

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CLEBER ALVES DE OLIVEIRA JUNIOR**

**AS MELHORIAS REALIZADAS NO SETOR DE PINTURA INDUSTRIAL DE UMA  
EMPRESA DO SEGMENTO SIDERÚRGICO**

**Varginha**  
**2020**

**CLEBER ALVES DE OLIVEIRA JUNIOR**

**AS MELHORIAS REALIZADAS NO SETOR DE PINTURA INDUSTRIAL DE UMA  
EMPRESA DO SEGMENTO SIDERÚRGICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Antônio Vital Lara Júnior.

**Varginha  
2020**

**CLEBER ALVEZ DE OLIVEIRA JUNIOR**

**AS MELHORIAS REALIZADAS NO SETOR DE PINTURA INDUSTRIAL DE UMA  
EMPRESA DO SEGMENTO SIDERÚRGICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em     /     /

---

Prof.º.

---

Prof.º.

---

Prof.º.

**OBS.:**

Dedico este trabalho a minha família por todo apoio, e aos mestres por todo conhecimento acadêmico compartilhado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por toda sabedoria adquirida no decorrer destes anos, e aos meus pais por sempre me apoiarem em minha caminhada.

## RESUMO

Este trabalho tem como finalidade avaliar a alteração de layout da rede de distribuição de ar comprimido do setor de cabines de pintura industrial. O estudo tem objetivo geral abordar as melhorias que foram obtidas no setor industrial após a alteração de layout. Ele considera os aspectos que impactam na forma qualitativa e financeira no processo. O propósito será explorar de forma significativa e abrangente, todo o assunto, realizando uma abordagem em todo os elementos filtrantes como compressores, filtros, pistolas entre outros equipamentos, com o intuito de chegar na causa raiz causadora das impurezas e que impactam de forma negativa no processo. A pesquisa se estende na aplicação prática, onde serão realizados visitas e levantamentos de dados técnicos, com a finalidade de abordar as melhorias que foram adaptadas no processo, juntamente com comparativos que comprovem a eficiência das alterações realizadas, concretizando como satisfatório e obtendo um *payback* antecipado, o que engrandece ainda mais o valor agregado das alterações, devido a rápida resposta do processo.

**Palavras-chave:** Processo, pintura, alteração de *layout*.

## ***ABSTRACT***

This work have to evaluate the alteration of the layout of the compressed air distribution network of the industrial painting booths sector. The study has a general objective to address the improvements that were obtained in the industrial sector after the layout change. He considers the aspects that impact the qualitative and financial form in the process. The purpose will be to explore the whole subject in a meaningful and comprehensive way, carrying out an approach in all filtering elements such as compressors, filters, pistols and other equipment, in order to arrive at the root cause that causes impurities and that negatively impact the process. The research extends to the practical application, where visits and surveys of technical data will be carried out, in order to address the improvements that were adapted in the process, together with comparatives that prove the efficiency of the changes made, making it satisfactory and obtaining an early payback , which further enhances the added value of the changes, due to the rapid response of the process.

**Keywords:** Process, painting, layout change.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Compressor primário.....	13
Figura 2: Fluxograma tipos de compressores.....	15
Figura 3: Compressor parafuso.....	17
Figura 4: Componentes da rede de ar comprimido.....	21
Figura 5: Linha de alimentação.....	22
Figura 6: Reservatório de ar.....	23
Figura 7: Modelo esquemático de filtro.....	24
Figura 8: Compressores.....	27
Figura 9: Filtros.....	27
Figura 10: Cabine de pintura.....	28
Figura 11: Impurezas em pistolas.....	30
Figura 12: Interior da cabine de pintura após alteração.....	31



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 COMPRESSOR E SEUS FUNDAMENTOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Históricos dos compressores.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Compressores no cenário industrial.....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Aplicação do sistema de ar comprimido.....	14
<b>2.3 Modelos de compressores.....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Compressores de deslocamento positivo.....	15
2.3.1.1 Alternativos.....	15
2.3.1.2 Rotativos.....	16
2.3.2 Compressores dinâmicos.....	17
2.3.2.1 Centrífugo.....	17
2.3.2.2 Axial.....	17
<b>2.4 Manutenções em compressores.....</b>	<b>18</b>
2.4.1 Ferramentas e métodos para manutenção.....	18
2.4.1.1 Controladores de Pressão do Sistema.....	18
2.4.1.2 Medidores de temperatura.....	19
2.4.1.3 Ensaio com líquidos penetrantes.....	19
2.4.1.4 Ensaio por partículas magnéticas.....	20
2.4.1.5 Análise de vibração.....	20
<b>2.5 Redes de distribuição.....</b>	<b>20</b>
2.5.1 Componentes de uma rede de ar comprimido.....	21
<b>2.6 Reservatórios de ar.....</b>	<b>22</b>
<b>2.7 Filtros de ar.....</b>	<b>23</b>
2.7.1 Filtros para remover o óleo do ar comprimido.....	24
<b>2.8 Impurezas.....</b>	<b>25</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Materiais e métodos.....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Compressores.....	26

3.2.2 Filtros.....	27
<b>3.4 Impactos de parada de linha para manutenção.....</b>	<b>28</b>
3.4.1 Frequência e tempo de maquina parado para manutenção em filtros e compressores	29
<b>3.5 Tomadas de decisão para troca de layout.....</b>	<b>29</b>
<b>3.6 Processos para alteração de layout.....</b>	<b>30</b>
<b>3.7 Melhorias no processo.....</b>	<b>31</b>
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>36</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

O presente trabalho tem como intuito avaliar a alteração de layout da rede de distribuição de ar comprimido do setor de cabines de pintura industrial. A abordagem relata a minimização de paradas de linhas, manutenções não planejadas, custos empregados a elementos filtrantes, entre outros fatores que de certa forma impactavam no setor de pinturas, onde a existência de retrabalhos e refugos interrompiam os processos conseqüentemente.

O objetivo geral é abordar as melhorias que foram obtidas no setor industrial após a alteração de layout. Considerando as alterações que foram realizadas, é possível a utilização por um período prolongado sem a necessidade de troca ou reparos de elementos vinculados à rede de distribuição de ar. Devido a troca de layout e a instalação de novos filtros em pontos pré-dimensionados, atualmente esses componentes desenvolvem atividades com maiores eficiências, contribuindo com que as impurezas não transitem nas linhas de distribuição de ar comprimido, evitando a contaminação no processo.

A pesquisa apresenta baseado em análise bibliográfica e estudo de campo, que ocorreram em uma indústria do segmento metalúrgico fabricantes de rodas automotivas, os motivos que justificam o desenvolvimento e a execução do projeto de troca de layout do setor de cabine de pinturas, embasados nos termos produtivos e financeiros da corporação industrial.

