



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

KARINA DE OLIVEIRA PEVIDE

**CONTROLE E ESTABILIDADE EM UM SISTEMA
AUTOMÁTICO DE APLICAÇÃO DE SELANTE
ANAERÓBICO**

**TAUBATÉ - SP
2018**

KARINA DE OLIVEIRA PEVIDE

**CONTROLE E ESTABILIDADE EM UM SISTEMA
AUTOMÁTICO DE APLICAÇÃO DE SELANTE
ANAERÓBICO**

Trabalho de Graduação apresentado ao Coordenador de Trabalho de Graduação do curso de Engenharia Elétrica e Eletrônica, no Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Abud Marcelino

**TAUBATÉ - SP
2018**

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

P514c Pevide, Karina de Oliveira
Controle e estabilidade em um sistema automático de aplicação de selante anaeróbico / Karina de Oliveira Pevide. -- 2018.
45 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Marcio Abud Marcelino, Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Aplicação de selante. 2. Automação. 3. Controle. I. Título.
II. Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica.

CDD – 658.5

Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995



Universidade de Taubaté
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.178.153/0001-22

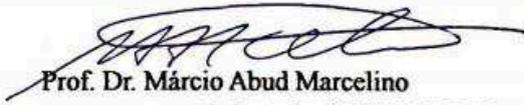
Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

CONTROLE E ESTABILIDADE EM UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE APLICAÇÃO DE SELANTE ANAERÓBICO

KARINA DE OLIVEIRA PEVIDE

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA"

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Márcio Abud Marcelino
Orientador/UNITAU-DEE


Eng. Adevan Henrique Alves Rodrigues, CREA: 2614476870
Engenheiro/Ford Motor Company


Eng. Paulo Lopes Nunes Junior, CREA: 5069297424
Engenheiro/Ford Motor Company

Dezembro de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe Mariléa, às minhas irmãs Andréia e Camila, e ao meu noivo Kayo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me dado saúde e sabedoria para superar as dificuldades e realizar este projeto.

Agradeço a minha família, minha mãe Mariléa e minhas irmãs Andréia e Camila que me acompanharam por toda minha trajetória e me dão apoio e motivação para alcançar meus sonhos e objetivos.

Ao meu noivo Kayo, por estar presente em todos os momentos, fáceis e difíceis, por todo suporte, apoio e cobrança ao longo desses anos, contribuindo com o sonho de me tornar engenheira.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcio Abud Marcelino por todo conhecimento compartilhado ao longo desses anos. Sem sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria mais difícil.

“Os dias prósperos não vêm por acaso; nascem de muita fadiga e persistência.”

Henry Ford.

PEVIDE, K. O.; **Controle e estabilidade em um sistema automático de aplicação de selante anaeróbico**. 2018. 45 p. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica, Universidade Taubaté, Taubaté, 2018.

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo das melhorias realizadas em um sistema automatizado de aplicação de selante anaeróbico em flanges de carcaças de transmissão de uma indústria automotiva. Utilizado para substituir as juntas convencionais, o selante anaeróbico tem capacidade de se espalhar entre as flanges e preencher folgas e rugosidades da superfície. Na automação foram feitas modificações físicas como troca de motor e implementação de módulo de partida, controlador de temperatura para fiscalizar a densidade da cola e, também, foram feitas modificações no software do programa de um robô para que as respectivas movimentação, velocidade e trajetória concordassem com o fluxo controlado de selante a ser aplicado. A melhoria implementada trouxe ganhos como o controle do volume de selante a ser aplicado no processo, evitando desperdício, vazamento do excesso para fora e dentro da transmissão, consequentemente evitando contaminação no interior do produto e contribuindo no aproveitamento de mão de obra mantenedora, pois a necessidade de manutenção foi reduzida, melhorando a capacidade produtiva da máquina. Neste trabalho foi descrito tecnicamente o estado atual do sistema além de propor futuras melhorias.

PALAVRAS-CHAVE: Aplicação de selante; Automação; Controle.

PEVIDE, K. O.; **Control and stability in an automatic anaerobic sealant application system**. 2018. 45 p. Graduate Work in Electrical Engineering - Department of Electrical and Electronic Engineering, Taubaté University, Taubaté, 2018.

