

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Saulo Silva de Aguiar

**ESTUDO DO MONITORAMENTO DE SISTEMA DE AR
COMPRIMIDO INDUSTRIAL PARA EVITAR CONTAMINAÇÃO
POR CONDENSADOS**

Taubaté – SP

2020

Saulo Silva de Aguiar

**ESTUDO DO MONITORAMENTO DE SISTEMA DE AR
COMPRIMIDO INDUSTRIAL PARA EVITAR CONTAMINAÇÃO
POR CONDENSADOS**

Monografia apresentada para obtenção do Título de Especialista pelo Curso de Pós-graduação em Gestão de Processos Industriais do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia, Produção e Construção.

Orientador: Prof. Me. Dawilmar Guimarães Araújo

Taubaté – SP

2020

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

A282e Aguiar, Saulo Silva de
Estudo do monitoramento de sistema de ar comprimido industrial para evitar contaminação por condensados / Saulo Silva de Aguiar. -- 2020.
50 f. : il.

Monografia (especialização) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2020.
Orientação: Prof. Me. Dawilmar Guimarães Araújo, Departamento de Pesquisa e Pós-graduação.

1. Ar comprimido na indústria. 2. Automação da produção.
3. Contaminação do ar por condensados. I. Especialização em Gestão de Processos Industriais. II. Título.

CDD – 621.51

SAULO SILVA DE AGUIAR

**ESTUDO DO MONITORAMENTO DE SISTEMA DE AR COMPRIMIDO INDUSTRIAL
PARA EVITAR CONTAMINAÇÃO POR CONDENSADOS**

Monografia apresentada para obtenção do Título de Especialista pelo Curso de Pós-graduação em Gestão de Processos Industriais do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Engenharia, Produção e Construção.

Orientador: Prof. Me. Dawilmar Guimarães Araújo

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Dawilmar Guimarães Araújo

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Me. Marcus Vinicius Souza Dias

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Roque Antônio de Moura

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Me. Dawilmar Guimarães Araújo, por disponibilizar parte do seu tempo, paciência e habilidade com que orientou este trabalho.

Aos meus pais, que nunca mediram esforços e recursos para minha formação pessoal e profissional.

Em especial à minha esposa, por estar ao meu lado em todos os momentos.

Também agradeço à Universidade de Taubaté e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

AGUIAR, S. S. **ESTUDO DO MONITORAMENTO DE SISTEMA DE AR COMPRIMIDO INDUSTRIAL PARA EVITAR CONTAMINAÇÃO POR CONDENSADOS.** 2020. 50f. Monografia de Especialização em Gestão de Processos Industriais. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté.

RESUMO

O objetivo dessa monografia é propor, utilizando o conceito de automação da produção, um modelo de sistema de monitoramento da instalação de ar comprimido industrial. Buscou-se apresentar as soluções tecnológicas encontradas para sua implementação, os dispositivos adotados para coleta de sinais, a estrutura lógica por trás do sistema, quais equipamentos serão monitorados e de que forma, além de apresentar um custo estimado para execução do projeto. Para tanto, levantou-se uma breve revisão de literatura sobre os conceitos de pneumática e sobre a aplicação de sistemas pneumáticos na indústria. Os métodos utilizados foram pesquisa bibliográfica, documental, e o estudo de caso único com abordagem qualitativa. Os resultados obtidos mostraram as circunstâncias e as perdas relacionadas a esse tipo de ocorrência, os prejuízos causados pela contaminação do sistema por condensados, assim como o impacto causado, tanto financeiro, quanto para a imagem da marca, além das práticas, rotinas e procedimentos dos processos analisados e modificados. Concluiu-se que o modelo proposto, se implementado, irá verificar o funcionamento dos equipamentos, analisando se há algum problema, e fornecer alertas e dados para a tomada de decisão.

Palavras-chave: Monitoramento da instalação de ar comprimido na indústria; Automação da produção; Contaminação do ar por condensados

AGUIAR, S. S. **STUDY OF INDUSTRIAL COMPRESSED AIR SYSTEM MONITORING TO AVOID CONDENSED CONTAMINATION.** 2020. 50p. Specialization Monograph in Industrial Process Management. Department of Mechanical Engineering, University of Taubaté, Taubaté.

ABSTRACT

The objective of this monograph is to propose, using the concept of production automation, a model for monitoring the installation of compressed air in the industry. As well as presenting the technological solutions found for its implementation, the devices adopted for signal collection, the structure logic behind the system, which equipment will be monitored and in what way, in addition to presenting an estimated cost for project execution. It shows the damages caused by the contamination of the system by condensates, in addition to the practices, routines and procedures of the analyzed and modified processes. It also brings a brief literature review on the concepts of pneumatics and on the application of pneumatic systems in the industry. The methods used were bibliographic, documentary research, and a single case study with a qualitative approach. The results obtained showed the circumstances and losses related to this type of occurrence, as well as the impact caused, both financially and for the brand image. It is concluded that the proposed model, if implemented, will verify the functioning of the equipment, analyzing if there are any problems, and providing alerts and data for decision making.

Keywords: Industrial compressed air system monitoring; Production automation; Contamination of air by condensates.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Máquina automatizada com pneumática	12
Figura 2: Equipamentos pneumáticos	16
Figura 3: Partes de uma instalação pneumática	17
Figura 4: Tipos de compressores e suas partes	19
Figura 5: Problema na instalação de ar comprimido	25
Figura 6: Filtro de ar contaminado com água	26
Figura 7: Componentes de um filtro de ar comprimido	27
Figura 8: Componentes de um cilindro pneumático	27
Figura 9: Pistola de ar comprimido expelindo água	28
Figura 10: Danos sofridos na linha pneumática	30
Figura 11: Oxidação causada por umidade	30
Figura 12: Filtro da tubulação de ar com água	31
Figura 13: Pulmão de ar e ramais de distribuição	32
Figura 14: Dreno automático na base do pulmão	32
Figura 15: Timer eletrônico do dreno automático	33
Figura 16: Sistema de drenagem automática	33
Figura 17: Compressor de ar com mensagem de erro	34
Figura 18: Temperatura do equipamento	35
Figura 19: Janelas para melhorar a circulação de ar	35
Figura 20: Isolantes térmicos sobre os dutos de ar	36
Figura 21: Pontos de monitoramento do sistema	37
Figura 22: Termo-higrômetro	38
Figura 23: Relé eletromecânico	39
Figura 24: Sistema de alerta de queda de pressão	40
Figura 25: Sonda de ponto de orvalho	41
Figura 26: Painel elétrico com CLP	42
Figura 27: Comunicação entre CLP e equipamentos	44
Figura 28: Monitoramento remoto da instalação de ar	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de sensores	20
Quadro 2: Salários de montador por estado	29
Quadro 3: Salários de eletricista de manutenção industrial por estado	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema de Pesquisa	13
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivos Específicos	13
1.3 Objeto de Pesquisa	13
1.4 Delimitação	14
1.5 Limitações da Pesquisa	14
1.6 Hipóteses	14
1.7 Justificativa	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 A Pneumática	16
2.2 Ar Comprimido	16
2.3 Sistemas Pneumáticos	17
2.4 Compressores de Ar	18
2.5 Atuador Pneumático	19
2.6 Secador de Ar Comprimido	19
2.7 Sensores	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS (METODOLOGIA DE PESQUISA)	22
3.1 Natureza	22
3.2 Objeto	22
3.3 Abordagem	22
3.4 Procedimento: Estudo de Caso	23
4 DESENVOLVIMENTO	24
4.1 Análise do Problema	24
4.2 Equipamentos Afetados pela Contaminação do Ar Comprimido	26
4.3 Levantamento das Perdas	28
4.4 Verificação da Instalação de Ar Comprimido	31
4.5 Análise da Causa na Falha do Secador de Ar	34

4.6 Melhorias na Sala de Compressores	35
4.7 Proposta para o Monitoramento da Instalação de Ar Comprimido	36
4.7.1 Equipamentos que devem ser Monitorados	37
4.7.2 Soluções Propostas para Implantação do Sistema de Monitoramento	38
4.7.3 Estrutura de Controle dos Equipamentos e Alertas de Anomalias	43
4.7.4 Custo Estimado para Execução do Projeto	45
4.7.5 Cálculo do ROI do Projeto	46
5 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente produção industrial, a pneumática tem a tendência de se desenvolver tecnologicamente e os compressores de ar tem um grande papel nesse desenvolvimento.