## 2 COMPRESSOR E SEUS FUNDAMENTOS

A Termodinâmica é a área da Física destinada ao estudo das transformações e das trocas de energia nos processos com os gases, como por exemplo, o ar. Desta forma caracteriza-se que os processos de obtenção, distribuição e uso do ar comprimido, seja um produto com alta energia e resultante de uma transformação termodinâmica experimentada pelo ar atmosférico através do consumo do trabalho mecânico de compressão, que é realizado por uma máquina térmica, isto é, por um compressor (ROCHA, 2005).

De acordo com Coradi (2011), compressores podem ser chamados claramente como unidades mecânicas industriais destinadas especialmente a aumentar a energia dos gases pelo aumento de sua pressão. A pressão de um determinado volume de ar é elevada, admitido na condição atmosférica, até um estipulado valor exigido para desenvolvimento dos trabalhos desenvolvidos por ar comprimido. A compressão de um gás pode ser feita adiabaticamente ou com transferência de calor, variando de sua condição para onde será transferido. Caso, o mesmo vai ser usado em um motor ou em um processo de combustão, a compressão adiabática é desejável para obtenção da maior energia disponível no gás. Em muitas aplicações, no entanto, o gás é armazenado adequadamente em um tanque e conforme o surgimento das demandas é então utilizado.

Durante o processo de armazenagem há perda de calor para a atmosfera e, quando o gás for usado, estará praticamente à temperatura ambiente (CORADI, 2011).

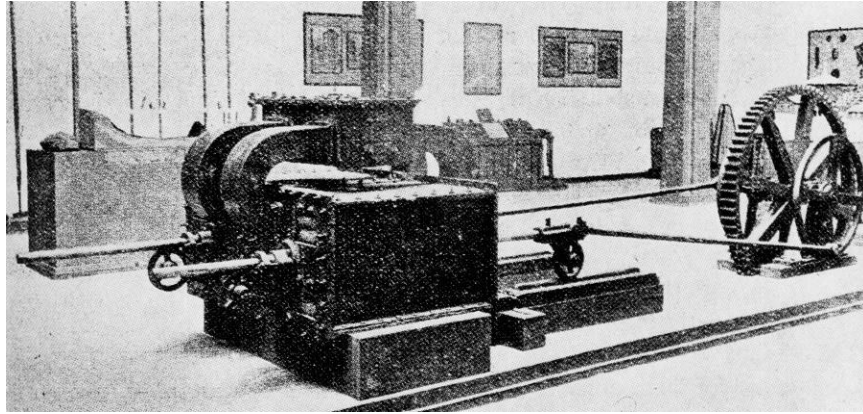
É necessário que o agente apresente capacidade, ou seja, energia para que possa realizar qualquer tipo de trabalho. Assim, trabalho e energia são elementos interligados. Em Termodinâmica, o sistema motriz (motor térmico, máquina térmica) é um dispositivo capaz de receber energia e realizar trabalho, funcionando num ciclo (ROCHA, 2005).

### 2.1 Históricos dos compressores

No século 4.500 a.C. já era conhecido o fole manual, utilizado na fundição de metais. Por volta de 1.500 a.C. ocorreu um aprimoramento do fole pois nessa época ele passou a ser acionado por pedais. Posteriormente, com o avanço das técnicas de usinagem e acabamento nas partes internas de tubos em ferro fundido, para fabricação de canhões, foram desenvolvidas as condições para que os primeiros compressores com um único pistão viessem a aparecer. A história documenta o primeiro emprego de um compressor a pistão em 1776 em uma fábrica da Inglaterra. Este compressor foi desenvolvido para fornecer a grandiosa

pressão, para aquela época, de 1bar. As válvulas e vedações eram de madeira e couro e não admitiam pressões mais intensas do que estas.

Figura 1: Compressor primário



Fonte: (ROCHA, 2005).

No século XVIII os compressores realizaram um papel indispensável na construção de túneis, estes equipamentos por sua vez apresentavam uma rotação entre 16 e 50rpm. No ano de 1878 ocorreu o primeiro registro de patente para compressores do tipo parafuso, porém não obtiveram uma boa desenvoltura na prática devido à dificuldade na sua fabricação. Após estudos aprofundados e testes realizados com o intuito de desenvolverem máquinas com eficácia, surgem no ano de 1950, em escala industrial os primeiros exemplares de compressores do tipo parafusos, porém estes ainda não tinham uma eficiência superior aos compressores recíprocos, por causa da simetria dos parafusos que comprimiam o ar. Na década de 60 surgiram os primeiros compressores a parafuso com perfil assimétrico, que apresentavam desempenho similar aos compressores recíprocos, desta forma embasada em análises foram possível aprimorarem conhecimentos técnicos direcionados ao desenvolvimento de máquinas cada vez mais eficientes (ROCHA, 2005).

## **2.2 Compressores no cenário industrial**

A utilização do ar comprimido como insumo e vetor energético é larga e intensamente difundida nas indústrias. Diretamente relacionados a vários processos industriais, a utilização de compressores impactam em vários segmentos. Atualmente, a produção do ar comprimido industrial é diretamente proporcional ao consumo de energia elétrica. Define-se que, o ar comprimido é o ar eletricamente capacitado a realizar trabalho, ou seja, perda de ar comprimido significa perda de energia elétrica, embasado nessa avaliação podemos dimensionar a grandeza e a importância que os compressores e o sistema de ar comprimido exerce no cenário industrial (SANTOS, 2020).

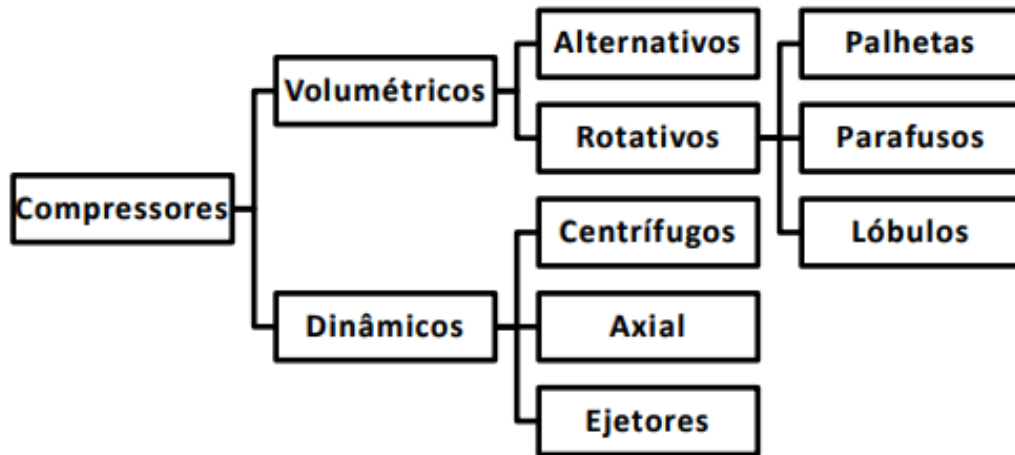
### **2.2.1 Aplicação do sistema de ar comprimido**

Utilizado em diversos segmentos, o sistema de ar comprimido é amplamente utilizados nos setores agrícolas, hospitalar e industriais, vinculado à máquinas de fluxo como compressores. A utilização desses equipamentos desenvolvem atividades rotineiras e com alto grau de importância, causando impactos significativos em diversos setores, contribuindo de forma positiva para um todo. O ar comprimido é um recurso frequentemente usado na indústria. Em suas várias aplicações, é importante conhecer que para a compressão do ar utiliza-se energia elétrica. Um dado volume de material particulado requer uma determinada vazão e pressão de ar para ser transportado daquele recipiente, sendo assim, os compressores são denominados como responsáveis por transmitir a energia necessária para obtenção da vazão e pressão de ar requerida. É notório que, com métodos de trabalhos mais eficientes do sistema e dos compressores, pode-se diminuir o consumo de energia elétrica (SANTOS, 2020).