ABSTRACT

This dissertation presents the study of the improvements made in an automated system of anaerobic application sealant in flanges of transmission housings in an automotive industry. Used to replace conventional joints, the anaerobic sealant has the ability to spread between the flanges and fill gaps and surface roughness. In the automation, physical changes were made such as engine change and starter module implementation, temperature controller to control the density of the glue, and also modifications were made to a robot software program so that the respective movement, speed and trajectory agreed with the controlled flow of sealant to be applied. The improvement implemented had the objective of controlling the volume of sealant in the process, avoiding waste, pouring the excess into and out of the transmission, consequently avoiding contamination inside the product and contributing to the use of maintenance labor, as the need for maintenance was reducing the machine's productive capacity. In this work, the current state of the system was technically described, and future improvements were proposed.

KEYWORDS: Sealant application; Automation; Control.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de parâmetros configurados no MICROMASTER 420

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 - Excesso de selante aplicado na flange
- Figura 1.2 - Porcentagem dos principais motivos de parada em células automáticas
- Figura 2.1 – Esquema de funcionamento do sistema de aplicação de vedante anaeróbico
- Figura 2.2 – Classificação de determinados motores elétricos
- Figura 2.3 – Estrutura do motor CC
- Figura 2.4 – Princípio de funcionamento do motor CC
- Figura 2.5 – Componentes do motor CA
- Figura 2.6 – Classificação dos tipos de bombas
- Figura 2.7 – Construção interna de uma bomba de parafuso
- Figura 2.8 – Linha de produção automatizada por robôs
- Figura 2.9 – Componentes de um robô industrial articulado
- Figura 2.10 – Interface do *software* RobotStudio
- Figura 2.11 – Falhas de acabamento em uma superfície
- Figura 3.1 - *Ranking* total das ocorrências provenientes da célula de aplicação
- Figura 3.2 – Diagrama de Ishikawa
- Figura 3.3 – Matriz de causa e efeito
- Figura 3.4 – Curva Torque x Velocidade do motor CC
- Figura 3.5 – Controlador de temperatura
- Figura 3.6 – Rotina de aplicação de selante
- Figura 3.7 – Índice de rejeitos

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FTT	<i>First Time Through</i> – Fazer certo da primeira vez
RTV	<i>Room Temperature Vulcanizing</i> - Vulcanização à temperatura ambiente
CC	Corrente contínua
CA	Corrente Alternada
RPM	Rotações por minuto
Hz	<i>Hertz</i>
UCP	Unidade central de processamento
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> - Modulação por largura de pulso
ABB	Asea Brown Boveri
C	Celsius
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 O ESTADO DA ARTE	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2.0 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE APLICAÇÃO AUTOMÁTICO DE VEDANTES	16
2.2 MOTORES ELÉTRICOS	17
2.2.1 MOTORES ELÉTRICOS DE CORRENTE CONTÍNUA	18
2.2.2 MOTORES ELÉTRICOS DE CORRENTE ALTERNADA.....	20
2.3 BOMBAS	21
2.3.1 BOMBA DE PARAFUSO	22
2.4 INVERSOR DE FREQUÊNCIA	23
2.5 ROBÔS INDUSTRIAIS	25
2.5.1 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM ROBÔ INDUSTRIAL.....	25
2.5.2 PROGRAMAÇÃO DE ROBÔS INDUSTRIAIS	27
2.6 SELANTE ANAERÓBICO	28
3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	30
3.1 MEDIÇÃO	30
3.2 ANÁLISE	31
3.3 IMPLEMENTAÇÃO	33
3.3.1 MODELO DO MOTOR INADEQUADO	33
3.3.2 VELOCIDADE DE APLICAÇÃO	34
3.3.3 FALHA NA BOMBA DE APLICAÇÃO	36
3.3.4 VARIAÇÃO NA VISCOSIDADE DO PRODUTO	37
3.3.5 FALHA NA PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	44

1.0 INTRODUÇÃO

A dinâmica de vida observada na maioria das cidades brasileiras exige maior utilização de veículos automotores como meio de transporte, principalmente nos núcleos urbanos.