Na indústria é utilizado principalmente ar atmosférico comprimido por um compressor, portanto, uma instalação de ar comprimido se aplica na indústria em geral e tem a função de conduzir o ar comprimido produzido pelo dispositivo de compressão até as máquinas e equipamentos na linha de produção, que o utilizará para criação de movimentos mecânicos lineares, angulares e rotativos (MTIBRASIL, 2020).

Normalmente, a pneumática é uma opção mais barata, mais flexível e segura do que uma alternativa elétrica ou hidráulica. O uso de ar comprimido, assim como de eletricidade, água ou gás é muito comum em aplicações de automações na indústria. Ele tem várias vantagens e por isso é muito usado em aplicações que precisam de um movimento na automação industrial. Dentre as vantagens de uma solução com uso de pneumática para automação industrial estão a simplicidade, o custo e a confiabilidade (MTIBRASIL, 2020).

A Figura 1 ilustra um exemplo de máquina para produção de um determinado item, totalmente automatizada com pneumática:



Figura 1: Máquina automatizada com pneumática

Fonte: MTIBRASIL, 2020

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Essa pesquisa estuda os impactos causados pela contaminação do sistema de distribuição de ar comprimido por condensados em uma fábrica do ramo de manufatura de eletroeletrônicos, bem como seus efeitos no curto e longo prazo, na planta fabril e nos consumidores.

1.2 OBJETIVOS

O desafio do estudo está em evitar paradas de produção inesperadas e quebra de máquinas e equipamentos devido à contaminação do sistema de geração e distribuição de ar comprimido por condensados.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os equipamentos afetados pela contaminação;
- Identificar a causa do problema;
- Levantar as perdas no processo de trabalho de produção;
- Evitar a recorrência do problema e suas perdas.

1.3 OBJETO DE PESQUISA

Apresentar um modelo de sistema de monitoramento que permita controlar a interação entre os diversos dispositivos da instalação de ar comprimido evitando a contaminação por condensados em caso de falha de algum deles.

1.4 DELIMITAÇÃO

A automação da produção utiliza várias ferramentas e técnicas para o aumento da produtividade e redução de desperdícios. Dentre as ferramentas utilizadas, o presente estudo aborda, de forma específica, a automação pneumática e o monitoramento desse sistema para redução de perdas das máquinas, de matéria-prima e energia.

1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa limitou-se ao estudo de uma empresa de manufatura do ramo de eletroeletrônicos localizada no estado de São Paulo, na região do Vale do Paraíba, especificamente de uma parada da sua linha de montagem final, devido à contaminação do sistema de distribuição de ar comprimido por condensados.

1.6 HIPÓTESES

O sistema de monitoramento irá verificar o estado de funcionamento dos equipamentos pneumáticos, fornecendo alertas e dados para a tomada de decisão em tempo real caso algum deles apresente alguma anomalia ou seja desconectado do sistema.

1.7 JUSTIFICATIVA

Nas empresas onde a automatização dos processos de trabalho é feita através de uma instalação de ar comprimido e máquinas pneumáticas, o monitoramento desse sistema torna-se parte fundamental do processo de compressão e distribuição do ar

comprimido, tendo em vista que o ar não sai seco do compressor. A condensação da água é uma ocorrência natural e um subproduto da conversão do ar atmosférico em ar comprimido e caso haja qualquer problema no secador de ar, uma quantidade significativa de condensados poderá chegar até as máquinas pneumáticas causando quebras de equipamentos, atrasos no processo de trabalho, além de problemas de qualidade no produto produzido.

Com a realização desta pesquisa, em confirmando a hipótese da implantação de um sistema de vigilância, os problemas apresentados na instalação de ar comprimido na indústria poderão ser rapidamente identificados, suas causas corrigidas e os impactos e perdas reduzidas significativamente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A PNEUMÁTICA

O termo pneumática é originário da palavra grega pneumáticos, cujo significado pode ser definido como fôlego da alma, e foi atribuído, de uma forma geral, ao uso de gás pressurizado na ciência e tecnologia, bem como ao conjunto das aplicações que utilizam a energia armazenada e transmitida pelo ar comprimido, podendo realizar acionamentos lineares ou rotativos através da utilização de atuadores (BOLLMANN, 1997).

Na Figura 2, são mostrados alguns exemplos de equipamentos pneumáticos e suas aplicações na indústria em geral:



Figura 2: Equipamentos pneumáticos

Fonte: CETRO, 2019

2.2 AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é uma forma de energia na qual o ar atmosférico é mecanicamente pressurizado se tornando apto a realizar uma determinada tarefa. Sua produção é, basicamente, o processo de conversão de energia, no qual a energia

elétrica é convertida pelo motor em energia mecânica, que aciona o compressor, e este converte em energia potencial em forma de pressão pela compressão termodinâmica do ar atmosférico (MONTEIRO, 2005).

2.3 SISTEMAS PNEUMÁTICOS

Os sistemas pneumáticos estão presentes em vários segmentos do mercado, sendo utilizados amplamente na indústria devido ao seu baixo custo, segurança e versatilidade em aplicações de processo. Por essa razão, os equipamentos que produzem, distribuem e utilizam ar comprimido são essenciais (SCHLÜTER, 2018).

Basicamente, uma instalação pneumática pode ser dividida em três partes principais, conforme a figura abaixo:



Figura 3: Partes de uma instalação pneumática

Fonte: MTIBRASIL, 2020

Segundo Santos (2006), quanto aos usos, o ar comprimido pode ser classificado em:

- a) **Equipamentos a pressão de ar:** para encher pneus e câmaras, acionar embreagens e freios, comandos à distância, etc.;
- b) **Equipamentos de jato livre:** são os resfriadores e aquecedores, ejetores e aspiradores, transportadores de pós, jateadores, pulverizadores, bicos de limpeza, entre outros;

- c) **Equipamentos de percussão:** martelotes, prensas das forjarias, perfuratrizes de rocha, bate-estacas, vibradores, etc.;
- d) **Motores a ar comprimido:** de pistões, de palhetas, de engrenagens, etc.;
- e) **Máquinas e ferramentas fixas ou portáteis:** empregadas em linhas de produção e oficinas;
- f) **Automação de operações industriais:** sensores, atuadores, controles e processos.

2.4 COMPRESSORES DE AR

Segundo Rollins (1989), os compressores são divididos em volumétricos e dinâmicos, por princípio de funcionamento, e possuem ciclos de trabalhos que variam com o tipo de máquina. Os compressores volumétricos atingem altas pressões (faixa entre 6,9 e 6.900 Bar) e baixas e médias vazões (até 283 m³/min), enquanto os compressores dinâmicos trabalham em baixas e médias pressões (máximo de 690 Bar) e grandes vazões (ordem de 28.300 m³/min).

Os tipos mais comuns de compressores são os de parafusos e de pistão. Os compressores dinâmicos realizam o processo de compressão pela transformação direta da energia cinética das partículas do fluido para energia pneumática. Os compressores volumétricos realizam o processo de compressão pela diminuição do volume do fluido, aumentando a pressão (HAHN, 2004).

O compressor de parafuso têm duas hélices (parafusos) móveis que fazem a compressão contínua do ar. Como não há contato direto entre elas, tem um funcionamento com menos possibilidade de falhas. Já o compressor de pistão tem várias partes móveis, como o pistão, virabrequim e válvulas, que fazem a compressão do ar através dos movimentos dos pistões. O contato entre essas partes causam mais desgaste e maior chance de falhas (MTIBRASIL, 2020).

