160 VSD. Esta análise pode contribuir para o aprimoramento das práticas de manutenção e para isso, é necessário desenvolver soluções mais eficazes que garantam a sua operacionalidade.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Avaliar as técnicas de manutenção corretiva e da manutenção preventiva em um compressor Atlas Copco modelo GA 160 VSD.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Abordar a história dos compressores e seu funcionamento básico;
- Destacar os principais compressores utilizados na indústria;
- Apontar quais as possíveis falhas que podem ser detectadas em compressores industriais;
- Classificar e conceituar as técnicas de manutenção;
- Compreender como as técnicas de manutenção preventiva podem ser aplicadas em compressores industriais.

## **1.4 Estrutura do trabalho**

O presente estudo está estruturalmente dividido em: introdução, com uma abordagem à contextualização, justificativa, problema de pesquisa e objetivos aplicados ao estudo. No referencial teórico abordou-se a história da manutenção, os diferentes tipos de manutenção existentes, os custos envolvidos na manutenção, a importância da manutenção em compressores.

Em relação à metodologia, especificou-se o tipo de estudo realizado, as bases de dados e métodos de pesquisa aplicados. Na seção de resultados e discussão, foram apresentados os resultados encontrados na pesquisa e a discussão em relação com os objetivos e problema apresentados na parte introdutória. Por fim, nas considerações finais, foi realizada uma síntese dos resultados encontrados, discutindo as implicações práticas e teóricas do trabalho, além de apresentar as possíveis direções para futuras pesquisas.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A Norma Regulamentadora NBR 5462 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994) define a manutenção como uma combinação de todas as ações administrativas, técnicas e de supervisão direcionadas para manter ou recolocar um item no estado em que possa desempenhar a função exigida.

Nóbrega (2016) salienta que para alcançar a qualidade da manutenção será necessário empregar recursos e técnicas adequadas, como também, mão de obra qualificada. Observa-se que a cada ano surgem novos equipamentos e máquinas, com isso as indústrias precisam acompanhar essa evolução e capacitar suas equipes de produção e de manutenção para atender esta nova demanda.

### **2.1 História da Manutenção**

Segundo Nancabú (2014), a conservação de instrumentos e ferramentas é uma técnica utilizada há muito tempo, desde os primórdios da civilização. Contudo, foi apenas no século XVI, depois da invenção das primeiras máquinas têxteis a vapor, quando se destacou a relevância da manutenção. Neste período, o responsável por projetar as máquinas também realizava os treinamentos para os funcionários operarem e consertarem as mesmas, intervindo apenas nos casos mais complicados. O próprio operador da máquina tinha a responsabilidade de realizar a manutenção, mas foi apenas no século passado que as máquinas passaram a ser movidas por motores elétricos e assim surgiu o eletricitista de manutenção.

Antes da primeira Revolução Industrial, ocorrida por volta do século XIX, devido a grande vida útil dos sistemas tecnológicos e a ausência do conceito de substituição, predominavam as técnicas de reparação de equipamentos. Reparação era mais fácil que substituição. No entanto, com o avanço dos processos produtivos durante a Revolução Industrial e o desenvolvimento do controle de qualidade e da automação, percebeu-se que certos componentes possuíam qualidade suficiente para serem trocados entre si. Isso deu origem ao conceito de peças substitutivas, o qual teve impacto no trabalho de manutenção (RAMOS, 2012).

A primeira geração da manutenção ocorreu por volta do século XX, com Taylor e Fayol e suas respectivas contribuições com os primeiros métodos de planejamento de serviços, mesmo que nesse período o foco tenha sido a produção e não a manutenção. As máquinas desse período tinham como características principais serem rudimentares e com proporções dimensionais

muito grandes. O perfil da manutenção era fundamentado nos modelos de manutenção corretiva, diferenciando-se do período anterior apenas pelas rotinas de limpeza e conservação da máquina, lubrificação periódica dos elementos de máquina (PINTO; NASCIF, 2013).

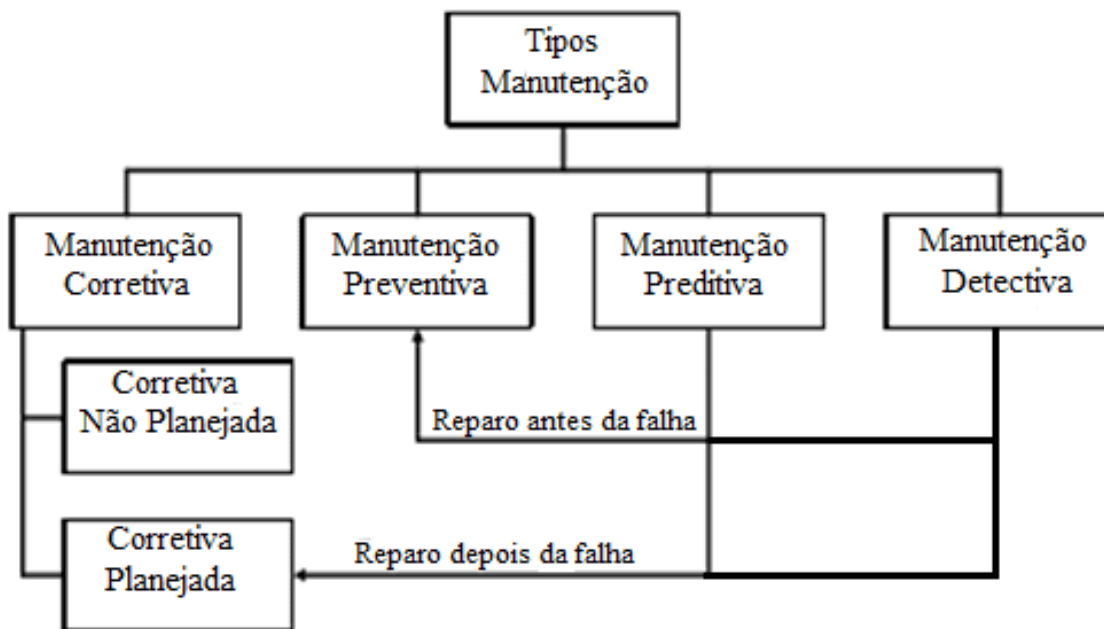
A segunda geração da manutenção ocorreu após o advento da Segunda Guerra Mundial, em 1939. Neste período, o mundo contemplou um desenvolvimento tecnológico avançado para a época, o que aumentou o nível de mecanização e complexidade das instalações e equipamentos. O interesse era garantir um bom desempenho dos equipamentos nos campos de batalha, e por isso era necessário que as máquinas operassem com eficiência e com menor número possível de falhas durante o processo operacional. Desta forma, as falhas deveriam ser evitadas e uma nova metodologia passou a vigorar, moldando a manutenção: as falhas poderiam e deveriam ser evitadas, surgindo assim, o conceito de manutenção preventiva (PINTO; NASCIF, 2013).