A crescente demanda de veículos automotores é diretamente responsável pela automação e inovação tecnológica das indústrias automobilísticas, onde o trabalho manual e repetitivo é substituído por máquinas e robôs, a fim de reduzir custo e tempo de ciclo, e aumentar a qualidade, padronização do processo, produtividade e segurança.

Dentre as inovações tecnológicas e automatizações de sistemas, o processo de aplicação automática de selantes tem crescido bastante nas indústrias.

Em relação ao processo de vedação por aplicação automática de selante, as vantagens se devem ao fato de proporcionar rapidez, repetibilidade da aplicação, estabilidade e padronização do processo, menor retrabalho e baixo índice de vazamento.

Mesmo assim, o processo automático de aplicação é alvo de problemas que devem sempre estar em melhoria contínua. O principal problema é a variação na quantidade de produto aplicado quando o processo está desajustado, com parâmetros, conceitos e tempos equivocados, conforme está apresentado na Figura 1.1.

Figura 1.1 - Excesso de selante aplicado na flange

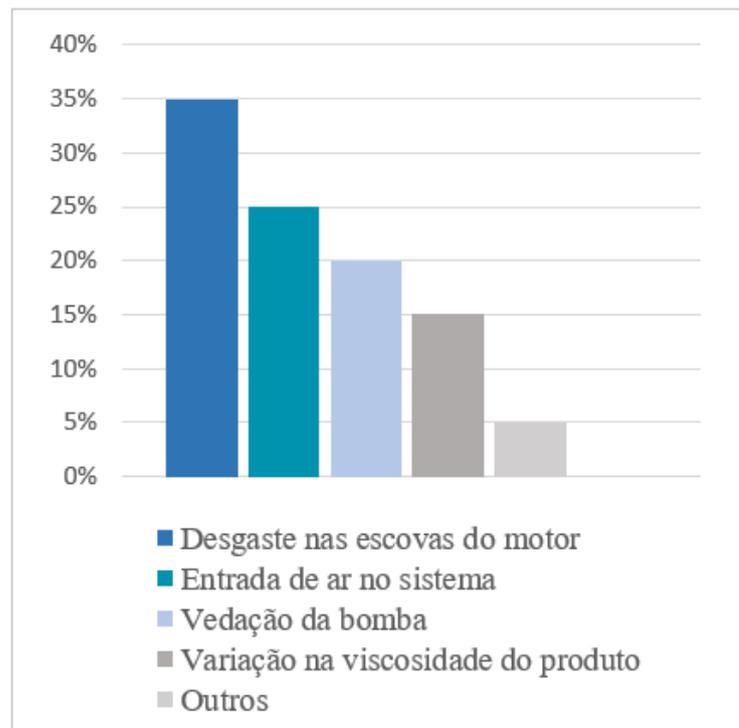


Fonte: Grupo Rubber Fast (2018)

A automatização da aplicação de selantes tem enfrentado dificuldades na indústria automotiva e causado problemas, como variação do fluxo de aplicação, acúmulo de sujeira no equipamento, entrada de ar no sistema, alto tempo de inatividade nas máquinas, dificuldade em adequar o processo à variação da viscosidade do selante, entre outros. Além disso, gera um alto custo de manutenção corretiva e emergenciais, principalmente em bombas, motores e válvulas.

Pode ser verificado através da Figura 1.2 as principais causas de parada de uma célula robótica analisada com aplicação de selante automatizada.

Figura 1.2 - Porcentagem dos principais motivos de parada em células automáticas.



Fonte: Adaptado de uma estação de aplicação de selante de uma empresa automobilística do Vale do Paraíba

1.1 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho foi entender o funcionamento do processo e as possíveis variáveis que influenciam o controle da aplicação de selante anaeróbico e, conseqüentemente, a variação no seu fluxo, a fim de demonstrar que todos os parâmetros considerados são fundamentais para uma vedação de qualidade. Além disso, atuou-se nas causas raízes do problema, com objetivo de elaborar melhorias no processo com soluções funcionais, simples e definitivas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Cada vez mais as indústrias automotivas vêm buscando maneiras de aperfeiçoar seus processos a fim de reduzir desperdício, custo, tempo de ciclo das máquinas, impactos ambientais, entre outros fatores, a fim de se manterem competitivas no mercado.