A Figura 4 ilustra o funcionamento dos compressores de parafuso e de pistão:

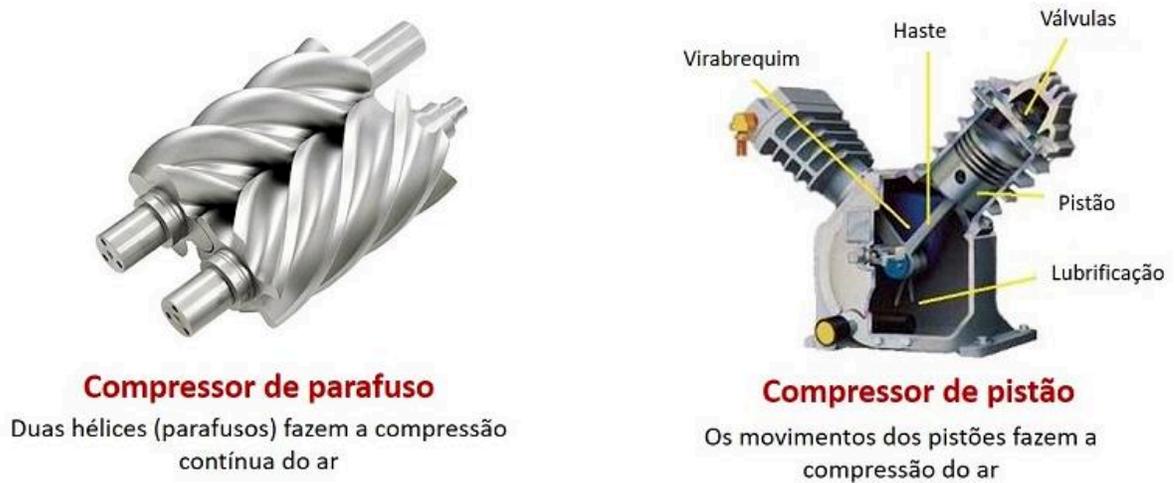


Figura 4: Tipos de compressores e suas partes

Fonte: MTIBRASIL, 2020

2.5 ATUADOR PNEUMÁTICO

O atuador pneumático é o componente mecânico responsável pela transformação da energia pneumática em energia cinética gerada pelo ar pressurizado e em expansão para executar algum tipo de trabalho, seja por movimentos rotativos ou lineares (FIALHO, 2004).

Para o funcionamento adequado do atuador são necessários compressores, com a finalidade de fornecer o ar comprimido; instalação de unidade de preparação (filtro e regulador de pressão); e válvulas direcionais (ROMANO; DUTRA, 2002).

2.6 SECADOR DE AR COMPRIMIDO

Segundo Alciatore e Histan (2014), após o compressor liberar o ar comprimido para o sistema pneumático, o excesso de umidade são removidos do ar com o auxílio de uma unidade de tratamento.

Os secadores são itens indispensáveis a qualquer sistema de ar, bem como os drenos e os filtros de impurezas, pois o ar que fica retido nas tubulações está sujeito a possíveis diferenças de temperatura, principalmente durante o período do inverno, podendo ocasionar a presença de pequena condensação indesejada ao sistema e que deve ser eliminada (FIALHO, 2014).

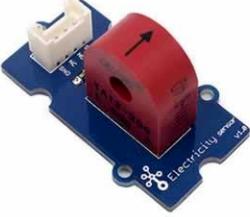
2.7 SENSORES

Expressão empregada para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informação sobre uma grandeza que precisa ser medida, como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc. (THOMAZINI, 2011).

Em termos básicos, o sensor é um dispositivo que faz a detecção e responde com eficiência a algumas entradas provenientes de um ambiente físico. Assim, quando um sensor recebe uma entrada específica proveniente do ambiente, ele emite um sinal de saída que pode ser convertido e interpretado por outros dispositivos como um CLP ou uma IHM, que é capaz de mostrar esta informação em uma tela (SILVEIRA, 2020).

O Quadro 1 mostra os diferentes tipos de detecção e diferentes sinais que podem ser gerados:

Sensor	Estímulo	Sinal
	Acústico	Onda (amplitude, fase, polarização), espectro e velocidade de onda.

	Elétrico	Carregamento, corrente, tensão, permissividade e condutividade.
	Magnético	Campo magnético, fluxo magnético e permeabilidade.
	Óptico	Onda (amplitude, fase, polarização), velocidade de onda, índice de refração, emissividade, absorção e refletividade.
	Térmico	Temperatura, fluxo, calor específico e condutividade térmica.
	Mecânico	Posição (linear, angular), aceleração, força, massa, densidade, momento, torque e orientação.

Quadro 1: Tipos de sensores

Fonte: SILVEIRA, 2020

3. MATERIAIS E MÉTODOS (METODOLOGIA DE PESQUISA)

3.1 NATUREZA

A monografia em questão teve como natureza a exploração de uma pesquisa aplicada, objetivando levantar os requisitos técnicos necessários para aplicação prática dirigida à solução de um problema específico, bem como mostrar suas causas e as ações necessárias para evitá-lo.

3.2 OBJETO

Este trabalho apresenta uma pesquisa exploratória detalhando um problema específico ocorrido na instalação de ar comprimido e seus impactos numa linha de montagem, bem como mostrar as soluções encontradas e propor um modelo de sistema de monitoramento que permita controlar a interação entre os diversos dispositivos da instalação, além de fornecer informações técnicas para seu o gestor.

3.3 ABORDAGEM

Essa pesquisa teve uma abordagem qualitativa, pois relaciona, essencialmente, o tempo de linha parada e o custo com a manutenção de máquinas e equipamentos, ao problema ocorrido no sistema de distribuição de ar comprimido da empresa, além dos problemas relacionados à qualidade do produto e seus impactos no cliente final.

3.4 PROCEDIMENTO: ESTUDO DE CASO

Nesse estudo de caso serão apresentados os prejuízos causados pela contaminação da instalação de ar comprimido e sua rede de distribuição por condensados, as práticas, rotinas e procedimentos dos processos analisados, bem como elencar as soluções tecnológicas encontradas para corrigir e prevenir esse tipo de ocorrência.

4. DESENVOLVIMENTO

Este estudo de caso se deu dentro de uma empresa multinacional, do setor de eletroeletrônicos, situada no Vale do Paraíba, estado de São Paulo, especificamente na sua linha de montagem final e na sua instalação de ar comprimido e rede de distribuição.

Por questões de sigilo o nome da empresa será mantido oculto e o processo de produção analisado dentro da planta fabril será apresentado de maneira macro e simplesmente denominado processo de trabalho.

4.1 ANÁLISE DO PROBLEMA

Inicialmente verificou-se a presença de água em alguns filtros instalados nas entradas de ar das máquinas e, posteriormente, a saturação desses equipamentos causando a parada das máquinas pneumáticas.

Para fazer a descontaminação do sistema foi necessário parar a linha de produção, drenar a água presente no reservatório dos filtros e, nos piores casos, trocar o elemento filtrante saturado e peças do sistema pneumático da máquina danificada pela água, o que impactou diretamente a produtividade da empresa e os custos com manutenção corretiva.

Partindo do problema encontrado foi realizada uma verificação completa da instalação de ar comprimido, e do sistema de distribuição até as linhas de produção para elencar as possíveis causas da presença de água no sistema.

A figura a seguir ilustra o problema ocorrido na instalação de ar comprimido. Após o secador de ar desligar, houve um acúmulo de condensados no sistema de distribuição causando a saturação dos filtros e, posteriormente, a quebra da máquina.