A terceira geração surgiu a partir da década de 1970, marcada pelo aumento significativo da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos; pela melhoria na relação custo/benefício da manutenção; processos interventivos nos equipamentos conforme análises situacionais e no risco da falha; melhor qualidade dos produtos; controle das situações de riscos para manter a segurança e saúde do trabalhador; preocupação com o meio ambiente; por computadores portáteis, rápidos e com softwares potentes para realizar intervenções mais dinâmicas e pela gestão da manutenção, além da criação de grupos de trabalhos multidisciplinares (NANCABÚ, 2014).

Durante muito tempo, o desenvolvimento do produto e a produção eram consideradas as prioridades no setor industrial, ficando a operação e a manutenção de equipamentos em segundo plano nas prioridades e estratégias das empresas. Depois de algum tempo, a operação e a manutenção passaram a ser consideradas funções mais importantes e receberam o destaque merecido. A manutenção tem um papel estratégico dentro das empresas, com a responsabilidade de garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações. Seu objetivo é ajudar o processo produtivo atribuindo confiabilidade e segurança a custos apropriados (OLIVEIRA, 2017).

## 2.2 Tipos de Manutenção

Figura 1 – Tipos de manutenção



Fonte: Manual de Instruções para Compressores Atlas Copco (2016).

Santos e Sellitto (2016), afirmam que a manutenção industrial tem por missão assegurar que os equipamentos e instalações estejam sempre disponíveis para atender às demandas e necessidades do processo produtivo. Para isso, deve contemplar valores como a preservação ambiental, a confiabilidade, a segurança e custos mais acessíveis. Portanto, o objetivo da manutenção é gerenciar o funcionamento das instalações físicas, para prevenir e corrigir falhas, além de contribuir para otimizar a produtividade. A manutenção pode ser classificada em: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva e manutenção detectiva.

Segundo a NBR 5462, a manutenção corretiva é um tipo de atividade de manutenção realizada para restaurar um equipamento, máquina ou sistema a um estado de funcionamento adequado após uma falha ou mau funcionamento. A principal finalidade da manutenção corretiva é corrigir a causa raiz da falha e restabelecer a funcionalidade normal do equipamento. Isso pode envolver reparos, substituição de componentes defeituosos, ajustes ou realinhamentos. O objetivo é eliminar a falha e garantir que o equipamento retorne à sua condição de operação esperada. A manutenção corretiva pode ser classificada em dois tipos principais: manutenção corretiva não planejada e manutenção corretiva planejada

A manutenção corretiva não planejada é definida como a manutenção realizada apenas depois que ocorre uma pane, quando se realiza uma intervenção para recolocar o equipamento em condições de executar novamente a função exigida. A manutenção corretiva planejada ocorre para corrigir o desempenho menor do que o esperado ou da falha, exigida por meio de decisão gerencial em função do acompanhamento da condição ou pela decisão de continuar operando até a quebra (BROWM; DINIZ, 2017).

De acordo com Viana (2014), classifica-se como manutenção preventiva todo serviço de manutenção executado em máquinas e equipamentos que não estejam apresentando falhas, ou seja, que estão operando ou em condição de zero defeito. De acordo com NBR 5462, a manutenção preventiva é aquela realizada em períodos preestabelecidos ou em conformidade com critérios prescritos, com o objetivo de diminuir a possibilidade do surgimento de falhas de funcionamento de um dispositivo. Esse tipo de manutenção, comparada ao tipo corretivo possui uma grande vantagem: a previsibilidade.

Teles (2019) define quatro gatilhos para a manutenção preventiva e todos eles possuem alguma unidade que pode ser prevista, podendo assim ser efetuada em momento oportuno para não afetar demasiadamente a produção. Os gatilhos são: tempo, horas de funcionamento, produtividade e o misto. O gatilho de tempo é aquele cuja manutenção acontece com uma quantidade de tempo predeterminada e nenhum outro fator. Por exemplo, trocar uma escova de dentes uma vez por mês seria uma manutenção preventiva para manter a qualidade da escovação. O segundo gatilho - horas de produção - é aquele em que o mais importante não é o tempo decorrido entre a última manutenção e a próxima, mas o tempo em que o ativo esteve em funcionamento. Normalmente, a medição desse gatilho é auxiliada por um horímetro, instrumento que efetua a medição de tempo em funcionamento do equipamento. Um exemplo de tal gatilho seria a troca de uma ferramenta de corte para usinagem cujo desgaste se dá de acordo com seu tempo de funcionamento. O gatilho de produtividade é aquele que não é baseado em nenhuma medida de tempo, mas sim em medida de produção. Por exemplo, uma máquina que precisa ser lubrificada a cada mil peças produzidas para garantir a segurança e qualidade de sua operação.

O último gatilho é o misto, que ocorre quando há necessidade de utilizar mais de um dos gatilhos citados anteriormente de forma conjunta. Por exemplo, as concessionárias de carros se utilizam do gatilho misto nos planos de manutenção preventiva que fornecem aos seus clientes, pois afirmam que ela deve ser realizada com uma quantidade predeterminada de meses ou de quilômetro percorridos, isso seria a utilização dos gatilhos de tempo e de horas de produção concomitantemente, já que os meses decorridos são referentes ao gatilho de tempo e

os quilômetros rodados às horas em funcionamento. Todavia, a manutenção preventiva não é a que possui os menores custos, devido a dois fatores: os lucros cessantes planejados e a troca de peças que ainda possuíam tempo de bom funcionamento. O primeiro desses fatores é algo que se torna inevitável pela própria natureza da manutenção, pois para poder realizá-la, na maioria dos casos, é necessário que a máquina esteja parada. Entretanto, comparado aos lucros cessantes (TELES, 2019).

Entende-se como manutenção preditiva, a ação de predizer ou prever as falhas durante o acompanhamento das condições de operação das máquinas. A manutenção preditiva também pode realizar a manutenção proativa, ou seja, agir na máquina ou equipamento enquanto ela ainda está operando, de forma que seja evitada o início da falha (NÓBREGA, 2016).