Foi escolhido como projeto englobar todas as causas raízes do problema de aplicação de vedante anaeróbico, visando aperfeiçoamento e controle neste tipo de processo automático nas indústrias automobilísticas, tendo como justificativa o alto tempo de inatividade das máquinas por necessidade de manutenção, limpeza e baixo índice de FTT (*First Time Through*).

A ação de melhoria foi realizada em máquinas de aplicação de vedantes dos tipos anaeróbico e silicone RTV (*Room Temperature Vulcanizing*). Porém, o dado trabalho descreve apenas o caso de aplicação de produto anaeróbico, onde a variação de fluxo, quantidade de rejeitos e número de variáveis do processo são maiores.

1.3 O ESTADO DA ARTE

A estação de aplicação de vedante anaeróbico analisada era equipada com um motor de corrente contínua com regulagem de velocidade por potenciômetro, acoplado a uma bomba de rosca sem fim. O motor estava mal dimensionado para esta aplicação, pois o torque necessário para acionar a bomba era superior ao torque fornecido pelo motor. Por falta de conhecimento deste mal dimensionamento, era habitual de se aumentar a velocidade do motor no máximo através do potenciômetro gerando outro problema, desta vez na bomba, pois a rotação máxima do motor era muito além da rotação indicada pelo fabricante da bomba. Isto impactava diretamente na vedação, eficiência e funcionamento da bomba, sendo necessário trocá-la frequentemente, aumentando consideravelmente o custo de manutenção corretiva.

Além da necessidade de troca, havia problemas de logística pois nem sempre havia uma bomba deste modelo em estoque devido ao alto valor. Quando não era possível trocar, a manutenção mecânica realizava, de maneiras paleativas, um recondicionamento da bomba, onde eram trocadas algumas vedações e feita uma limpeza.

Com uma bomba de funcionamento comprometido e um motor mal dimensionado, o sistema era totalmente instável.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Nos capítulos 1 e 2 estão orientados em uma breve teoria sobre o princípio de funcionamento do sistema de aplicação automático de vedantes e os principais componentes do sistema.

No capítulo 3 pode ser verificado a utilização do método de pesquisa, experimentação, a qual se caracteriza por realizar mudanças nas variáveis relacionadas com o objeto de estudo.

Foram feitos experimentos na própria linha de produção da indústria automotiva, sendo implementado os parâmetros de acordo com estudo pré-realizado.

Primeiramente houve uma revisão de todos os componentes responsáveis pelo fluxo de aplicação de selante e, posteriormente, uma revisão e implementação das ações necessárias para eliminar as causas raízes.

No capítulo 4 apresenta-se o resultado dessa experimentação, discutindo e concluindo o assunto.

No capítulo 5 realizou-se a conclusão final do projeto e apresentou-se propostas para estudos futuros ao trabalho.