## **2.3 Modelos de compressores**

Para o processo de compressão de ar, existem dois princípios básicos, onde determinam em escala derivativa os tipos de compressores e modelos, caracterizando em distintos processos de compressão de ar.

Figura 2: Fluxograma tipos de compressores



Fonte: (METAPLAN, 2019).

### 2.3.1 Compressores de deslocamento positivo

Os compressores de deslocamento positivo incluem, por exemplo, compressores alternativos, conhecidos também como compressores de pistão, compressores orbital, chamado também como scroll ente outros tipos de compressores rotativos, como parafuso, dente e palheta. Na compressão de deslocamento positivo, o ar é direcionado para uma ou mais câmaras de compressão, que são então veadas a partir da entrada. Gradualmente o volume de cada câmara diminui e o ar é comprimido internamente. Quando a pressão atinge a relação de pressão de montagem projetada, uma porta ou válvula é aberta e o ar é descarregado no sistema de saída devido à redução contínua do volume da câmara de compressão.

#### 2.3.1.1 Alternativos

Quanto à disposição de seu cilindro, podem ser encontrado em forma vertical ou horizontal. Na forma horizontal, permite fácil acesso á parte interna da maquina em manutenção, mas em contrapartida, ocupa um espaço, o que cria limitações em certas aplicações. Já os cilindros que são instalados nas verticais, ocupam menos espaço, e sua aplicabilidade é maior, devido necessitar de vãos menores para trabalho, mas, para termos de manutenção, encontrasse dificuldades para acesso na parte interna da maquina, ocasionando

horas a mais para manutenções. Os compressores alternativos são compostos pelos seguintes componentes;

- a) Conjunto de acionamento: composto pelo cárter de óleo, mancais, cruzeta, volante, eixo virabrequim e outros. Utilizado para realizar o movimento rotativo do acionador por movimento alternativo da haste.
- b) Conjunto de compressão: formado por haste, pistão, selagem, válvulas, anéis de compressão, cilindro, tampas e válvulas, todos os itens localizados na parte interna do cilindro.
- c) Sistemas auxiliares: são itens importantes para o correto funcionamento da máquina que são o sistema de refrigeração, sistema de lubrificação, garrafas e tubulações e sistema de monitoração e proteção.
- d) Intercooler: utilizado para diminuir a temperatura do gás entre estágios. A redução da temperatura do gás diminui o consumo de energia do compressor.

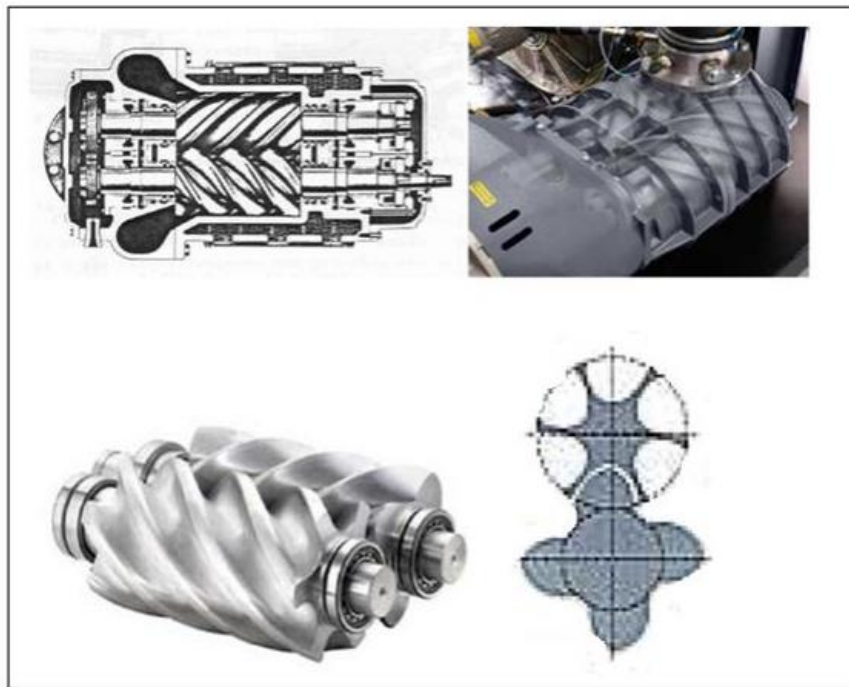
#### 2.3.1.2 Rotativos

Dos compressores rotativos, se destacam os de parafuso, máquinas que conseguem manter seu comportamento estável quando sua carga varia. Conhecidos como compressores de parafuso, são classificados como do tipo volumétrico rotativo. A partir da necessidade de máquinas com comportamentos estáveis, iniciaram pesquisas com o intuito de desenvolvimento de novas máquinas, no ano de 1930 surgiram novos projetos, dando início à produção em escala desses equipamentos, devido a necessidade de compressores que produzissem altas vazões e que mantivessem o comportamento estável quando houvesse variação de carga. (ROCHA, 2005, p. 45).

O compressor de parafuso típico, selado com óleo, é uma máquina de deslocamento positivo com dois rotores acoplados, que são normalmente montados em mancais para fixar suas posições na câmara de trabalho em uma tolerância estreita em relação à cavidade cilíndrica. O rotor macho tem um perfil convexo, já a fêmea possui um perfil côncavo, ambos tem a forma semelhante a uma rosca sem fim, com diferentes números de lóbulos nos rotores macho e fêmea, geralmente os rotores macho têm 4 e os fêmeas 6 lóbulos. Um rotor transfere o torque diretamente para o outro rotor com o sentido de rotação fixo. O dispositivo de acionamento se conecta geralmente ao rotor macho, que é responsável por acionar o rotor fêmeo por meio de uma película de óleo (PILLIS, 2001).



Figura 3: Compressor parafuso



Fonte: (ATLAS COPCO AIRPOWER, 2015).