A manutenção preditiva é a ação de inspecionar e aferir os parâmetros de funcionamento das máquinas e equipamentos utilizando aparelhos específicos, desenvolvidos apenas para este fim. É compreensível que todos os equipamentos deterioram com o tempo de uso, portanto, utilizar aparelhos e dispositivos com capacidade para acompanhar um defeito de funcionamento, avaliar sua possibilidade de aumentar e poder escolher o melhor período para a aplicar a correção antes que ocorra a falha é de grande valia para o melhor desempenho da produtividade e para a vida útil do equipamento (MARAN, 2011).

As técnicas preditivas podem ser aplicadas para a troca de componentes, predizendo a ocorrência de falha ou pane por meio de monitoramento, medições e dados estatísticos. Entre as técnicas de inspeção mais utilizadas na manutenção preditiva, estão: ultrassom – aplicada para identificar anomalias em materiais ferrosos e não ferrosos, como bolhas de gás em fundidos, dupla laminação, entre outros; análise de vibração mecânica – empregada para verificar vibrações provocadas pelo desgaste de componentes devido à oscilação repetitiva; termografia – técnica aplicada através de radiação infravermelha para medir a temperatura; análise de óleo lubrificante – serve para avaliar o óleo usado em uma máquina para descobrir o período certo de efetuar a troca, também é utilizada para identificar a condição de desgastes provocados pelo uso. Pode ser avaliada ainda a presença de partículas contaminantes (VIANA, 2014).

Segundo Rodrigues et al. (2017), a manutenção detectiva, inicialmente, foi mencionada na literatura, por volta da década de 90. Este tipo de manutenção é definido pelo uso de sistemas de proteção empregados para a detecção de falhas ocultas ou não perceptíveis à equipe de manutenção. A finalidade desta técnica é aumentar a confiabilidade dos equipamentos e máquinas através da intervenção de sistemas de proteção para detectar falhas de forma proativa.

### **2.3 Custos da manutenção**

As atividades desenvolvidas pela manutenção também estão direcionadas para garantir o menor custo possível e a maior disponibilidade do equipamento para a produção, alcançando sua máxima capacidade e prevenindo a ocorrência de falhas, através da identificação e resolução de causas que provocam um desempenho deficiente dos equipamentos (LEMOS; ALBERNAZ; CARVALHO, 2011).

Caso o cliente receba um produto com defeito, automaticamente, o custo é elevado. Os custos administrativos, de garantia e de pós-venda podem ser mensurados, mas os custos provenientes de perda de mercado e insatisfação do cliente são maiores e dificilmente calculados. Estes custos são devido à má qualidade e por isso provocam problemas com a insatisfação do cliente (MENEZES, 2013).

### **2.4 Manutenção de Compressores**

Segundo Olinda (2018), as atividades industriais têm vários segmentos e muitos utilizam máquinas rotativas na execução das atividades no processo de produção. Portanto, a manutenção periódica faz parte do cotidiano industrial para garantir o funcionamento correto dos equipamentos, pois quando esta não é realizada de forma efetiva, pode acelerar ainda mais o desgaste de seus componentes, gerar falhas prematuras e conseqüentemente, muitos prejuízos para as empresas. É importante que as empresas estejam atentas ao funcionamento adequado de seus maquinários e equipamentos, pois a competitividade no mercado é acirrada e a manutenção bem realizada irá fortalecer seu desempenho produtivo e qualitativo.

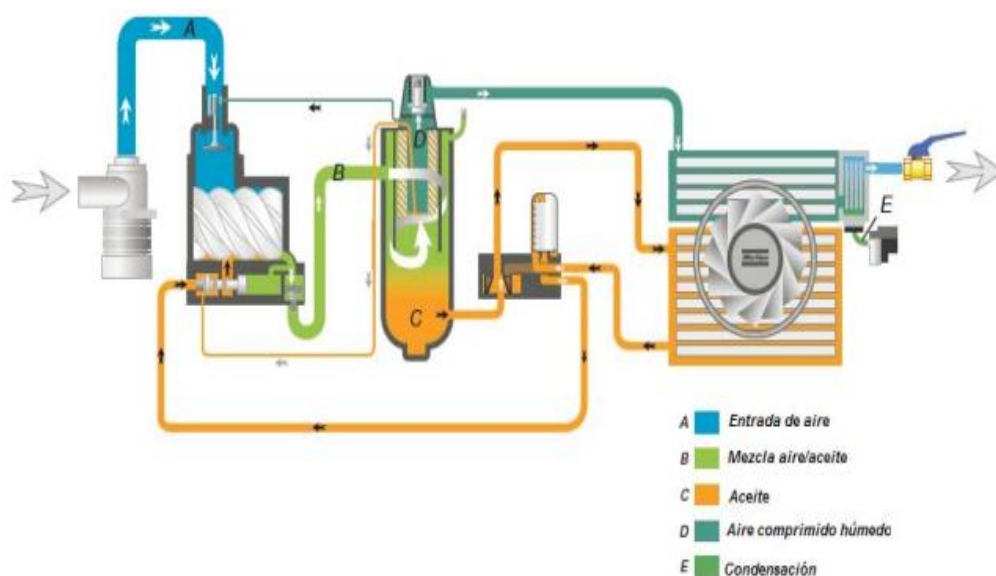
O compressor é um equipamento que foi projetado para fazer a compressão de algum fluido em estado gasoso, utilizando para isso o aumento da pressão no interior do aparelho. Nesse sentido, é possível fazer a liberação do fluido com uma força extremamente grande, decorrente desta pressão. Este aumento da pressão pode chegar desde 1 atm até milhares de atmosferas (FREIRE, 2015).

Os compressores podem ser classificados quanto ao seu funcionamento: volumétricos (alternativos: simples efeito, duplo efeito, simples estágio e duplo estágio; rotativo: palhetas, parafusos e lóbulos); dinâmicos (centrífugos, diagonais mistos, axiais e efetores). Quanto à sua aplicação, os compressores podem ser classificados em: industriais, ordinários, de processo, de refrigeração e de vácuo.

O compressor analisado foi um compressor de parafuso. Este tipo de compressor funciona através de um conjunto de dois rotores helicoidais, também conhecidos como parafusos, que se encaixam perfeitamente um no outro, assim, o ar ambiente é admitido para dentro da câmara de compressão do compressor de parafusos. Isso ocorre através da abertura da válvula de admissão, permitindo que o ar entre na câmara, os rotores, em formato helicoidal, giram em direções opostas dentro da câmara de compressão. À medida que os rotores giram, o espaço entre eles diminui, comprimindo o ar que está sendo admitido (ATLAS COPCO, 2016).