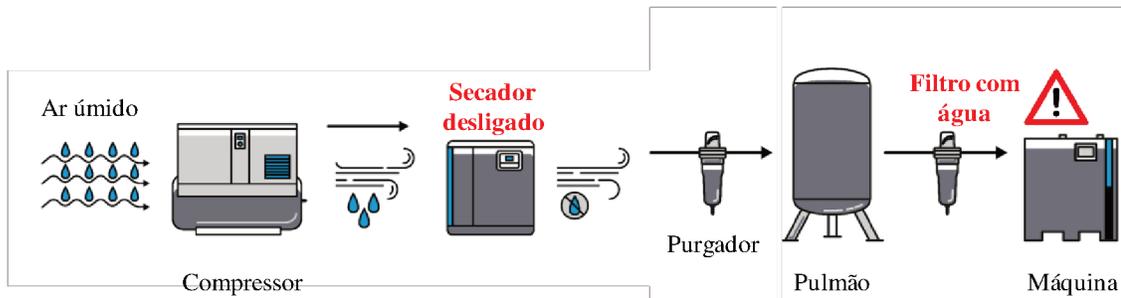


Figura 5: Problema na instalação de ar comprimido

Fonte: elaborado pelo autor

Após encontrar o problema em um secador de ar, o passo seguinte foi analisar, mais profundamente, as causas e quais ações deveriam ser tomadas para evitar esse problema.

Durante a pesquisa foram analisadas as seguintes perguntas:

- a) **Por que há água saindo do sistema de compressores?** A condensação da água é uma ocorrência natural e um subproduto da compressão do ar;
- b) **Como monitorar uma instalação de ar comprimido?** O sistema de monitoramento deve verificar o funcionamento dos equipamentos analisando se há algum problema e fornecer alertas e dados para a tomada de decisão da equipe de manutenção;
- c) **Quais equipamentos devem ser monitorados?** Um sistema básico de monitoramento deverá verificar a temperatura e umidade do ar, o estado de funcionamento dos compressores, dos secadores, dos drenos, do pulmão de ar, além de verificar se há umidade no sistema de distribuição ou nos filtros;
- d) **Quais soluções podem ser usadas na implantação do monitoramento?** A automação permite o uso de diversos componentes como dispositivos de acionamento, termo-higrômetros, sensores, comparadores ou elementos de decisão e programas que permitirão controlar as interações entre os diversos componentes do sistema.

4.2 EQUIPAMENTOS AFETADOS PELA CONTAMINAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

O ar atmosférico, que é admitido pelo compressor de ar, contém várias impurezas como particulados e poeira, além de elementos como o vapor e gotículas de água. Mesmo que ao passar por um filtro primário no próprio compressor na admissão, apenas as partículas sólidas são bloqueadas.

Na compressão há uma considerável elevação da temperatura do ar, que pode variar de 80°C a 180°C. Da saída do compressor, o ar passa por um trocador de calor para seu resfriamento. Esse resfriamento reduz a temperatura do ar comprimido proveniente da descarga do compressor para valores entre 10°C e 15°C acima da temperatura do ambiente, facilitando a geração e precipitação de condensados.

Seguindo sua rota, o fluxo de ar vai para o reservatório, também chamado de pulmão, onde é armazenado. No reservatório se precipita grande parte da umidade contida no ar comprimido. Nessa etapa, o ar está industrialmente seco e resfriado, e vai passar pela filtragem final, para que sejam eliminadas as impurezas restantes antes que o ar seja fornecido à rede de distribuição.

No entanto, verificou-se a presença de água nos filtros instalados nas entradas de ar das máquinas pneumáticas (Figura 6) e também sendo expelida através das pistolas de ar comprimido. Como consequência, as linhas de produção tiveram de ser paradas para descontaminação do sistema de ar comprimido.



Figura 6: Filtro de ar contaminado com água

Fonte: elaborado pelo autor

Os filtros de ar comprimido instalados nas máquinas são projetados para garantir a purificação do ar eliminando o vapor de óleo, água e micropartículas sólidas que vêm dos compressores.

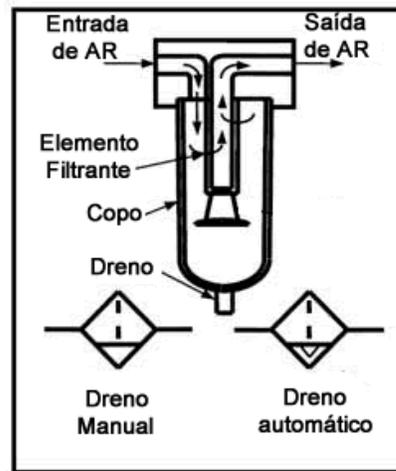


Figura 7: Componentes de um filtro de ar comprimido

Fonte: SILVEIRA, 2019

Entretanto, a água em excesso pode saturar o elemento filtrante e chegar até os pistões e cilindros pneumáticos das máquinas, danificando esses dispositivos. Essa contaminação poderá rapidamente danificar os anéis de vedações do cilindro e causar vazamentos internos, além de danificar a camisa do cilindro ou o acabamento da haste.

Partes de um cilindro pneumático



Figura 8: Componentes de um cilindro pneumático

Fonte: MTIBRASIL, 2020

As pistolas de ar comprimido são utilizadas para limpeza das placas eletrônicas antes da montagem final e também após o reparo, a fim de remover partículas sólidas que possam causar defeito no produto final. Mas, se houver contaminação do sistema de distribuição por condensados, esse equipamento poderá jatear vapores de água ou óleo diretamente sobre as placas de circuito impresso e seus componentes eletrônicos.

Na Figura 9, é possível observar gotículas de água sendo expelidas por uma pistola de ar de uma estação de reparo de placas após a detecção da contaminação do sistema por condensados:



Figura 9: Pistola de ar comprimido expelindo água

Fonte: elaborado pelo autor

4.3 LEVANTAMENTO DAS PERDAS

Após parar as linhas de produção do setor de montagem final, foram necessárias cerca de duas horas para drenagem da água e descontaminação do sistema de ar comprimido. Nesse período, cerca de 40 montadores pararam seu processo de trabalho, deixando de produzir aproximadamente quatro mil unidades de um determinado produto.

Para calcular o custo da mão de obra usaremos o salário/hora de um montador no estado de São Paulo, conforme mostrado no Quadro 2:

UF	Jornada	Piso Salarial	Média Salarial	Teto Salarial	Salário/Hora	Total
São Paulo	44	1.638,22	1.794,94	2.712,56	8,18	767
Rio de Janeiro	44	1.544,85	1.692,64	2.557,97	7,72	263
Minas Gerais	44	1.313,70	1.439,37	2.175,22	6,57	217
Rio Grande do Sul	44	1.556,76	1.705,68	2.577,68	7,82	169
Paraná	44	1.523,98	1.669,77	2.523,40	7,62	149
Santa Catarina	44	1.640,03	1.796,92	2.715,56	8,21	147
Mato Grosso	43	1.344,76	1.473,40	2.226,65	6,86	75
Goiás	44	1.290,93	1.414,43	2.137,52	6,43	75
Pernambuco	44	1.349,40	1.478,49	2.234,34	6,72	61
Paraíba	44	1.030,75	1.129,36	1.706,72	5,13	50

Quadro 2: Salários de montador por estado

Fonte: SALÁRIO, 2020

Para a instituição que contrata o trabalhador, há uma série de benefícios, encargos e obrigações que aumentam esse gasto em 2,83 vezes, ou seja, um acréscimo de 183% (FGV, 2012):

$$\text{Mão de obra} = (\text{R}\$8,18 \times 2,83) \times 2 \text{ horas} \times 40 \text{ funcionários} = \text{R}\$1.851,95$$

Após drenar a água presente no reservatório dos filtros, nos piores casos, também foi necessário trocar o elemento filtrante saturado. Devido ao nível de contaminação e ao número de filtros danificados, os valores com a substituição ultrapassaram os R\$20 mil.

Uma máquina também sofreu danos nos pistões e cilindros pneumáticos, onde o custo com a manutenção corretiva e peças de reposição somaram pouco menos de R\$2 mil.