### 2.3.2 Compressores dinâmicos

No sistema de compressão dinâmica, o ar é puxado entre as pás em um impulsor de compressão de rotação rápida e acelera a uma alta velocidade. O gás é então descarregado através de um difusor, onde a energia cinética é transformada em pressão estática. A maioria dos compressores dinâmicos são turbo compressor com um padrão de fluxo axial ou radial. Todos são projetados para grandes taxas de fluxo de volume. (ATLAS COPCO AIRPOWER, 2015,p.20)

#### 2.3.2.1 Centrífugo

O gás admitido entra axialmente pelo olho do primeiro impelidor e recebe o movimento de rotação. Devido à força centrífuga, o gás ganha velocidade e é expelido radialmente pela periferia do impelidor. Chegando ao difusor, devido ao aumento de passagem, ocorre a conversão de parte da energia cinética em energia potencial.

#### 2.3.2.2 Axial

São utilizados para grandes vazões e pequenos aumentos de pressão. O rotor tem um fluxo puramente axial e são largamente utilizados como sopradores em siderúrgicas e refinarias.

Em forma derivativa, conforme citado anteriormente, são diversos os modelos de compressores, todos com suas aplicabilidades e características distintas. Os compressores volumétricos possuem a opção de serem alternativos ou rotativos, já os compressores dinâmicos, podem ser classificados em três distintos modelos, sendo eles centrífugos, axiais ou ejetores. No cenário industrial, ambos os modelos são empregados em atividades de grande importância para a produção em escala, sendo considerados como equipamentos de importantes utilidades.

## **2.4 Manutenções em compressores**

O termo manutenção pode ser definido, segundo o dicionário Aurélio, como as medidas necessárias para a conservação ou permanência, de alguma coisa ou situação, e ainda, os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento diariamente regular e permanente de motores e máquinas. Entretanto, embasado nos conceitos gerais, manutenção é o conjunto de atividades e recursos aplicados a um sistema ou equipamento, com o intuito de dar continuidade em seu funcionamento. (LIMA, 2016).

### **2.4.1 Ferramentas e métodos para manutenção**

#### **2.4.1.1 Controladores de Pressão do Sistema**

A pressão do sistema deve ser controlada para que trabalhe sempre na pressão adequada. Qualquer alteração ou desajuste do sistema pode ocasionar impactos no produto final, gerando perda de qualidade ou baixa de produção.

Os manômetros são instrumentos utilizados para realizar medições de pressão. Os pressostatos são instrumentos que a mantêm dentro dos limites pré determinados, ligando ou desligando algum dispositivo que corrige a pressão quando os limites máximo e mínimo forem atingidos. Já em relação aos pressostato, pode –se classificar como uma chave comutadora onde tem sensores que acionam o liga/desliga ou vice-versa, que é acionada por um sistema. Possui um sensor elástico, que ao receber pressão, produz um deslocamento que

aciona uma ampola de mercúrio ou uma micro-chave de capacidade até 20 A, que através de relés realizam o trabalho de acionamento de bombas, queimadores, entre outros equipamentos.

#### 2.4.1.2 Medidores de temperatura

São diversos os equipamentos utilizados para realizar medição de temperatura, sendo os mais comuns utilizados;

- a) Termômetros de sistema-cheio: são na realidade manômetros dotados de um dispositivo que gera determinada pressão interna ao receber determinada temperatura
- b) Termômetros expansão de mercúrio: estão sendo pouco usados, por se utilizarem de mercúrio que pode causar danos fatais à pessoas e aos equipamentos. O mercúrio também, por sua alta densidade, provoca erros de leitura quando o bulbo do termômetro é instalado em nível superior ou inferior ao do instrumento, tornando inevitável o reajuste de zeragem.
- c) Termômetros bimetálicos: Funcionam com a deformação de uma tira composta de dois metais de diferentes coeficientes de dilatação, quando submetida a temperatura acima ou abaixo da temperatura ambiente.
- d) Termistores: São feitos de óxidos metálicos tratados teoricamente que se diferem dos resistores normais por possuírem um coeficiente de resistência de temperatura negativo.
- e) Pirômetros: Utilizam um sistema ótico que focaliza a energia radiada de um corpo sobre um sistema sensor.
- f) Termografia: Utiliza materiais luminescentes e a distribuição de temperatura sobre a superfície é convertida em padrão de brilho, que pode ser observado diretamente ou gravada fotograficamente.

#### 2.4.1.3 Ensaio com líquidos penetrantes

Conhecido pela forma de penetração que o líquido contém de penetrar na superfície dos materiais e também em cavidades superficiais de magnitude microscópica, esse processo utiliza o líquido penetrante como ferramenta para os ensaios. O processo está assentado nos princípios de capilaridade e alta tensão superficial localizado nestes materiais e que atuam em constante compromisso mútuo. A partir destas avaliações, é possível detectar com bastante segurança, características como fissuras e trincas, entre outras anomalias abertas à superfície

em praticamente qualquer material, através dos “borrões” no revelador formados pelo líquido que penetrou nas fissuras. O resultado para análise depende do líquido penetrante que será utilizado, no entanto deve apresentar propriedades de fluência adequado do material, ser apto a formar uma cobertura contínua e razoavelmente uniforme, migrar para o interior das cavidades abertas à superfície pela ação e não introduzir efeitos que prejudiquem o material que está sendo ensaiado (CORADI, 2011).

#### 2.4.1.4 Ensaio por partículas magnéticas

O método de partículas magnéticas é uma forma de analisar a face superficial que destina a detectar descontinuidades superficiais ou de certo modo, abertas à superfície dos materiais e somente se aplica a materiais ferromagnéticos, isto é, ferro, níquel, cobalto e suas respectivas ligas. O método se justifica no fato de que quando um material ferromagnético é magnetizado, as descontinuidades localizadas preferivelmente transversais à direção do campo magnético provocam o aparecimento de um campo magnético, denominado de campo magnético de fuga. Sua presença e de descontinuidades é detectada pela aplicação de diminutas partículas ferromagnéticas sobre a superfície da peça ensaiada (CORADI, 2011).

#### 2.4.1.5 Análise de vibração

Denominado como método de manutenção preditiva que consiste em identificar características do sinal vibratório que possam ser utilizadas para conhecimento das características do sistema. A análise direta da vibração no tempo, normalmente, não apresenta muita informação útil. É necessária que ela seja processada adequadamente para que as suas características sejam identificadas.

## 2.5 Redes de distribuição

O ar comprimido é denominado como uma forma de energia de ampla utilização no setor industrial, comercial e hospitalar, empregada em diversos processos e equipamentos. É resultado da compressão do ar, complementado por processos de tratamento que contem a finalidade de oferecer o melhor desempenho para os equipamentos em diversas atividades.