Observa-se que conforme o ar é comprimido, sua pressão e temperatura aumentam, para garantir a lubrificação e vedação adequadas dos rotores, é utilizado um óleo lubrificante no interior do compressor de parafusos. Durante o processo de compressão, ocorre uma mistura de óleo com o ar comprimido. Para separar o óleo do ar, o compressor é equipado com um separador de óleo, que retém o óleo e permite que o ar comprimido passe adiante. Após a compressão e a separação do óleo, o ar comprimido é direcionado para o sistema de descarga. O ar comprimido de alta pressão é conduzido para um reservatório ou para o sistema onde será utilizado. O compressor de parafusos é equipado com dispositivos de controle e monitoramento, como válvulas de alívio de pressão, medidores de pressão e temperatura, e sistemas de controle eletrônico. Esses componentes garantem o funcionamento seguro e eficiente do compressor, controlando a pressão, a temperatura e outros parâmetros importantes (ATLAS COPCO, 2016).

Figura 2 – Esquema de funcionamento do Compressor Atlas Copco GA 160



Fonte: Manual de Instruções para Compressores Atlas Copco (2016).

De acordo com Santos e Sellitto (2016), os compressores podem ser utilizados em vários processos na indústria, como por exemplo, na produção de refino de petróleo, se utiliza o compressor alternativo condicionado a equipamentos e máquinas.

A manutenção em um compressor de parafuso, assim como em qualquer equipamento, envolve uma série de atividades preventivas e corretivas para garantir seu bom funcionamento e prolongar sua vida útil. Etapas comuns para a manutenção de um compressor de parafuso: inspeção visual, verificação dos filtros de ar, verificação dos filtros de óleo, troca de óleo, verificação da pressão de operação, verificação dos sistemas de refrigeração, verificação dos componentes elétricos, lubrificação e monitoramento e registro de dados.

Em relação à inspeção visual em um compressor é necessário verificar visualmente o equipamento para identificar vazamentos, danos físicos, acumulação de sujeira ou qualquer outra anormalidade aparente. Quanto aos filtros de ar, estes devem ser verificados e limpos ou substituídos quando necessário. A análise deve garantir que os filtros estejam limpos e desobstruídos. Isso evita a entrada de partículas indesejadas no sistema e ajuda a manter a eficiência do compressor. Já em relação aos filtros de óleo, estes devem ser periodicamente verificados e limpos ou substituídos quando houver necessidade. A manutenção deve sempre garantir que os filtros estejam limpos e em bom estado. Isso é importante para manter a qualidade do óleo lubrificante e evitar a contaminação do sistema (ATLAS COPCO, 2016).

Quanto à troca de óleo lubrificante do compressor, é necessário realizar a sua troca regular, seguindo as recomendações do fabricante. Isso garante a lubrificação adequada dos componentes e ajuda a prevenir danos e desgastes prematuros. Já na etapa de verificação da pressão, é uma etapa importante que deve passar pelo monitoramento e verificação para garantir que o compressor esteja dentro dos parâmetros adequados. A pressão excessiva ou insuficiente pode indicar problemas no sistema. Em relação ao sistema de refrigeração do compressor, é necessário verificá-lo, incluindo radiadores ou trocadores de calor, para garantir que estejam limpos e em boas condições de funcionamento. A limpeza regular ajuda a evitar o superaquecimento do compressor (ATLAS COPCO, 2016).

Os componentes elétricos do compressor também devem ser verificados e incluem os cabos, conexões, controles e painéis de comando, para garantir que estejam em boas condições e com conexões adequadas. Verificar também o funcionamento dos dispositivos de segurança. A lubrificação do compressor também é fundamental para manter um bom funcionamento, por isso, deve-se lubrificar os pontos indicados de acordo com as especificações do fabricante. Isso garante um funcionamento suave e reduz o desgaste dos componentes. Em relação ao monitoramento e registro dos dados, todas as observações realizadas durante a operação devem

ser registradas como pressões, temperaturas e consumo de energia, para monitorar o desempenho do compressor ao longo do tempo e identificar possíveis problemas ou tendências (ATLAS COPCO, 2016).

Os sistemas mecânicos possuem componentes chamados de componentes de máquina, como, por exemplo, rolamentos, engrenagens, correias, eixos, acoplamentos, correntes, entre outros. Nas máquinas rotativas, os acoplamentos possuem grande relevância, pois são utilizados para unir eixos e transmitir rotação, torque e potência. Sua estrutura e funcionamento podem ser prejudicados quando ocorrem situações de desalinhamento de eixos e elevação de cargas vibratórias e de grande impacto, gerando o desgaste prematuro do equipamento. As indústrias utilizam algumas técnicas para avaliar, reconhecer e corrigir estes problemas, como, por exemplo, a análise de vibração e o uso de processos de realinhamento, visando à promoção de condições apropriadas de funcionamento (OLINDA, 2018).

Para a manutenção de compressores industriais, por exemplo, a manutenção preditiva utiliza a coleta de informações, como: vibração, temperatura e análise de contaminação do óleo lubrificante. A partir do momento que o compressor começa a funcionar, fazer o seu monitoramento auxilia a prever o momento em que ele aumenta a possibilidade de ocorrer uma falha. A finalidade desta monitoração é fazer o acompanhamento de falhas que podem estar em progresso para evitar quebras (SANTOS; SELLITTO, 2016).

### **3 METODOLOGIA**

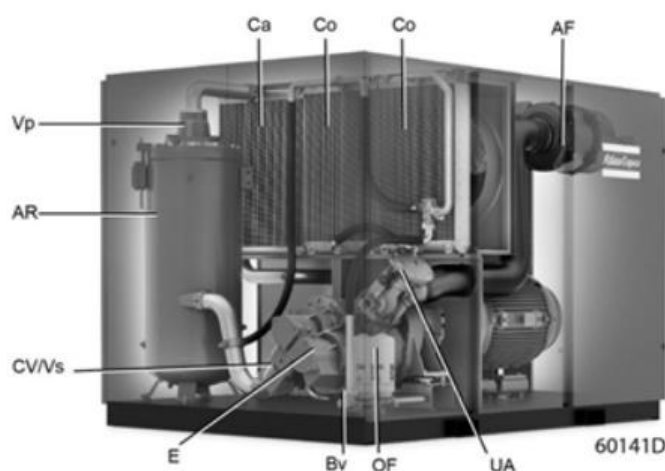
A metodologia utilizada para a elaboração deste estudo foi a revisão bibliográfica do tipo qualitativa e descritiva onde foram utilizadas informações selecionadas em livros, teses, dissertações e artigos científicos encontrados em bases de dados acadêmicas e científicas como o Scielo, Google Acadêmico, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), além de normas regulamentadoras.