Na figura a seguir, são apresentados exemplos de alguns danos sofridos na linha pneumática como corrosão, ferrugem e outros resíduos que facilmente podem se soltar e bloquear as passagens de ar:



Figura 10: Danos sofridos na linha pneumática

Fonte: MTIBRASIL, 2020

Mas é na qualidade final do produto onde estão ocultas as maiores perdas. Quando as placas eletrônicas são expostas à umidade, pode haver a oxidação dos componentes e, posteriormente, falhas funcionais no dispositivo. No entanto, esse impacto só será sentido meses depois quando o cliente reclamar a garantia do produto nas assistências técnicas autorizadas.

Além do desgaste da marca, esse tipo de ocorrência pode levar a processos, pedidos de ressarcimento ou indenização aos órgãos de defesa do consumidor.

Na Figura 11, pode ser verificada a presença de oxidação em vários componentes eletrônicos. Esse é um exemplo de oxidação causada pela exposição do produto ao vapor ou gotículas de água:



Figura 11: Oxidação causada por umidade

Fonte: SMART TECH, 2019

4.4 VERIFICAÇÃO DA INSTALAÇÃO DE AR COMPRIMIDO

Partindo do problema inicial foi realizada uma verificação completa da instalação de ar comprimido e seus componentes, e do sistema de distribuição até as linhas de produção para elencar as possíveis causas da presença de água no sistema.

O primeiro passo foi a verificação do sistema de distribuição que leva o ar dos compressores até as máquinas pneumáticas. Nessa verificação foi encontrada umidade nos filtros das tubulações indicando a contaminação do sistema de distribuição.

A figura a seguir mostra uma das linhas de produção com os filtros da tubulação da rede de distribuição contaminados com água:



Figura 12. Filtro da tubulação de ar com água

Fonte: elaborado pelo autor

O passo seguinte foi analisar, mais profundamente, a estrutura externa e o funcionamento da instalação de ar comprimido.

Externamente a instalação é composta por ramais de distribuição e um pulmão de ar, responsável pela estabilização da distribuição do ar comprimido emparelhando as oscilações de pressão na rede distribuidora quando há um alto consumo de ar. A superfície grande do reservatório refrigera o ar suplementar, por isso se separa, diretamente no reservatório, uma parte da umidade do ar.

Entretanto, analisando o pulmão de ar comprimido (Figura 13) e os drenos automáticos (Figura 14) não foram encontradas anomalias.



Figura 13: Pulmão de ar e ramais de distribuição

Fonte: elaborado pelo autor



Figura 14: Dreno automático na base do pulmão

Fonte: elaborado pelo autor

Avançando para dentro da sala de compressores, iniciou-se a verificação dos drenos automáticos. O dreno automático é composto por um timer gerador de pulsos (Figura 15) que permite a drenagem de condensados do sistema de distribuição em

intervalos regulares de 30 segundos, que no momento da verificação estava funcionando corretamente.



Figura 15: Timer eletrônico do dreno automático

Fonte: elaborado pelo autor

A figura a seguir mostra o timer eletrônico do dreno acoplado a uma válvula solenoide de duas vias formando um sistema de drenagem automática:



Figura 16: Sistema de drenagem automática

Fonte: elaborado pelo autor

Passando para a análise do compressor de ar, observou-se que o secador por refrigeração estava desligado e com uma mensagem de erro como mostrado na figura abaixo:



Figura 17: Compressor de ar com mensagem de erro

Fonte: elaborado pelo autor

4.5 ANÁLISE DA CAUSA NA FALHA DO SECADOR DE AR

Depois de analisadas as condições da sala de compressores e dos registros de erros gravados na memória do equipamento, ficou constatado que o secador de ar desligou automaticamente após seu sistema de proteção detectar um superaquecimento durante a operação.

Apesar de serem projetados para trabalhar em locais hostis, de forma geral os compressores e secadores podem operar em condições ambientes de até 46°C. No entanto, a equipe de manutenção constatou através de um termômetro digital infravermelho, que a temperatura dos equipamentos estava próxima de 70°C, conforme mostrado na figura a seguir:



Figura 18: Temperatura do equipamento
Fone: elaborado pelo autor

4.6 MELHORIAS NA SALA DE COMPRESSORES

A Figura 19 mostra as novas janelas instaladas na sala de compressores para melhorar a circulação de ar e permitir a troca de calor com o ambiente externo:



Figura 19: Janelas para melhorar a circulação de ar
Fonte: elaborado pelo autor

Outra melhoria foi o revestimento dos dutos de ar dos compressores com mantas térmicas para reduzir a temperatura no interior da sala de compressores. A Figura 20 mostra os isolantes térmicos de alumínio com espessura de 25 mm que foram instalados sobre os dutos de ar:



Figura 20: Isolantes térmicos sobre os dutos de ar

Fonte: elaborado pelo autor

Após as melhorias realizadas na sala de compressores, os equipamentos passaram a operar com temperaturas abaixo de 46°C.

4.7 PROPOSTA PARA O MONITORAMENTO DA INSTALAÇÃO DE AR COMPRIMIDO

Após a pesquisa exploratória do problema e análise da sua causa, foi proposto um modelo de sistema para monitoramento da instalação de ar comprimido na indústria a fim de identificar o aumento da temperatura na sala de compressores, aumento da umidade e queda da pressão do ar no sistema, ou que algum componente está com problema.

O sistema de monitoramento deve verificar o funcionamento dos equipamentos analisando se há alguma anomalia, fornecer alertas e dados para a tomada de decisão da equipe de manutenção:

- a) **Coleta de dados:** permite acompanhar o resultado da utilização dos compressores, tendências de consumo e relatórios que ajudarão a identificar oportunidades de aumentar sua eficiência energética.
- b) **Monitoramento do serviço:** visualiza alarmes de parada e necessidade de manutenção preventiva conforme demanda de cada equipamento.
- c) **Monitoramento remoto:** permite ao responsável acompanhar o status dos equipamentos sem a necessidade de se deslocar até a sala do compressor.

4.7.1 EQUIPAMENTOS QUE DEVEM SER MONITORADOS

Um sistema básico de monitoramento deve verificar a temperatura na sala de compressores, a umidade do ar na entrada no sistema, o estado de funcionamento dos compressores, dos secadores, dos drenos, do pulmão de ar, além de verificar se há umidade na rede de distribuição ou nos filtros.

A Figura 21 ilustra os pontos onde devem ser instalados os sensores e atuadores para fornecer dados para as entradas do sistema:



Figura 21: Pontos de monitoramento do sistema

Fonte: elaborado pelo autor

4.7.2 SOLUÇÕES PROPOSTAS PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

A automação industrial permite o uso de diversos componentes como sensores, atuadores, comparadores ou elementos de decisão, e softwares que controlam as interações entre eles.

A seguir serão descritos os principais dispositivos necessários para a execução do projeto, bem como suas funções dentro do sistema de monitoramento da instalação de ar comprimido.

TERMO-HIGRÔMETRO

Esse aparelho pode ser usado em qualquer ambiente que necessite de vigilância de temperatura e umidade constante. Dessa forma, tem aplicação relevante gerando alertas sobre o aumento da umidade na entrada do sistema ou da temperatura na sala de compressores. Quando a umidade estiver acima dos 60% ou a temperatura acima dos 46°C, terá um estado de alerta no sistema de monitoramento.

Na Figura 22, um modelo de termo-higrômetro que, instalado no interior da sala de compressores, irá fornecer dados para as entradas do CLP.



Figura 22: Termo-higrômetro

Fonte: elaborado pelo autor

RELÉ ELETROMECAÂNICO

O relé eletromecânico é uma chave que liga ou desliga um circuito elétrico, permitindo a passagem da corrente elétrica como o resultado do fechamento de contato, ou impedindo a passagem da corrente durante o estado de contato aberto.