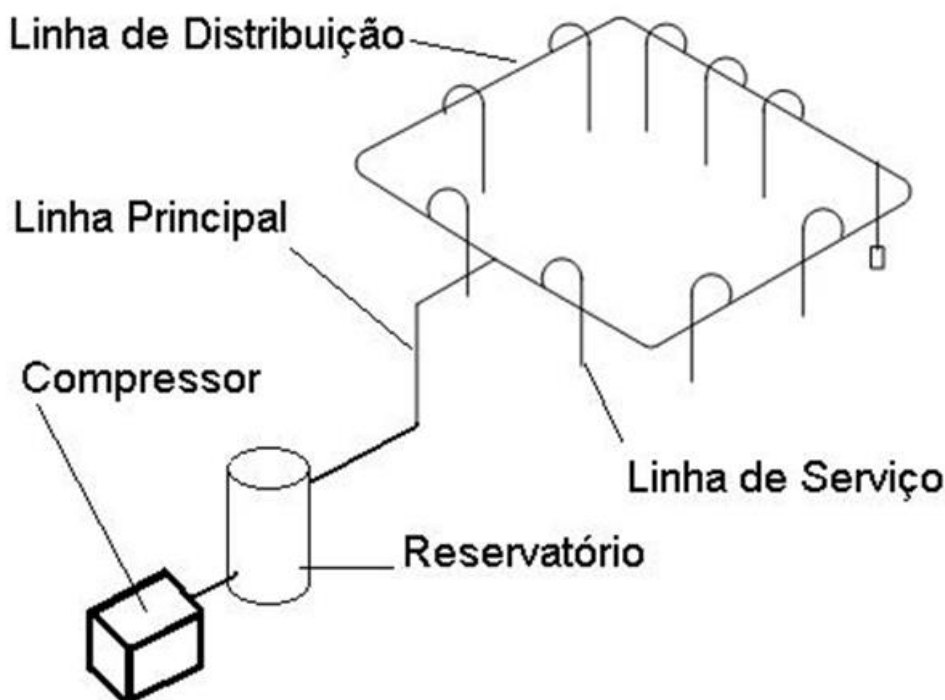
Também conhecidos como rede de ar comprimido, as linhas pneumáticas tem como objetivo principal canalizar o ar comprimido produzido pelo compressor e leva-lo até as

ferramentas de utilização. Isto é, conduzir o ar comprimido desde o reservatório, instalado após a unidade compressora, até as derivações dos pontos de consumo onde o ar comprimido é distribuído (BARTOLIN,2020).

### 2.5.1 Componentes de uma rede de ar comprimido

Para realização de todo processo, é necessário a verificação e inspeção de todos os componentes, para que o processo não impacte de forma negativa na produção ou seja, para que não existam contaminação como impurezas impactando no processo.

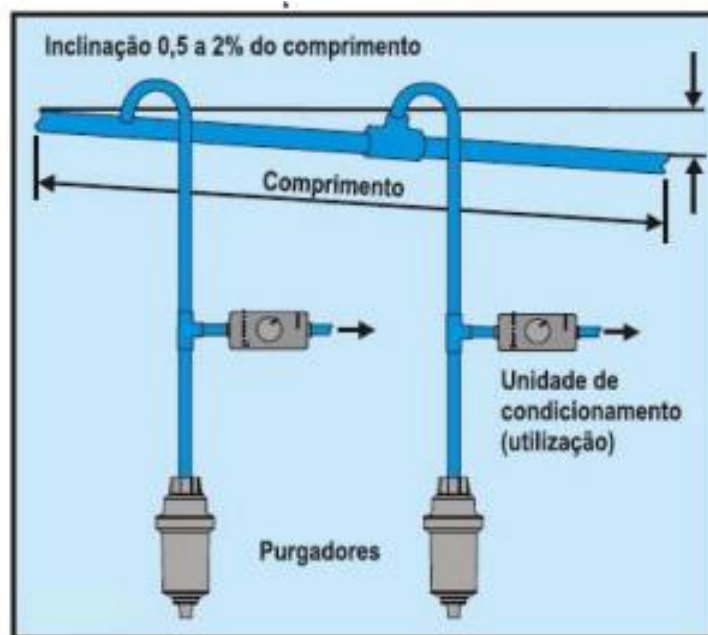
Figura 4: Componentes da rede de ar comprimido



Fonte: (METAPLAN, 2019).

Ao circular pela tubulação da rede o ar sofre o efeito da condensação, devido às variações de temperatura ambiente, que ocorrem ao longo do dia. Para que a condensação não prejudique o funcionamento dos equipamentos pneumáticos, ela é retirada do sistema através de purgadores instalados na extremidade final das linhas de alimentação. A tubulação principal deve possuir uma inclinação de 0,5 a 2% do comprimento do tubo no sentido do fluxo, para que eventuais condensações e impurezas presentes ao longo da tubulação sejam recolhidas com maior facilidade, sendo eliminadas por meio de drenos (FIALHO, 2011).

Figura 5: Linha de alimentação



Fonte: (PARKER TRAINING, 2006).

A utilização de válvulas de fechamento nas linhas de ar comprimido possibilita que ela possa ser dividida por seções, realizando trabalhos isoladamente, auxiliando nos processos de sua inspeção e manutenção. Dessa forma, evita-se a paralisação da linha produção da empresa (CORADI, 2011)

## 2.6 Reservatórios de ar

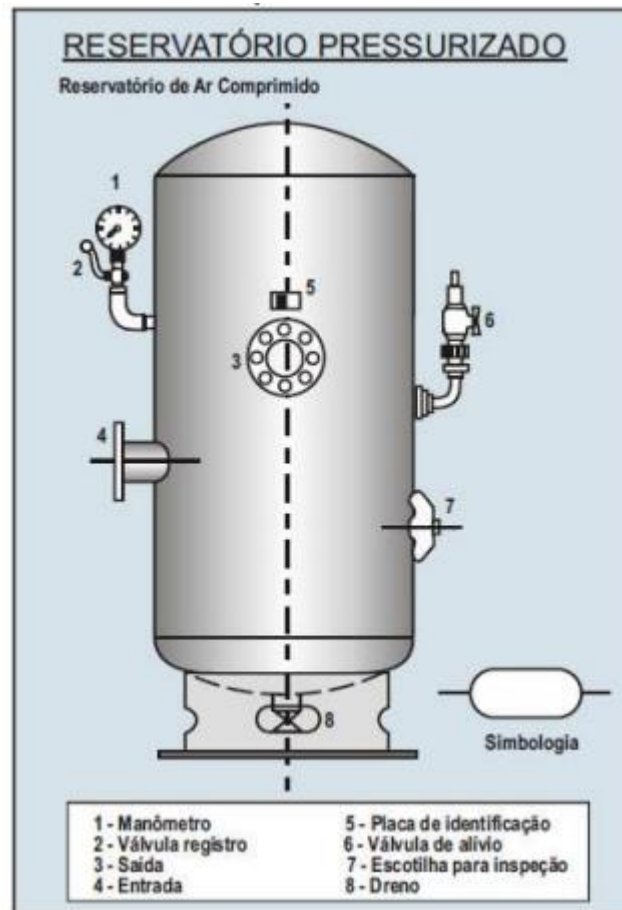
É de extrema importância conter reservatório de ar para abastecimento das linhas pneumáticas, cujo reservatório tenha capacidade de atender o consumo de ar do sistema em que se encontra vinculado (PARKER, 2006).