Como critério de inclusão optou-se pelo uso de obras publicadas entre os anos de 2009 a 2022 escritas em português e cujo objetivo estivesse relacionado à manutenção. Como critério de exclusão, foram dispensadas as obras escritas em idioma estrangeiro. As palavras-chave utilizadas foram: engenharia mecânica; manutenção; compressores.

Este trabalho também apresentou um estudo comparativo entre a aplicação da manutenção corretiva e manutenção preventiva em compressores Atlas Copco destacando os

principais pontos negativos e positivos entre esses dois tipos de manutenção, de forma a apontar qual método pode oferecer maiores benefícios para a operacionalidade do equipamento. A análise comparativa foi realizada em equipamentos de uma empresa do setor automotivo, denominada aqui por Empresa X, localizada no município de Juatuba, em Minas Gerais, a figura 3 mostra compressor Atlas Copco GA 160 VSD

Figura 3 – Compressor Atlas Copco



**Fonte:** Manual de Instruções para Compressores Atlas Copco (2016).

Segundo a figura 3, observa que o ar é admitido pelo filtro de ar (AF), o fluxo é controlado pela válvula de admissão (UA) é comprimido no elemento compressor (E) a mistura Ar/ óleo é descarregada através da válvula de retenção de ar e óleo integradas (CV/Vs) para o reservatório ar/óleo (AR) onde o óleo é separado do ar. O ar passa pela válvula de pressão mínima (Vp) e vai para o resfriador posterior (Ca) saindo do resfriador passa pelo separador de condensados onde é eliminado o condensado através do ERD e segue para a rede de ar comprimido. A válvula de retenção de ar (CV) previne o retorno de ar comprimido para o elemento compressor quando a máquina é desligada. A válvula de pressão mínima (Vp) além de garantir a mínima pressão de trabalho com a finalidade de manter o volume de fluxo adequado também impede que o reservatório seja pressurizado pela pressão da rede de ar quando a máquina é desligada (ATLAS COPCO, 2016).

Segundo o manual do fabricante, recomenda-se manutenções preventivas no compressor, conforme o programa de manutenção preventiva mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Programa de manutenção preventiva

Programa de manutenção preventiva		
Período	Horas de Funcionamento	funcionamento
Diariamente	8	Verificar as leituras no visor.
Diariamente	8	Verificar se os condensados são descarregados durante o funcionamento em carga.
Diariamente	8	Verificar o nível de óleo. Antes do partida, o nível deve estar na metade do visor. Em funcionamento deve estar na metade do visor.
Semanalmente	--	Verificar a limpeza dos filtros do compartimento. Se estiverem empoeirados, substituí-los ou limpá-los.
Trimestralmente	--	Limpar o compressor.
Trimestralmente	--	Verificar possíveis fugas.
Trimestralmente	500	Verificar os resfriadores; limpá-los, se necessário. Ver a seção Resfriadores.
Trimestralmente	--	Retirar os elementos do filtro de ar e inspecionar.
Anualmente	--	Aferir a válvula de segurança (NR13).
Anualmente	--	Inspecionar todas as mangueiras.
Anualmente	2000	Substituir o óleo se for usado óleo Roto Food Grade Fluid.
Anualmente	4000	Lubrificar o motor; para saber o intervalo e a quantidade, ver seção Motores e ou placa de dados no próprio motor.
Anualmente	8000	Substituir o óleo.
Anualmente	8000	Substituir o elemento do filtro de ar.
Anualmente	8000	Substituir os filtros de óleo.
Anualmente	8000	Substituir o kit de reparo das válvulas de retenção de ar/óleo.
De 2 em 2 anos	8000	Substituir o elemento do separador de óleo.
Quando mostrado no visor	--	Realizar as ações de assistência de acordo com os planos de assistência indicados.
	24.000	Substituir os rolamentos dos motores dos ventiladores
	40.000	Revisar o elemento compressor, caixa de engrenagens e motor elétrico principal.

**Fonte:** Manual de Instruções para Compressores Atlas Copco (2016).

As leituras realizadas diariamente no painel elétrico do compressor, conforme recomendado no programa de manutenção preventiva, devem ser anotadas na folha de registro diário do compressor, conforme pode ser verificado na Figura 5.



entre outros. O horímetro pode ser utilizado para servir como base para a manutenção preventiva, pois muitos fabricantes recomendam a troca de componentes após um certo período de horas trabalhadas.

Em geral, a manutenção preventiva nas unidades compressoras da Empresa X realiza ações como trocas de filtros de ar, filtro de óleo, troca de óleo e filtro separador de condensado; substituição do kit reparo da válvula de pressão mínima; substituição da válvula transiente; troca do kit separador de condensado WSD; troca dos kits das válvulas termostática, de admissão, de retenção de ar/óleo, de desvio de óleo; troca do kit de dreno eletrônico EWD; troca de óleo e outros (ATLAS COPCO, 2016)

Durante a manutenção preventiva também são realizadas verificações de leituras através do visor no painel elétrico do compressor, possíveis vazamentos de óleo, condição da câmara de entrada de ar; análise e limpeza externa dos resfriadores de óleo; avaliação e limpeza dos ventiladores; limpeza das partes externas do motor elétrico; avaliação das conexões e parafusos soltos; lubrificação dos rolamentos do motor; revisão dos motores e ventiladores (ATLAS COPCO, 2016).

A Figura 6 apresenta os intervalos de serviço por hora trabalhada do compressor para criar um plano de atividades de manutenção.