É o dispositivo que inicia a ação no circuito de vigilância do sistema de monitoramento em resposta a alguma mudança nas condições dos equipamentos monitorados.

Instalado junto os compressores, secadores e purgadores eletrônicos, caso qualquer um desses equipamentos desliguem, os relés eletromecânicos irão desarmar e impedir a passagem de corrente elétrica pelo sistema. Assim, a falta de sinal na entrada do CLP fará com que o sistema de monitoramento identifique essa anomalia e gere alertas visuais e sonoros para a equipe de manutenção através de Andons ou sirenes.

A figura abaixo ilustra um relé eletromecânico e suas partes internas:

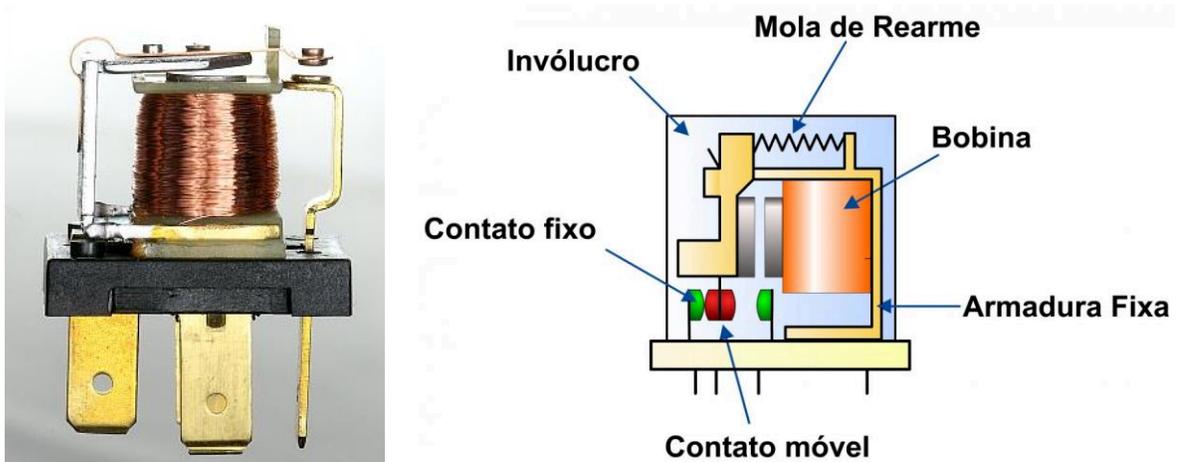


Figura 23: Relé eletromecânico

Fonte: STROSKI, 2018

PRESSOSTATO

O pressostato é um dispositivo composto por um elemento sensor e uma unidade interruptora. O elemento sensor é responsável por monitorar a pressão atual do sistema e movimentar-se, caso essa pressão caia abaixo dos valores pré-ajustados. Esse movimento do elemento sensor irá atuar nos contatos elétricos da unidade interruptora, que comutarão, possibilitando sinalizar para o CLP que o compressor desligou ou que opera abaixo da pressão pré-estabelecida.

A Figura 24 mostra um sistema de alerta de queda de pressão composto por dois pressostatos e duas sirenes de sinalização. Um conjunto monitora a pressão do sistema de abastecimento de nitrogênio, e o outro, a pressão da rede de distribuição de ar comprimido.



Figura 24: Sistema de alerta de queda de pressão

Fonte: elaborado pelo autor

Caso a pressão caia abaixo de 4 Bar para o sistema de abastecimento de nitrogênio, ou abaixo de 6 Bar para a rede de distribuição de ar comprimido, os pressostatos irão enviar sinais para o módulo de entrada do CLP, e este, irá fornecer alertas visuais e sonoros para a equipe de manutenção através de sirenes instaladas na sala de controle.

SONDA DE PONTO DE ORVALHO

A medição do ponto de orvalho é particularmente importante, pois se um secador falhar no sistema de ar comprimido, a condensação de vapor de água poderá aparecer.

Conforme já citado nesse estudo, quando o ar comprimido é resfriado, o vapor de água presente no interior dos equipamentos e da rede de distribuição, que está em suspensão no ar, começa a se condensar.

Quando instalada na linha pressurizada, a sonda de ponto de orvalho permite coletar a temperatura e a medição de ponto de orvalho. Ao ser integrada com o CLP do sistema de monitoramento, ela será usada como dispositivo autônomo monitorando dados de campo e fornecendo alertas ou alarmes em caso de condensados detectados na rede de distribuição de ar comprimido.

A Figura 25 mostra uma sonda de medição de ponto de orvalho ligada a uma válvula conectada ao sistema de ar comprimido:

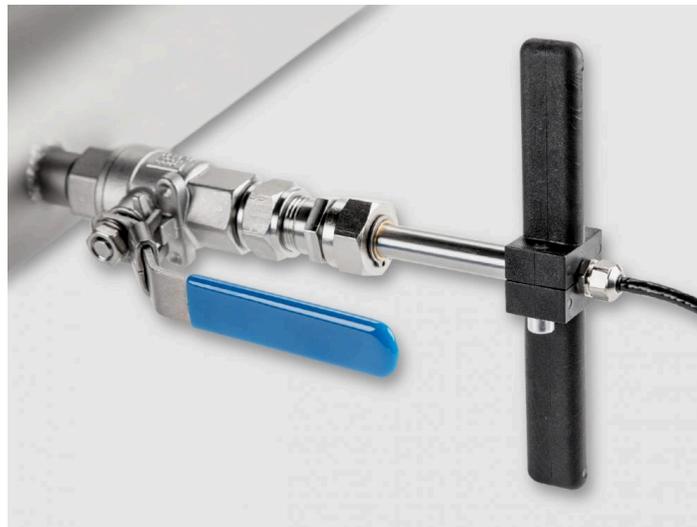


Figura 25: Sonda de ponto de orvalho

Fonte: VAISALA, 2020

CLP – CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O CLP é composto basicamente por uma CPU (unidade central de processamento de dados) e dois módulos com ligações elétricas classificadas como módulos de entrada e módulos de saída. O módulo de entrada é encarregado de receber os sinais do termo-higrômetro, dos relés eletromecânicos, do pressostato e da sonda de ponto de orvalho, e repassá-los à CPU.

Na ausência desses sinais, a CPU envia os impulsos elétricos para o acionamento de Andons e sirenes, além de enviar informações que serão exibidas nos monitores de advertência e também armazenadas em um banco de dados.

PAINEL ELÉTRICO COM CLP

O painel elétrico irá proteger o CLP da umidade e da sujeira do ambiente fabril, além de manter a estrutura dos equipamentos centralizada e organizada.

Na Figura 26, um exemplo de um painel elétrico bem organizado onde estão concentrados o CLP, os módulos de entrada e saída, disjuntores e os cabos de alimentação e comunicação.



Figura 26: Painel elétrico com CLP

Fonte: RAFAEL, 2018

4.7.3 ESTRUTURA DE CONTROLE DOS EQUIPAMENTOS E ALERTAS DE ANOMALIAS

Além do monitoramento da instalação de ar comprimido, o projeto visa mudar a forma que os compressores são gerenciados. Com o CLP será possível controlar remotamente quando e quais compressores serão ligados ou desligados de forma autônoma, isto é, sem que seja necessária a intervenção humana.

Durante a semana os compressores ficam ligados o tempo todo consumido energia mesmo em vazio (sem demanda de ar). Existe uma válvula para retirar e colocar a carga total dos compressores conforme a demanda de ar comprimido e caso algum compressor não tenha demanda, esse poderá ser desligado automaticamente para economizar energia elétrica e religado quando houver necessidade. Isso será possível através da instalação de um relé eletroeletrônico nessa válvula.