Em geral, os reservatórios exercem as seguintes atividades.

- Armazenar o ar comprimido;
- Resfriar o ar auxiliando na eliminação do condensado;
- Compensar as flutuações de pressão em todo o sistema de distribuição;
- Controlar as marchas dos compressores;
- Estabilizar o fluxo de ar;

Os reservatórios de ar são encontrados e desenvolvem atividades em diversos segmentos industriais, onde a pressurização do ar ocorre de forma instantânea.

Figura 6: Reservatório de ar



Fonte: (PARKER TRAINING, 2006).

## 2.7 Filtros de ar

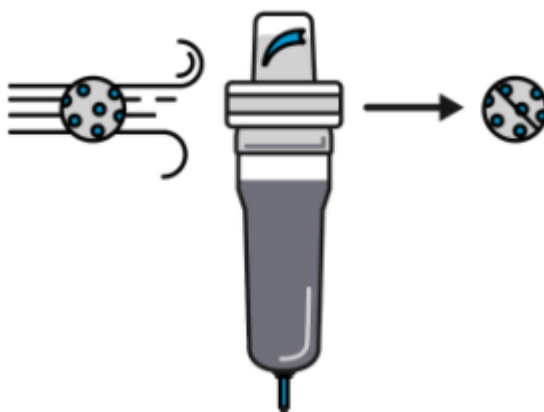
Filtros são sistemas utilizados na filtragem do ar, mantendo a quantidade de sujeira e materiais abrasivos dentro de limites aceitáveis para o bom funcionamento e vida útil do sistema de ar comprimido. Eles são capazes de reter umidade e partículas presentes no ar (CORADI, 2011). O filtro de ar é aplicado em três pontos diferentes no sistema de ar comprimido. Um filtro antes, um depois do secador de ar e outro no ponto de uso (METALPLAN, 2019).

A instalação do filtro antes do secador tem como função separar o restante do condensado e impurezas que não foram totalmente eliminadas no processo de resfriamento, aumentando assim a eficiência do secador, auxiliando o resfriamento do ar comprimido. Já a

instalação do filtro após o secador de ar exerce a função de eliminar a umidade residual e as partículas sólidas (METALPLAN, 2019).

Em todos os processos é comum que o ar que circula na rede de distribuição contém impurezas, contaminantes e umidade. A maior parte dessas impurezas é eliminada no processo de tratamento do ar, mas as partículas menores que não foram retidas nesse processo ficam no interior da canalização e são deslocadas pelo fluxo do ar comprimido, chegando até a alimentação das máquinas pneumáticas, agindo como abrasivos, prejudicando seu funcionamento e impactando de forma negativa no processo. O filtro instalado no ponto de uso é empregado para minimizar esse problema, proporcionando uma melhor qualidade do ar e eliminando de forma significativa as impurezas do ar (CORADI, 2011).

Figura 7: Modelo esquemático de filtro



Fonte: (ATLAS, 2015).

### 2.7.1 Filtros para remover o óleo do ar comprimido

Além de toda aplicabilidade dos filtros, é difícil controlar com precisão a quantidade de óleo remanescente no ar após o processo de filtragem, pois a temperatura, entre outros fatores, tem um impacto significativo no processo de separação. A eficiência do filtro também é afetada pela concentração de óleo no ar comprimido, bem como a quantidade de água livre. Os dados indicados na especificação do filtro se aplicam sempre a uma determinada temperatura do ar, normalmente 21 °C. Essa temperatura corresponde à temperatura aproximada do ar após um compressor resfriado a ar, funcionando a uma temperatura ambiente de 10 °C. Desta forma, mudanças climáticas e sazonais podem causar variações de temperatura, o que, por sua vez, afetarão a capacidade de separação do filtro.



### 2.7.2. Redução de teor de água com um resfriador posterior

O ar comprimido do compressor fica quente após a compressão; geralmente, a uma temperatura entre 70 e 200 °C. Um resfriador posterior é usado para diminuir essa temperatura, o que, por sua vez, também reduz o teor de água. Hoje, este equipamento é frequentemente incluído como equipamento padrão em uma instalação de compressores. O resfriador posterior deve sempre ser instalado diretamente após o compressor. O trocador de calor resfria o ar quente e, em seguida, redireciona a maior parte da água de condensação, que de outra forma entraria no sistema, o mais rapidamente possível. O resfriador posterior pode ser resfriado a água ou a ar, e é geralmente equipado com um separador de água com drenagem automática (ATLAS, 2020).

A maioria das instalações de compressores é equipada com um resfriador posterior, bem como um separador de água, para separar o máximo possível de condensação de água do ar comprimido. Com a escolha correta e o dimensionamento do separador de água, pode-se alcançar uma eficiência de 80-90%. A água restante flui com o ar comprimido como névoa de água para o reservatório de ar (ATLAS, 2020).

## 2.8 Impurezas

Presente em diversos processos as impurezas se apresentam constantemente nos processos pneumáticos, impactando de forma negativa em relação ao processo.

A qualidade do ar comprimido é definida pelas necessidades da indústria, assim como sua vazão e pressão. O ar comprimido contém, em linhas gerais, três tipos de contaminantes, sendo eles;

- a) Partículas sólidas: comuns no ambiente dos compressores e nas paredes internas da tubulação;
- b) Água: contida na umidade do ar ambiente;
- c) Óleo: presente nas partes lubrificadas do compressor e no próprio ambiente.

Fatores para monitoramento da qualidade e perda de carga dos filtros são medidas muito importantes a serem adotadas com relação à filtração do ar. Quando acima do recomendável, prejudica a eficiência da filtração, pode ocasionar rupturas acidentais do meio filtrante e ainda eleva drasticamente o consumo de energia (METAPLAN, 2019).

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como finalidade abordar de forma contundente as melhorias realizadas em uma linha de produção, onde se utiliza energia pneumática como fonte de matriz energética. A presença de condensados e impurezas impactou de forma negativa no processo, fazendo necessário análises para desenvolver melhorias para tal acontecimento. A pesquisa foi realizada em uma indústria do segmento metalúrgico, localizada na cidade de Três Corações – MG. As análises foram realizadas no setor de pintura industrial, de rodas automotivas.