Figura 6 – Atividades de manutenção por hora trabalhada



Intervalos de serviço por horas trabalhadas		2000	4000	8000	16000	24000	40000
Atividades	Inspeção	Visita A	Visita B	Visita C	Visita D	Visita F	
1	Verificar as leituras no visor.	x	x	x	x	x	x
2	Verificar possíveis vazamentos	x	x	x	x	x	x
3	Substituir o elemento do filtro de ar			x	x	x	x
4	Verificar a condição de câmara de entrada de ar	x	x	x	x	x	x
5	Verifique /limpe o(s) dreno(s) de condensado(s)		x				
6	Verifique /limpe externamente os resfriadores de óleo e pós resfriador	x	x	x	x	x	x
7	Verifique os ventiladores. Limpe se necessário	x	x	x	x	x	x
8	Substitua o óleo do compressor	x **		x	x	x	x
9	Verifique os filtros do painel elétrico, limpe se necessário.	x					
10	Substitua os filtros do painel elétrico		x	x	x	x	x
11	Limpe todas as partes externas do motor elétrico		x	x	x	x	x
12	Verifique conexões/ parafusos soltos. Reaperte se necessário		x	x	x	x	x
13	Lubrifique os rolamentos do motor		x	x	x	x	x
14	Substitua os filtros de óleo		x **	x	x	x	x
15	Revise a válvula de admissão			x	x	x	x
16	Substitua o elemento separador de óleo			x	x	x	x
17	Revisar o(s) dreno(s) de condensados			x	x	x	x
18	Substituir a válvula termostática			(x)	(x)	(x)	(x)
19	Substituir a válvula Blow Off			x	x	x	x
20	Revisar a válvula de pressão mínima (MPV)				x		x
21	Revisar a válvula de retenção de óleo (OSV)				x		x
22	Revisar a válvula de retenção de ar (CV)				x		x
23	Revisar/ substituir o elemento compressor						x
24	Revisar a caixa de engrenagens/ eixo de acionamento						x
25	Substituir o elemento de acoplamento ***						x ***
26	Revisar o motor principal						x
27	Limpar os resfriadores interna e externamente						x
28	Revisar motores dos ventiladores					x	

Fonte: Manual de Instruções para Compressores Atlas Copco (2016).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Constatou-se que a empresa em questão não realizava o programa de manutenção preventiva, o controle diário e a manutenção por período de acordo com o manual do compressor. A manutenção preventiva deve ser realizada em conformidade com as orientações recomendadas pelo fabricante do equipamento. Diante da condição do compressor e a necessidade de reparos, foi orçada a manutenção preventiva de 8 mil horas de funcionamento do equipamento conforme a Figura 7.

Figura 7 – Orçamento de manutenção preventiva

ORÇAMENTO					DATA 14/09/2020	
EQUIPAMENTO: COMPRESSOR						
MODELO: GA 160 AP 308V						
SERIE: BQD120979						
PEÇAS PARA PREVENTIVA DE 8000 HORAS						
DESCRIÇÃO	UNID.	QTD	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL	VALOR COM DESCONTO	
FILTRO DE AR	PÇ	1	R\$ 396,00	R\$ 396,00	R\$ 368,28	
FILTRO DE ÓLEO	PÇ	2	R\$ 920,00	R\$ 1.840,00	R\$ 1.711,20	
FILTRO SEPARADOR	PÇ	1	R\$ 4.074,00	R\$ 4.074,00	R\$ 3.788,82	
KIT REPARO VALVULA DE PRESSÃO MINIMA	PÇ	1	R\$ 1.005,00	R\$ 1.005,00	R\$ 934,65	
KIT SEPARADOR DE CONDENSADO WSD	PÇ	1	R\$ 1.214,00	R\$ 1.214,00	R\$ 1.129,02	
KIT VALVULA TRANSIENTE	PÇ	1	R\$ 2.680,00	R\$ 2.680,00	R\$ 2.492,40	
KIT VALVULA TERMOSTATICA	PÇ	1	R\$ 892,00	R\$ 892,00	R\$ 829,56	
OLEO ROTOR LUB SCRENW SITETICO 8000 BALDE 20 LITOS	BD	4	R\$ 2.395,00	R\$ 9.580,00	R\$ 8.909,40	
MÃO DE OBRA DE 9 HORAS TÉCNICAS	SVS	9	R\$ 130,00	R\$ 1.170,00	R\$ 1.088,10	
MÃO DE OBRA DE 9 HORAS TÉCNICAS	SVS	9	R\$ 180,00	R\$ 1.620,00	R\$ 1.506,60	
KILOMETRAGEM IDA E VOLTA	KM	220	R\$ 1,50	R\$ 330,00	R\$ 306,90	
TOTAL				R\$	24.801,00	
TOTAL COM DESCONTO DE 7%				R\$	23.064,93	

Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

Entretanto, essa manutenção não foi realizada devido a processos internos, como a demora da aprovação do pedido de compras, disponibilidade da produção para programar parada do equipamento para realizar a manutenção preventiva de 8000 horas. Com isso, o compressor trabalhou até aproximadamente 16000 horas sem realizar a manutenção preventiva, mas no dia 23 de setembro de 2021 o compressor apresentou falha indicada pelo alarme de temperatura, onde verificou-se que a quantidade de óleo do reservatório estava baixa.

Assim, o nível de óleo do reservatório foi completado e ligado o compressor. Contudo, após três horas de trabalho, o compressor apresentou a mesma falha. Desta forma, conforme solicitado pela gerência de produção foi desativado o sensor de temperatura, o compressor foi colocado em funcionamento com o intuito de atender a demanda da produção e entregar um pedido de peças que estava previamente programado. Depois de duas horas o compressor trabalhando nessa condição, o mesmo veio a travar, em serviços especializados, quando a manutenção corretiva não pode ser realizada na empresa, é necessário contratar empresa terceirizada especializada em compressores para fazer os devidos reparos. O trabalho e os custos com a remoção do equipamento podem ser elevados, pois se trata de equipamentos de grandes dimensões, com peso que varia aproximadamente em 2300 quilos.

Acionamos uma empresa especializada em manutenção de compressores, após a visita do técnico ao local, foi constatado que seria necessário realizar a retirada do compressor e enviar para a oficina, para realizar a desmontagem e avaliação dos danos causados pelo travamento do compressor, isso afetou diretamente a produção da empresa x, para amenizar o impacto perda de produção fez necessário o alugar um compressor para substituir o compressor danificado.

Por conseguinte, foi solicitada a manutenção corretiva no compressor, onde foram constatados problemas nos rotores, nos rolamentos, na carcaça, e também no reservatório de óleo foi constatada a presença de água que ocasionou a oxidação do mesmo e a contaminação de todo o sistema. A Figura 8 traz os principais problemas encontrados nos componentes da unidade compressora.

Figura 8 – Anormalidades na unidade compressora Atlas COPCO



**Fonte:** Dados da Pesquisa.

**Legenda:** A) Rotores macho e fêmea danificados; B) Carcaça desgastada; C e D) Rolamentos danificados; E) Reservatório de óleo oxidado; F, G e H) Carcaça enferrujadas.