Outra melhoria é que a nova estrutura permitirá à equipe de manutenção ligar os equipamentos no começo da semana e desligá-los nos fins de semana de forma rápida, remota e autônoma através de horários pré-definidos. Hoje um funcionário deve iniciar a jornada uma hora e meia mais cedo para ligar os compressores toda segunda-feira e outro sair uma hora mais tarde na sexta-feira para desligá-los. Em casos em que ocorram horas extra nos fins de semana, um funcionário da manutenção deverá estar presente para fazer o procedimento. Depois da melhoria implementada, isso poderá ser feito de forma remota e programada.

Por fim, poderão ser adicionadas telas de Andon ou sirenes com alertas visuais e sonoros na sala de compressores, nas salas de controle da manutenção, nas linhas de produção ou qualquer outro ponto que haja necessidade de receber esse tipo de alerta com o status dos equipamentos.

A figura a seguir ilustra, de forma simples, a lógica de comunicação entre os equipamentos e o CLP do sistema de monitoramento:

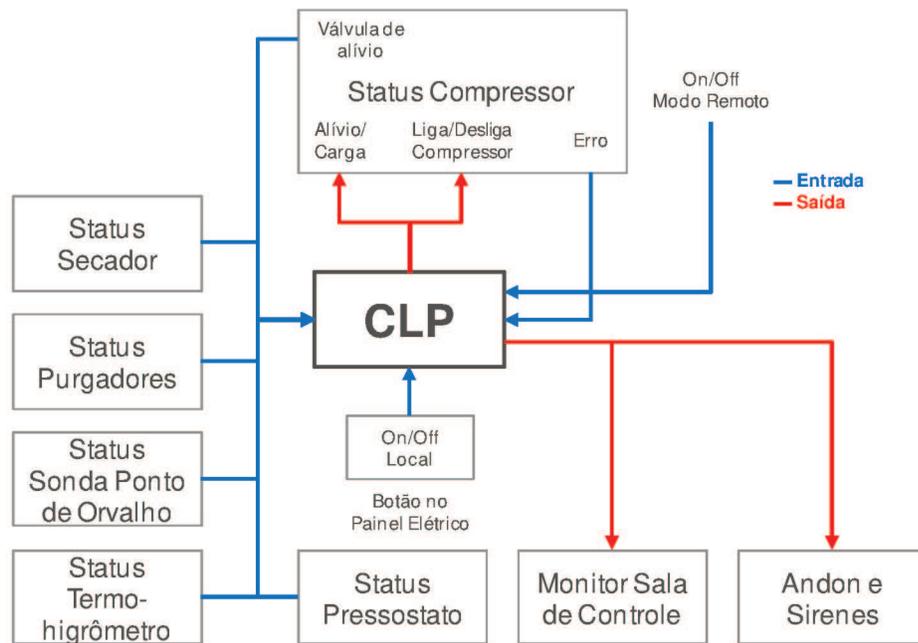


Figura 27: Comunicação entre CLP e equipamentos

Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 28, ilustra onde os sensores e atuadores estarão dispostos no sistema de monitoramento remoto da instalação de ar comprimido:

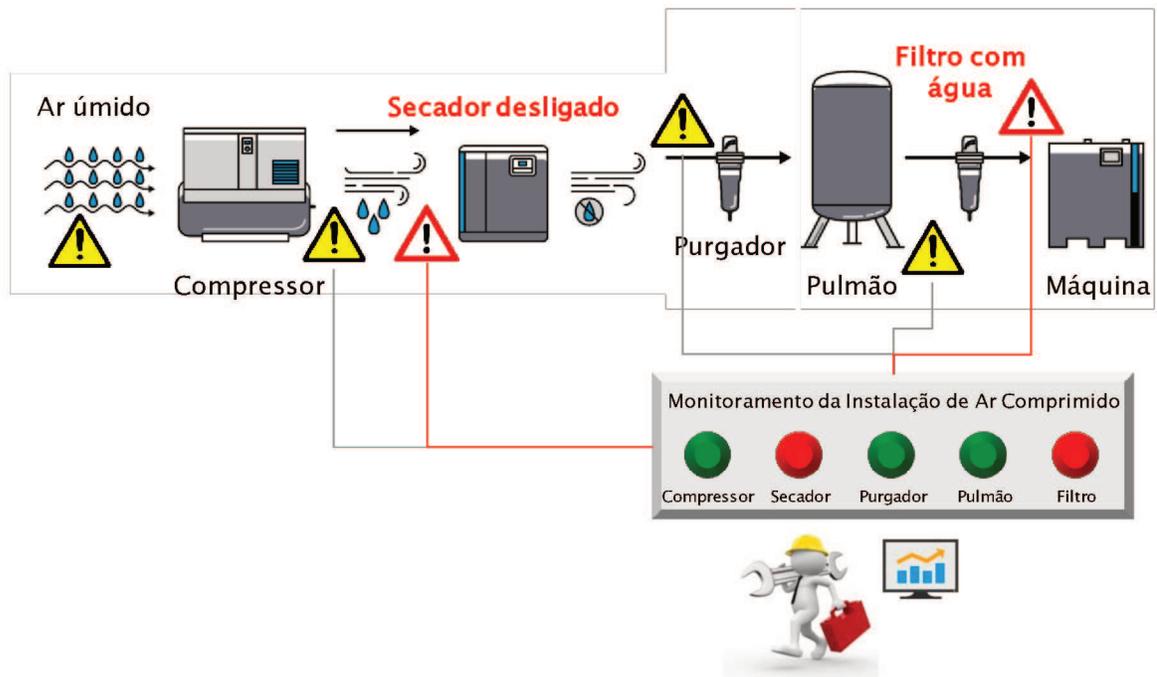


Figura 28: Monitoramento remoto da instalação de ar

Fonte: elaborado pelo autor

4.7.4 CUSTO ESTIMADO PARA EXECUÇÃO DO PROJETO

Aqui foram elencados os principais dispositivos necessários para a execução do projeto do sistema de monitoramento e seus custos estimados:

CLP – Controlador lógico programável (01 unidade): R\$1.800,00

Painel elétrico (01 unidade): R\$1.300,00

Termo-higrômetro (01 unidade): R\$1.500,00

Relês eletromecânicos (12 unidades): R\$420,00

Pressostato (04 unidades): R\$1.280,00

Sonda de ponto de orvalho (01 unidade): R\$1.800,00

Andon com sirene (01 unidade): R\$100,00

Monitor (01 unidade): R\$600,00

Cabos manga (100 metros) / Cabos de rede ethernet (300 metros): R\$270,00

Mão de obra: (R\$11,42 x 2,83) x 32 horas x 1 funcionário = R\$1.034,20

Para calcular o custo da mão de obra empregada na instalação e programação do sistema, usaremos o salário/hora de um electricista de manutenção industrial no estado de São Paulo, conforme mostrado no Quadro 3:

UF	Jornada	Piso Salarial	Média Salarial	Teto Salarial	Salário/Hora	Total
São Paulo	44	2.267,41	2.484,32	3.754,38	11,42	14.535
Minas Gerais	44	1.732,10	1.897,80	2.868,01	8,70	6.076
Rio de Janeiro	43	1.786,83	1.957,76	2.958,63	9,00	5.375
Pará	44	1.648,29	1.805,97	2.729,24	8,28	2.574
Rio Grande do Sul	44	1.849,87	2.026,83	3.063,01	9,28	2.435
Santa Catarina	44	1.957,16	2.144,39	3.240,66	9,80	2.341
Bahia	44	1.946,00	2.132,16	3.222,18	9,75	2.252
Paraná	44	2.187,60	2.396,87	3.622,22	10,95	2.070
Espírito Santo	44	1.777,04	1.947,04	2.942,43	8,91	1.675
Goiás	44	1.657,63	1.816,21	2.744,71	8,30	1.560

Quadro 3. Salários de electricista de manutenção industrial por estado

Fonte: SALÁRIO, 2020

4.7.5 CÁLCULO DO ROI DO PROJETO

Para verificar a viabilidade da execução do projeto do sistema de monitoramento da instalação de ar comprimido, também foi calculado o seu ROI (*Return On Investment*).