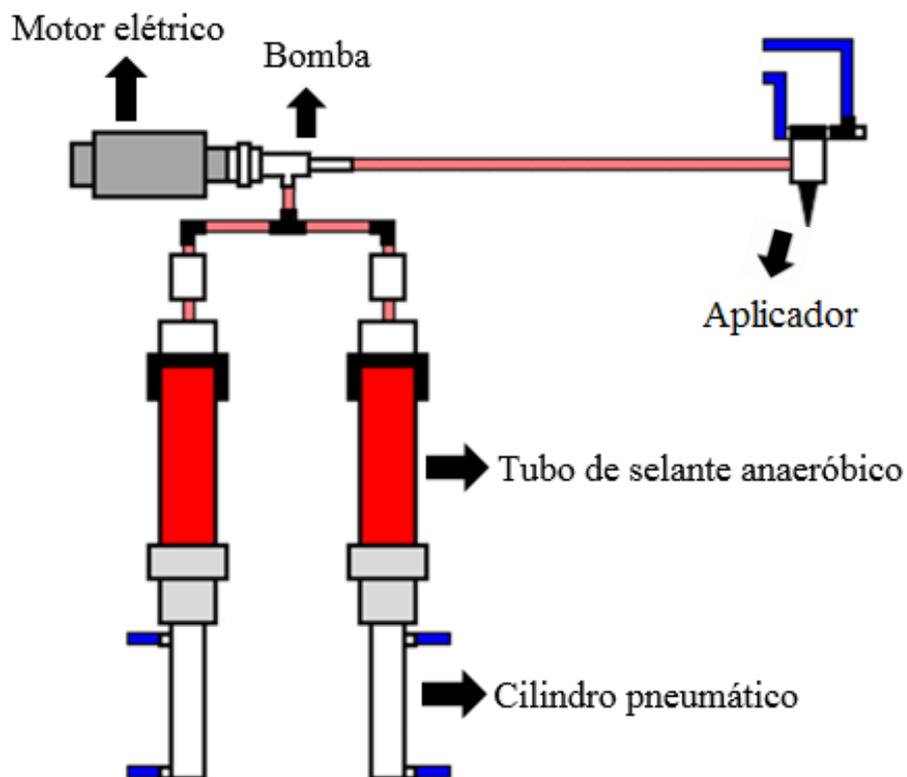
2.0 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste capítulo é apresentado um referencial teórico sobre o conceito de funcionamento dos sistemas de aplicação de vedantes e definição dos componentes utilizados.

2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE APLICAÇÃO AUTOMÁTICO DE VEDANTES

O funcionamento do sistema automático de aplicação se baseia no envio de selante do tubo ao aplicador, conforme apresentado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Esquema de funcionamento do sistema de aplicação de vedante anaeróbico



Fonte: Autora (2018)

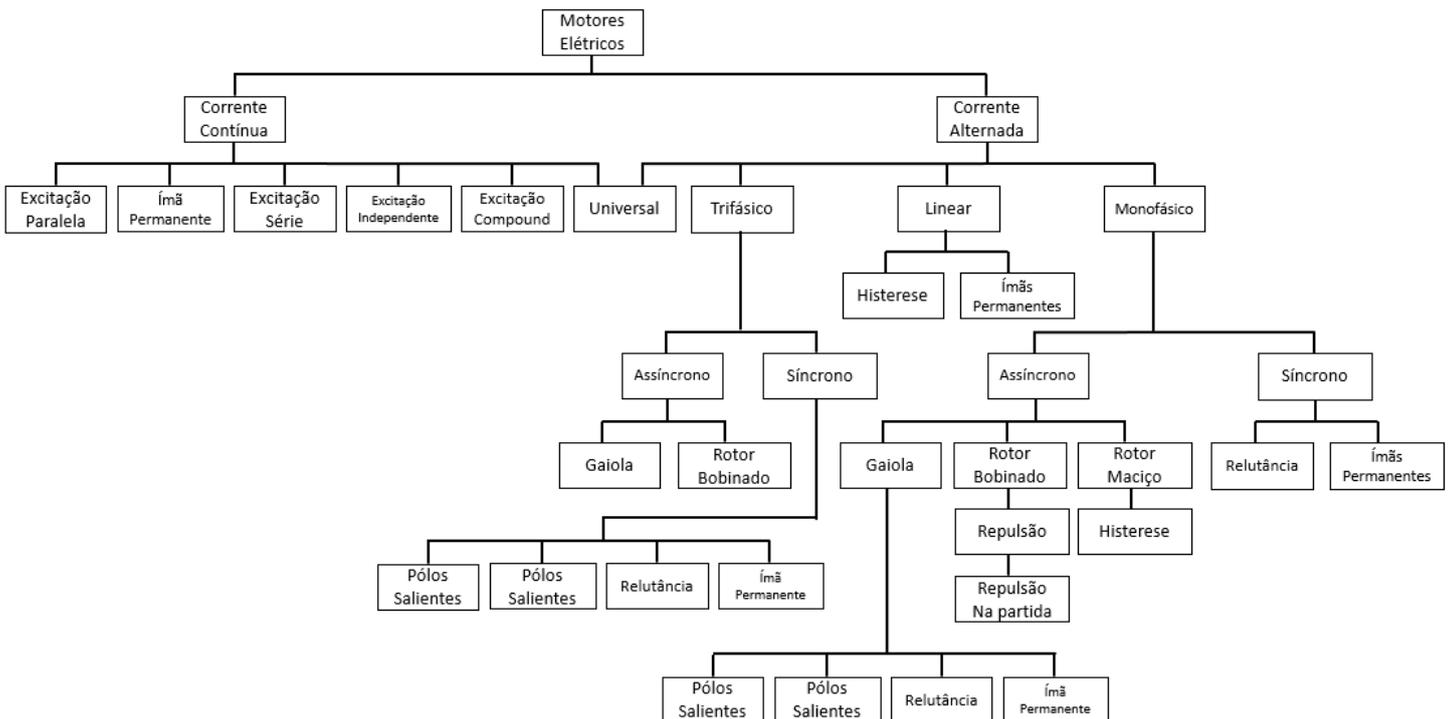
Uma vez que o sistema é acionado, um robô é responsável por movimentar o produto que será vedado de maneira concordante e simultânea com o fluxo de cola que será expelido pelo aplicador. Para fazer o deslocamento de selante, os êmbolos dos cartuchos de cola são pressionados por um cilindro pneumático, que faz com que o fluido percorra nas mangueiras