Observou-se que os rotores, macho e fêmea, estavam muito danificados devido a ação de particulado metálico que passou por eles, desgastando também as carcaças e rolamentos.

As falhas mais comuns que os rolamentos podem sofrer são a fadiga, o desgaste, a corrosão, a lubrificação insuficiente ou excessiva e a contaminação por meio abrasivo. Essas falhas podem resultar em trincas ou fraturas, desgaste das pistas e dos elementos rolantes, escamamento e corrosão. É importante destacar que, à medida que essas falhas avançam, elas comprometem o adequado funcionamento do rolamento (SAWALHI, 2007).

O escamamento é uma falha que ocorre quando pequenos fragmentos do material do rolamento se separam da superfície lisa da pista ou dos elementos rolantes devido à fadiga. Isso resulta em áreas com uma textura áspera e irregular. O escamamento pode levar a danos adicionais no rolamento, como aumento do atrito, desgaste acelerado e ruídos durante a operação (NKS, 2023).

A ferrugem e corrosão do rolamento geram cavidades nas superfícies dos anéis e dos elementos rolantes e podem ocorrer no passo do elemento rolante, nos anéis ou em toda a superfície do rolamento (NKS, 2023).

Observou-se que havia uma grande quantidade de verniz em vários componentes. Este verniz faz com que os rolamentos de descarga venham girar a sua pista externa, ao invés de girar sob os rolos, o que não é uma ação normal. Nas carcaças foi possível notar que além do verniz havia danos que provocavam um toque metal-metal no sentido radial da tampa.

Os resíduos carbonosos de cor castanho-avermelhada, provenientes da decomposição do óleo lubrificante, são conhecidos como "vernizes". Esses vernizes podem ocasionar diversos problemas operacionais, especialmente em turbinas a vapor, sistemas movidos a gás natural, sistemas hidráulicos e turbinas hidráulicas e compressores (LOBO, 2019).

A oxidação é a primeira etapa de formação do verniz, que vai se acumulando e causa contaminação dos componentes. As empresas buscam evitar a formação de verniz em suas máquinas, pois ele pode levar a restrição e travamento de partes mecânicas em movimento; travamento de válvulas; aumento do desgaste devido ao acúmulo de sujeira e partículas sólidas; perda da transferência de calor; degradação autocatalítica do lubrificante e obstrução de componentes com baixo fluxo de óleo (BENEDUZZI, 2012).

Nas válvulas foram identificadas contaminações, o que evidenciou a necessidade de limpeza e substituição dos reparos. O reservatório de óleo e todo o circuito estavam completamente oxidados, sendo a oxidação identificada como a principal causa da quebra da unidade compressora. Havia muita água misturada ao óleo, o que geralmente ocorre quando o equipamento opera durante muito tempo em alívio, isto é, em horários de pouca demanda de ar. A válvula que atua com a função termostática para evitar o esfriamento e condensamento do óleo não estava funcionando corretamente, ela estava travando. Provavelmente, este problema foi causado pela falta de manutenção preventiva, que poderia ter detectado este defeito e feito o reparo antes da quebra da máquina.

Perdas em processos de produção e os respectivos custos envolvidos podem estar relacionados à falta de planejamento e à deficiência na execução da estratégia de manutenção industrial (MARCORIM; LIMA, 2013). A confiabilidade do processo produtivo e a existência das condições necessárias para o cumprimento do Plano Mestre de Produção estão diretamente ligadas à eficácia do planejamento e da execução da manutenção (MAGALHÃES; SILVEIRA; GOMES, 2021). A seguir, na Figura 9 é apresentado o orçamento de manutenção corretiva do compressor, realizado por uma empresa especializada

Figura 9 – Orçamento de manutenção corretiva

ORÇAMENTO				DATA 25/10/2021
EQUIPAMENTO: COMPRESSOR				
MODELO: GA 160 AP 308V				
SERIE: BQD120979				
PEÇAS E SERVIÇOS PARA REVISÃO DE UNIDADE				
REVISÃO DE UNIDADE COMPRESSORA	UNID.	QTD	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
KIT DE ROLAMENTO CÓD.: BVNB311523	PÇ	1	R\$ 12.775,80	R\$ 12.775,80
KIT DE VEDAÇÃO DA UNIDADE COMPRESSORA CÓD.: 1614942900	PÇ	1	R\$ 3.351,20	R\$ 3.351,20
BUCHA CÓD.:2252547800	PÇ	1	R\$ 2.301,00	R\$ 2.301,00
RETENTOR CÓD.:1616551700	SRV	2	R\$ 1.176,50	R\$ 2.353,00
METALIZAÇÃO DO ROTOR	SRV	6	R\$ 1.233,10	R\$ 7.398,60
PREPARAÇÃO DA CARCAÇA	SRV	1	R\$ 2.596,00	R\$ 2.596,00
PREPARAÇÃO DE ROTORES	SRV	2	R\$ 2.112,20	R\$ 4.224,40
MÃO DE OBRA	SRV	1	R\$ 4.720,00	R\$ 4.720,00
FILTRO DE ÓLEO	PÇ	2	R\$ 861,00	R\$ 1.722,00
FILTRO DE AR	PÇ	1	R\$ 369,00	R\$ 369,00
FILTRO SEPARADOR	PÇ	1	R\$ 3.380,00	R\$ 3.380,00
VÁLVULA TERMOSTÁTICA	PÇ	1	R\$ 8.920,00	R\$ 8.920,00
KIT RETENÇÃO DE AR / ÓLEO	PÇ	1	R\$ 5.327,00	R\$ 5.327,00
VÁLVULA PRESSÃO MÍNIMA	PÇ	1	R\$ 1.100,00	R\$ 1.100,00
VÁLVULA ADMISSÃO	PÇ	1	R\$ 1.330,00	R\$ 1.330,00
VÁLVULA TRANSIENTE	PÇ	1	R\$ 2.680,00	R\$ 2.680,00
SEPARADOR DE CONDENSADO WSD	PÇ	1	R\$ 1.270,00	R\$ 1.270,00
ÓLEO LUBRIFICANTE ROTOR LUB 8.000HR	BD	4	R\$ 2.395,00	R\$ 9.580,00
MÃO DE OBRA	SERV	16	R\$ 130,00	R\$ 2.080,00
DESLOCAMENTO	KM	220	R\$ 1,50	R\$ 330,00
TOTAL				R\$ 77.808,00
TOTAL COM DESCONTO DE 7%				R\$ 72.361,44

Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação entre a manutenção corretiva e preventiva em compressores Atlas Copco pode ser realizada através da comparação de suas vantagens e desvantagens. A manutenção corretiva é uma solução imediata e deve ser realizada em casos de falhas pontuais. No entanto, pode gerar prejuízos financeiros e de tempo em decorrência da parada inesperada do equipamento e consequente perda de produção. Já a manutenção preventiva, apesar de demandar mais planejamento, pode proporcionar uma maior durabilidade ao equipamento e reduzir o risco de falhas (SOUZA FILHO, 2017).