Após coletas de dados e análises *in loco*, os resultados encontrados possibilitaram ao time de engenharia, a utilização de ferramentas a fim de chegar à causa raiz, foram implementados novos equipamentos como filtros, mangueiras e medidores de vazão para um melhor controle, realizando também uma troca de layout de todo o processo da linha pneumática, com o intuito de ofertar mais eficiência e inexistência de impurezas ao processo.

#### 3.1 Materiais e métodos

Com grande aplicabilidade nas industriais, os compressores desenvolvem papéis fundamentais como fonte de energia pneumática, auxiliando em todos os processos, e principalmente nos processo de pintura, setor cujo aprofundaremos para realização de nossa pesquisa.

##### 3.1.1 Compressores

Em nossa pesquisa, a linha de produção analisada, utiliza três compressores GA160-FF, fabricados pela empresa Atlas Copco Airpower.

Figura 8: Compressores



Fonte: O autor.

### 3.2.2 Filtros

Os filtros utilizados também da marca AtlasCopco, são utilizados para evitar a presença de condensados e impurezas na linha, sua utilização deve ser adequada e avaliada com manutenção preventiva para desenvolver seu papel conforme o proposto.

Figura 9: Filtros



Fonte: O autor.

### 3.4 Impactos de parada de linha para manutenção

As cabines de pintura contam com uma equipe de quinze profissionais, todos desenvolvem atividades diretamente e indiretamente relacionados a pintura, como preparação da tinta, preparação dos insumos, ajustes adequados, entre outras prévias que são realizadas antes da pintura e após a pintura, encandeando em nada mais do que uma linha de produção, onde a peça chega de um processo, passa pelo processo de pintura e conseqüentemente da continuidade ao seu processo, até chegar nas docas para embarcação.

Figura 10: Cabine de pintura



Fonte: O autor.

Devido se tratar de um processo complexo, onde conta com um time de colaboradores, qualquer parada de maquina que não seja planejada, acarreta um impacto notável e encarecedor. Toda parada de maquina para manutenção não planejada que ultrapasse o tempo de sete minutos gera uma perda de aproximadamente duzentas unidades de rodas, ou seja, rodas que serão refugadas, devido a parada da linha, os lotes de rodas geralmente já se encontram nos fornos. O mesmo reflexo acontece com as rodas que já foram pintadas e vão para a secagem no forno, ultrapassando seu limite máximo e causando danos as peças, o que as tornam como refugo.

Quando há necessidade de manutenção nos filtros ou nos compressores, e essa atividade não foi planejada, os danos impactam de forma negativa na indústria, acarretando

diversos prejuízos, acumulando também homem-hora desfavorável, devido se contar com quinze colaboradores, ambos permaneceram ociosos até o fim das atividades de manutenção.

#### 3.4.1 Frequência e tempo de máquina parado para manutenção em filtros e compressores

As manutenções periódicas são realizadas pela empresa autorizada da marca fabricante dos compressores e filtros, AtlasCopco. A realização das manutenções em filtros ocorre de quinze em quinze dias.

Os processos mais utilizados nas manutenções periódicas são;

- a) Sangria do condensado:
- b) Limpeza dos purgadores:

Diferente dos filtros, os compressores não passam por manutenções periódicas, devido se tratar de apenas três compressores no processo de pintura, onde um trabalha em carga máxima, o segundo trabalha com alívio de pressão, realizando as atividades em média de 50% de sua capacidade e o terceiro fica em sobressalente, caso haja a necessidade de substituição.

### 3.5 Tomadas de decisão para troca de layout

Para toda tomada de decisão deve se avaliar os pontos que fazem necessário a mudança, todos os impactos causados até o momento e todos os encargos que serão contemplados com as mudanças.

Para realização da mudança de *layout*, foram abordados todos os custos como reparos para as pistolas, toda parada de máquina devido o entupimento causado pelos condensados, todas as impurezas que estavam presentes no processo, e por se tratar de um processo onde todo grau de higienização se faz necessário, as impurezas acarretadas pelos condensados dos filtros, danificavam e acumulavam atrasos frequentes na produção.

Figura 11: Impurezas em pistolas



Fonte: O autor.

### 3.6 Processos para alteração de layout

Após diversas análises, reuniões e vistorias no processo da linha pneumática que alimenta o setor das cabines de pintura, foram abordadas as devidas deficiências que impactavam no produto final. A passagem de condensados e diversas outras impurezas são rotineiras nos processos, mas, devem ser filtradas adequadamente antes de chegarem nas pistolas para a ativação da pintura, mas, todavia, nem sempre o processo é realizado conforme planejado. Analisando as coletas de dados, foi possível observar que uma alteração de layout, resolveria consideravelmente o problema, com a implementação de novos filtros.

Com a elaboração do projeto, foi necessário o planejamento de produção avaliar o cenário e agendar uma parada programada geral, onde foram utilizados seis dias de atividades para efetuar todas as modificações necessárias para o novo sistema pneumático, agora trabalhando de forma correta, e sem manutenções corretivas não planejadas conforme anteriormente.

Figura 12: Interior da cabine de pintura após alteração



Fonte: O autor.

### 3.7 Melhorias no processo

Em toda implementação de novos projetos, deve se utilizar ferramentas que impactam satisfatoriamente no processo, disponibilizando recursos para assegurar a confiabilidade do projeto. Em nossa análise, após a troca dos filtros e toda a alteração de layout, foi solicitado e aprovado pela gerencia local, bancadas para realização de manutenções nas pistolas operacionais, item de grande importância para as cabines de pintura, e que anteriormente geravam ordens de serviços constantemente.

Do reservatório de ar comprimido até o abastecimento das pistolas operacionais de pintura, é necessário que o fluido trace toda uma trajetória do seu ponto de partida até seu ponto que antecede a adição de tinta ao produto final. Desta forma, a contaminação e as impurezas que antes existiam no processo eram todas direcionadas para a reta final do processo e como consequência causava danos aos filtros e principalmente aos bicos impulsor das pistolas, causando entupimentos, contaminação com a tinta, retrabalho

juntamente a refugos, e parada de linha de produção, devido ao entupimento e a necessidade de manutenção nos bicos.

Atualmente os danos são menores e o nível de impurezas, inferiores, devido as alterações de layout dos filtros, que conseguem desenvolverem trabalhos mais precisos. Mas, mesmo de forma reduzida, a contaminação ainda existe no processo, e para tal situação, foram fornecidas bancadas que realizam análise das pistolas e de seus bicos dispersores, onde são realizadas manutenções preventivas, eliminando qualquer risco de parada de manutenção ou danos ao produto final.



#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como citado anteriormente, as melhorias realizadas no setor de pintura da empresa, impactaram de forma positiva, quanto no processo, quanto financeiramente. Após a alteração no *layout* da empresa, foram coletados os dados para realização das comparações referentes às manutenções dos filtros, compressores, pistolas entre outros equipamentos vinculados ao processo. Com a instalação de novas bancadas para análise das pistolas, nota-se que a análise se tornou mais precisa e agregou de forma satisfatória no processo, devido seu nível de confiabilidade.