até a conexão com a bomba. O motor acoplado ao sistema é responsável pela rotação do rotor interno da bomba, que funciona com o princípio de parafuso sem fim excêntrico. A medida que o rotor rotaciona, gera uma cavidade contínua por onde o fluido escoar e progride na direção do fluxo de aplicação (BARCELLOS, 2012).

2.2 MOTORES ELÉTRICOS

Motores elétricos são máquinas de construção simples e não poluentes capazes de converter a energia elétrica fornecida ao motor em energia mecânica de utilização. A simples presença de uma corrente elétrica contínua ou alternada, é suficiente para garantir o movimento em um eixo. Atualmente é possível encontrar uma ampla gama de motores elétricos no mercado, de variados tipos e construções. A Figura 2.2 apresenta resumidamente determinados tipos de motores existentes.

Figura 2.2 – Classificação de determinados motores elétricos



Fonte: Adaptado de Mamede Filho (2006)

2.2.1 MOTORES ELÉTRICOS DE CORRENTE CONTÍNUA

Os motores elétricos de corrente contínua (CC) são dispositivos que operam aproveitando as forças de atração e repulsão geradas por eletroímãs e ímãs permanentes. São motores acionados por meio de uma fonte de corrente contínua, cuja função é energizar seus enrolamentos e produzir pólos eletromagnéticos responsáveis por formar a força eletromotriz. Sua velocidade pode ser ajustada linearmente em ampla faixa de limites, e podem ser aplicados a controles de precisão e grande flexibilidade. Isto resultou, durante muito tempo, no uso preferencial destes motores para os processos de automação. Uma importante classe de motores de corrente contínua, os de ímãs permanentes, é amplamente utilizada em servo-mecanismos.

Segundo SENAI (2008), os motores elétricos são compostos basicamente por estator e o rotor, e define-se que:

✓ O estator é a parte fixa da máquina, onde ficam alojadas as bobinas de campo cuja função é conduzir o fluxo magnético. É formado por:

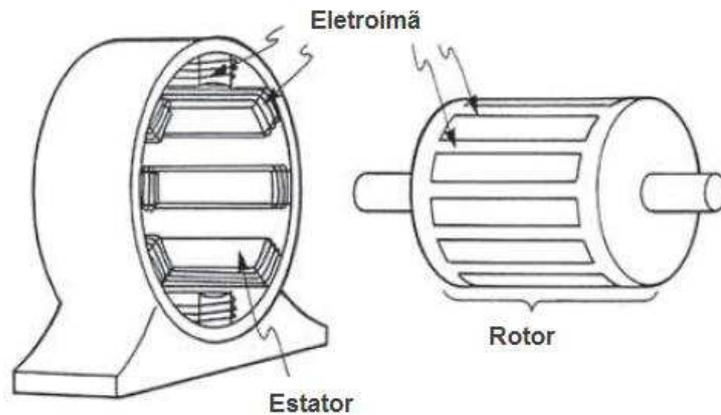
- Sapatas polares: finalidade de gerar o fluxo magnético.
- Pólos de comutação: finalidade de evitar centelhamento e um possível deslocamento da linha neutra.
- Conjunto porta-escovas: finalidade de alojar as escovas feitas de material condutor. Quando o comutador gira, as escovas deslizam e proporcionam a ligação elétrica entre a armadura e o exterior. Está montado de maneira em que possa ser movimentado para realizar ajuste da zona neutra.