Um dos principais objetivos da manutenção preventiva é aumentar a confiabilidade e a disponibilidade do equipamento por meio da substituição de peças desgastadas ou danificadas, ajustes de regulação e lubrificação adequada (VIANA, 2014). Outra importante medida de manutenção é a realização de inspeções periódicas, que permitem identificar possíveis problemas antes que eles se agravem. A realização de testes e análises também é fundamental para verificar a eficácia do sistema de compressão e detectar possíveis falhas em componentes (MENEZES, 2013).

Para um compressor Atlas Copco, equipamento de alta tecnologia e qualidade, é importante observar as recomendações do fabricante em relação aos intervalos de manutenção e a utilização de peças originais em caso de substituição de componentes. É essencial que a manutenção seja realizada por profissionais qualificados e treinados, a fim de garantir um serviço de qualidade e minimizar a possibilidade de erros (RAMOS, 2012).

No caso do compressor da Empresa X citado no desenvolvimento deste estudo, observou-se que a gestão de posse do orçamento e da programação de manutenção protelou os cuidados com o equipamento, mesmo ciente que o compressor não estava operando em condições normais de funcionamento. Como consequência, o equipamento sofreu várias paradas não programadas, onde os reparos realizados não foram capazes de resolver a situação. Com isso, o compressor travou e assim, diante da urgência da situação foi realizada a manutenção recomendada inicialmente, mas com maiores danos e prejuízos para a empresa.

Esta demora na manutenção resultou em graves consequências para a produtividade e principalmente para a vida útil do equipamento. Portanto, é necessário seguir as recomendações de manutenção dos fabricantes e estabelecer um programa de manutenção para evitar situações como a citada no trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABNT, **NBR 5462**. Confiabilidade de um item desempenhar uma função. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ATLAS COPCO. **Manual de Instruções para Compressores GA90+, GA110, GA132, GA160 GA132 VSD, GA160 VSD**. Set., 2016.

BENEDUZZI, A.H. **Procedimentos de coletas de óleo para análise preditiva de turbinas a gás**. 2012, 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia UNESP, 2012.

BROWN, R.O.; DINIZ, C. C. C. Colheita florestal e manutenção de equipamentos móveis. Semana de Aperfeiçoamento em Engenharia Florestal UFPR, v. 1, p. 01-41, 2017.

FREIRE, W.A. **Análise energética do sistema de resfriamento de uma planta de compressores de ar modelo ZH9000**. 2015, 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

LEMO, M.A.; ALBERNAZ, C.M.R.M.; CARVALHO, R.A. **Qualidade na manutenção**. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2011.

LOBO, M.T. **Formação de verniz em sistemas de lubrificação – Parte 1**. Portal Lubes, artigo publicado em abr. 2019. Disponível em: <https://portallubes.com.br/2019/04/formacao-de-verniz/> Acesso em: 7 jun. 2023.

MAGALHÃES, Camila de Souza; SILVEIRA, Laura Pampanini; GOMES, Raiane Ribeiro. Gestão da Manutenção no Setor Alimentício: Estratégia Baseada em Confiabilidade. **Revista FSA**, v. 18, n. 3, 2021.

MARCORIN, W.; LIMA, C. Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v.11, n.22, p.35-42, 2003.

MARAN, M. **Manutenção baseada em condição aplicada em um sistema de ar condicionado como requisito para sustentabilidade de edifício de escritórios**. 2011, 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MENEZES, F.M. **MASP: Metodologia de Análise e Solução de Problemas**. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2013.

NANCABÚ, P. **Procedimento para manutenção preventiva na empresa de resíduos sólidos urbanos do centro “ERSUC”**. Dissertação Mestrado, 2014.

NKS. **Ferrugem e corrosão**. Motion & Control NKS Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.nsk.com.br/ferrugem-e-corrosao-177.htm> Acesso em: 20 maio 2023.

NÓBREGA, P. R.L. **Manutenção de compressores alternativos: conheça os segredos da máquina e dos procedimentos de manutenção**. 2 ed. Séries Compressores Industriais. Kindle, 2016.

OLINDA, P.V.S. **Estudo da viabilidade da termografia na detecção de falha por desalinhamento paralelo vertical em acoplamento flexível**. Dissertação de Mestrado, 2018.

OLIVEIRA, M.A. **Sistema de gestão da manutenção baseada no grau de maturidade da organização no âmbito da manutenção**. Tese Doutorado, 2017.

PINTO, A.K.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 4. ed. [S.l.]: Qualitymark, 2013

RODRIGUES, A.L.P. *et al.* A utilização do ciclo PDCA para melhoria da qualidade na manutenção de shunts. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, SC, Brasil, v. 9, n. 18, p. 48 - 70, 2017.

RAMOS, P.G.D. **Organização e Gestão da Manutenção Industrial Aplicação Teórico-prática às Fabricas Lusitana – Produtos Alimentares**, S.A. Tese Mestrado, 2012.

SANTOS, N.A.; SELBITTO, M.A. Estratégia de manutenção e aumento da disponibilidade de um posto de compressão de gases na indústria petrolífera. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v.16, n. 1, p. 77-103, jan./mar. 2016.

SOUZA FILHO, Carlos Alfredo Campos et al. **Proposta de um modelo que promova o aumento na disponibilidade de uma frota**. 2020. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio) - Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, São Paulo, 2020.

SAWALHI, N. **Diagnostics, prognostics and fault simulation for rolling element bearings**. 2007, 355 f. Thesis of PhD. University of New South Wales, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, 2007.

TOLEDO, F.O.; AKAGI, D.A.; MELLO, C.H.P.; GORGULHO JÚNIOR, J.G.C.; SOUZA, L.G.M. **Projeto conceitual de um horímetro em uma abordagem de engenharia reversa integrada ao DFMA**. XXIX Encontro Nacional de Engenharia da Produção, Salvador, Bahia, 2009.

VIANA, H. R. G. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção**. 1ª Edição, Qualitymark Editora. Rio de Janeiro - RJ, 2014.