Devido as impurezas no processo da rede de distribuição, os elementos filtrantes antes da alteração do layout eram trocados a cada noventa dias, onde havia despesas com materiais, insumos e mão de obra.

Tabela 1: Custo trimestral de componentes antes da alteração de layout

Mês/Ano	Despesas para troca de elementos filtrantes	Despesas com insumos	Despesas com mão de obra	Valor final
jun/19	R\$ 4.200,00	R\$ 672,35	R\$ 433,00	R\$ 5.305,35
set/19	R\$ 4.240,00	R\$ 588,23	R\$ 546,70	R\$ 5.334,93
dez/19	R\$ 4.441,30	R\$ 701,32	R\$ 678,99	R\$ 5.821,61
mar/20	R\$ 5.230,23	R\$ 777,00	R\$ 722,00	R\$ 6.729,23

Fonte: (Sistema corporativo operacional, 2019 - 2020).

Atualmente, com as melhorias que foram adaptadas no sistema, a contaminação reduziu, e consequentemente o custo fixo de manutenção, prolongando a troca de filtros de noventa, para cento e oitenta dias. Após as melhorias, obteve-se uma qualidade melhor de ar comprimido, com quantidades inferiores de impurezas, diminuindo as manutenções nos equipamentos de toda linha de distribuição, contribuindo para um prazo maior referente a troca dos inferiorizando as despesas do processo.

Mês/Ano	Despesas para troca de elementos filtrantes	Despesas com insumos	Despesas com mão de obra	Valor final
set/20	5.467,00	R\$ 833,35	R\$ 563,00	6.863,35
mar/21	Previsão			
set/21	Previsão			

Fonte: (Sistema corporativo operacional, 2020).

É notório que a redução de custos após as melhorias na rede de alimentação foram de impacto positivo, reduzindo a troca de elementos de noventa para cento e oitenta dias, aumentando desta forma a durabilidade dos filtros e a produção contínua. A manutenção que antes era programa para trimestral, atualmente é programada como semestral, eliminando encargos no processo.

Em relação ao *payback* referente a manutenção e troca de layout mostra o quanto foi eficiente a troca dos filtros e todas as melhorias realizadas, é possível avaliar que para o setor de pintura, o projeto de melhoria da rede de distribuição de ar somente agregou de forma positiva, colaboradores atualmente realizam trabalhos produtivos com tempo minimizados. Já para o setor de manutenção, o numero de ordem de serviço (OS), destinados ao setor de cabine de pintura, reduziu drasticamente, reduzindo assim o custo mensal de hora – homem gasto com manutenção no setor, envolvendo troca de filtros, manutenção com pistolas e compressores.

## 5 CONCLUSÃO

Em virtude dos dados citados, este trabalho reuniu informações a respeito da utilização de ferramentas de análise de engenharia para avaliação de uma rede de distribuição de ar comprimido, considerada como matriz energética do setor de cabine de pintura onde foram desenvolvidos os estudos de melhoria conforme citados anteriormente.

Foram enfatizados a troca de layout ocorrida no setor e todos os pontos que devem ser avaliados em uma rede de ar comprimido, abordando os impactos financeiros e produtivos que utilização inadequada e a falta de manutenção preventiva significam no cotidiano de um setor com acontecimentos como refugo de peças, parada de linha de produção, retrabalho e custos com manutenção. Com as análises realizadas e com a implementação do projeto da troca de layout no setor, foi possível minimizar todos os itens que impactavam de forma negativa no processo.

Financeiramente, a economia gerada após as trocas de layout impactou de forma positiva na corporação, conseguindo em um prazo de oito meses, o *payback* referente a todas as alterações que foram realizadas, entre todos os pontos positivos referente a economia, a melhoria no cotidiano da empresa melhorou de forma satisfatória, reduzindo todas as perdas que eram geradas anteriormente na empresa.

## REFERENCIAS

ATLAS COPCO AIRPOWER NV, **Compressed Air Manual** 8 ed. Bélgica, 2015.  
Disponível em: < <https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/local-countries/thailand/documents/compressed-air-manual-8th-edition-ac.pdf>.> Acesso em: 4 ago.2020.

BORTOLIN, Eduardo. **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO PARA UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE**. 2020. 127 f. Tese (Doutorado) – Doutorado em Engenharia Mecânica, Fator Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014. Disponível em:  
<[https://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Eduardo\\_Bortolin.pdf](https://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Eduardo_Bortolin.pdf)>. Acesso em: 30 set.2020

CORADI, Fernando Emílio. **Análise Energética e Econômica na Rede de Distribuição de Ar de uma Indústria de Autopeças**. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia, Departamento de Ciências Térmicas e Fluidos, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2011. <Disponível em:  
[https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2009/Fernando\\_Coradi.pdf](https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2009/Fernando_Coradi.pdf)> Acesso em 13 out 2020.

FIALHO, A. B. **Automação pneumática: Projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 7. ed. São Paulo: Érica, 2011.

JESUS, C. S. A. D. **Otimização energética em uma unidade industrial** – O caso da Cerutil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica / Energia e Automação Industrial) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, 2012.  
Disponível em: <<https://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/1604>>. Acesso em 28 ago.2020.

LIMA, F. A, CASTILHO. J. C. N. **Conceitos de manutenção**. São Bernardo do Campo, São Paulo, 2016. Disponível em: < [http://fga.unb.br/articles/0001/9405/TCC\\_FGA.pdf](http://fga.unb.br/articles/0001/9405/TCC_FGA.pdf)>. Acesso em 15 ago.2020.

METAPLAN (Brasil). **A importância dos filtros no sistema de ar comprimido**. 2019.  
Disponível em: < <https://metalplan.com.br/a-importancia-dos-filtros-no-sistema-de-ar-comprimido> >. Acesso em: 21 set. 2020.

PARKER TRAINING. **Dimensionamento de redes de ar comprimido**. Jacareí, 2006.  
Apostila M1004 BR. Disponível em:  
<[https://www.academia.edu/36321064/Parker\\_dimensionamento\\_de\\_redes\\_de\\_ar\\_comprimido](https://www.academia.edu/36321064/Parker_dimensionamento_de_redes_de_ar_comprimido)> .Acesso em 12 ago. 2020

PILLIS, Joseph. Compressores parafuso. 2001 Disponíveis em:<[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7472/1/PG\\_DAMEC\\_2013\\_1\\_01.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7472/1/PG_DAMEC_2013_1_01.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2020.

ROCHA, Newton Ribeiro. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005

SANTOS, Guilherme Souza. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE FINOS DOS PRECIPITADORES**. 2020. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia, Universidade Federal de São João Del-Re, São João del Rei, 2016. Cap. 3. Disponível em: < <https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2013/Guilherme%20Souza%20Santos.pdf>>. Acesso em 24 ago.2020.