Ele é calculado através da fórmula abaixo (AEVO, 2017), levando em consideração os investimentos empregados na execução do projeto e o ganho obtido, que para esse estudo de caso, seriam os custos de um novo evento de mesma proporção:

$$\text{ROI} = (\text{Ganho} - \text{Investimento}) / \text{Investimento}$$

$$\text{ROI} = (\text{R}\$23.851,95 - \text{R}\$10.104,20) / \text{R}\$10.104,20 = 1,36$$

Ao implementar o novo sistema, a empresa obteria um retorno de 1,36 vezes o valor inicial. Para transformar isso em percentual, basta multiplicar o resultado por 100. Logo, o retorno sobre o investimento do projeto seria de 136%.

$$\text{ROI} = 1,36 \times 100\% = 136\%$$

5. CONCLUSÃO

Devido ao constante aumento da competitividade entre as empresas e um mercado cada vez mais globalizado, tornou-se obrigatório obter vantagens competitivas, transformando o dia-a-dia da indústria manufatureira numa busca contínua pelo aumento da produtividade e da eficiência das linhas de produção, a fim de eliminar perdas, reduzir paradas, garantir a qualidade e diminuir custos nas empresas com processos contínuos.

A implementação do sistema de monitoramento da instalação de ar comprimido que esse estudo de caso propõe permitirá uma maior fluidez dos processos, minimizando os imprevistos e mitigando as perdas.

Com o monitoramento constante, decisões são tomadas rapidamente de forma mais embasadas e precisas. Isso diminui o risco de quebra e aumenta a disponibilidade e eficiência dos equipamentos e máquinas, evitando paradas de produção inesperadas e reduzindo custos com manutenção corretiva e estoque de peças de reposição.

Se houver um aumento substancial na temperatura de operação dos compressores, alarmes permitirão uma análise preliminar antes que o equipamento desligue e cause outros problemas. Se aumentar a umidade no sistema de distribuição, os equipamentos responsáveis pela eliminação de condensados deverão ser verificados de forma preventiva. Caso haja quedas súbitas de pressão no sistema de ar, ações poderão ser tomadas enquanto o pulmão alimenta o sistema dando ao time de manutenção tempo de resposta para a ocorrência. Com todos os equipamentos e dispositivos ligados ao CLP, este poderá fornecer, depois de alguns meses em operação, dados estatísticos que darão base para melhorias no próprio sistema.

Mesmo com um custo estimado de R\$10 mil, isso representa menos da metade dos custos com o evento que foi base desse estudo, tornando viável sua implementação do ponto de vista de evitar novas ocorrências e novas perdas.

REFERÊNCIAS

2A+ Farma. **Como escolher o instrumento correto para medir umidade e ponto de orvalho.** Portal 2A+ Farma. Publicado em: 27 nov. 2019.
Disponível em: <https://www.doisamaisfarma.com.br/automacao/como-escolher-o-instrumento-certo-para-medir-umidade-e-ponto-de-orvalho/>. Acesso em: 15 mai. 2020.

AEVO. **Como calcular o retorno sobre o investimento de projetos?** Blog AEVO. Publicado em: 08 fev. 2017.
Disponível em: <https://blog.aevo.com.br/roi-como-calcular-o-retorno-sobre-o-investimento-de-projetos/>. Acesso em: 24 mai. 2020.

ALCIATORE, D. G.; HISTAND, M. B. **Introdução à Mecatrônica e aos Sistemas de Medições.** 4ª Edição. Porto Alegre: AMGH Editora. 2014.

BENFICA, A.; MATTEDE, H. **O que é relé? Como funciona um relé?** Blog Mundo da Elétrica. Publicado em: <sem data>.
Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-rele-como-funciona-um-rele/>. Acesso em: 26 fev. 2020.

BOLLMANN, A. **Fundamentos da Automação Industrial Pneutrônica. Projeto de Comandos Binários Eletropneumáticos.** São Paulo: Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática. 1997.

CESAR, S. **Salário de Montador em todo estado de São Paulo.** Portal Salario.com.br. Publicado em: 25 jan. 2020.
Disponível em: <https://www.salario.com.br/salario-em-todo-estado/>. Acesso em: 23 mai. 2020.

CETRO: **Soluções Completas em Equipamentos para Embalagem.** Portal Cetro. Publicado em: <sem data>.
Disponível em: <https://www.cetroloja.com.br/pagina/institucional.html#lojas>
Acesso em: 25 jun. 2019.

CMICRO. **EESP/FGV revela o custo do trabalhador no Brasil.** Fundação Getulio Vargas. Publicado em: 23 mai. 2012.
Disponível em:
https://cmicro.fgv.br/node/327?utm_source=blog&utm_campaign=rc_blogpost Acesso em: 23 mai. 2020.

FIALHO, A. B. **Automação Pneumática – Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos.** 2ª Edição. São Paulo: Editora Érica. 2004.

HAHN, A., **Compressores – Guia Avançado**, Rio de Janeiro: Eletrobrás, Procel Indústria: Edição Seriada. 2004.

MONTEIRO, M. A. G.; ROCHA, C. A. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido: Manual Prático**. Rio de Janeiro: Eletrobrás; Procel. 2005.

MTIBRASIL. **Tudo sobre Pneumática na automação industrial**. Blog MASTER Tecnologia Industrial. Publicado em: <sem data>. Disponível em: <https://www.mtibrasil.com.br/pneumatica.php>. Acesso em: 26 fev. 2020.

RAFAEL, S. **Painel de Controle**. Blog Corporativo San Rafael. Publicado em: 04 set. 2018
Disponível em: <http://blog.sanrafael.ind.br/2018/09/04/painel-de-controle/>. Acesso em: 27 mai. 2020

ROLLINS, J. P. **Compressed Air and Gas Handbook**. Editora Prentice-Hall, New Jersey, EUA. 1989.

ROMANO, V.; DUTRA, M. **Robótica Industrial Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos: Introdução à robótica industrial**. São Paulo: Edgard Blücher. 2002.

SANTOS, A. H. M. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. Itajubá: FUPAI, 3ª edição. 2006.

SCHLÜTER, M. S. **Controle Não Linear Adaptativo com Compensação de Atrito de um Manipulador SCARA com Acionamento Pneumático**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2018.

SILVEIRA, C. **Como Funciona o Filtro de Ar comprimido?** Blog Citisystems Automação Industrial. Publicado em: <sem data>. Categoria: Automação Industrial, Pneumática.
Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/como-funciona-filtro-ar-comprimido/>
Acesso em: 08 ago. 2019.

SILVEIRA, C. **Sensor: Você Sabe o Que é Quais os Tipos?** Blog Citisystems Automação Industrial. Publicado em: <sem data>. Categoria: Automação Industrial, Sensores Industriais.
Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/sensor-voce-sabe-que-quais-tipos/>.
Acesso em: 23 mai. 2020.

SMART TECH. **Placa Bastante Oxidada**. Página SMART TECH Assistência Técnica de Celulares no Facebook. Publicada em: 10 ago. 2018.
Disponível em: <https://www.facebook.com/pg/SmartTecAssist/posts/>. Acesso em: 14 ago. 2019.

STROSKI, P. **Conheça o relé eletromecânico**. Blog Electrical e-Library.com. Publicado em: 06 ago. 2018.

Disponível em: <http://www.electricalibrary.com/2018/08/06/conheca-o-rele-eletromecanico/>. Acesso em: 26 fev. 2020.

THOMAZINI, D. **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações**. 8ª edição. São Paulo: Saraiva. 2011.

VAISALA. **Sonda de Temperatura e Ponto de Orvalho DMP8**. Portal Vaisala.

Publicado em: <sem data>.

Disponível em: <https://www.vaisala.com/pt/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/instruments-industrial-measurements/dmp8>. Acessado em: 15 mai. 2020

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Saulo Silva de Aguiar
Taubaté, Junho de 2020