✓ O rotor é a parte móvel da máquina, onde ficam abrigadas as bobinas ligadas ao comutador. É composto por:

- Induzido (ou armadura): localizado dentro do estator. O enrolamento se acomoda nas ranhuras das chapas de aço laminadas que constituem o induzido.
- Comutador: Tem por finalidade transferir a energia do enrolamento da armadura para o exterior;
- Eixo da armadura: tem por finalidade transmitir a potência mecânica desenvolvida pela máquina.

Tais estruturas podem ser verificadas na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Estrutura do motor CC

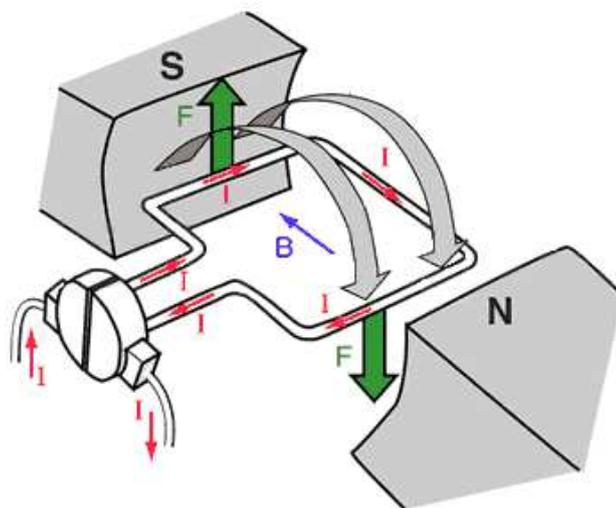


Fonte: Adaptado de Automatismo Industrial (2014)

O funcionamento do motor CC está baseado nas forças produzidas pela interação de campos magnéticos.

Uma corrente elétrica é fornecida pelo comutador. Quando a corrente elétrica passa através do condutor e do campo magnético fixo, é gerada uma força magnética que produz um torque. Essa força tende a mover o condutor para fora do campo fixo, originando a rotação do eixo do motor CC. O comutador deve inverter a corrente a cada meia volta do condutor para manter o torque agindo na mesma direção. (SILVEIRA, 2017). O funcionamento pode ser observado na Figura 2.4.

Figura 2.4 – Princípio de funcionamento do motor CC



Fonte: Adaptado de Silveira (2017)

A grande desvantagem do motor CC é a sua manutenção, pois suas peças são complexas e de custo é elevado. Além disso, exige maior conhecimento técnico e um programa de manutenção eficiente, pois, de acordo com Heckler (2011), é normal que haja desgaste do comutador e das escovas de acordo com seu uso. Para isso, é determinado um período para a troca das escovas e de uma periódica limpeza do comutador, a fim de se eliminar os resíduos nele depositados. Caso essa manutenção periódica não seja realizada, os resíduos acumulados no comutador podem aumentar a sua resistência de contato com as escovas e estes mesmo resíduos podem depositar-se entre as lâminas do comutador, causando um curto-circuito.

Diante dessas dificuldades, seu uso é dedicado em casos de extrema necessidade e em casos especiais, onde o alto custo de instalação e manutenção compensa as exigências.

2.2.2 MOTORES ELÉTRICOS DE CORRENTE ALTERNADA

Os motores de corrente alternada (CA) são motores acionados por meio de uma fonte de corrente alternada. São utilizados em larga escala devido a distribuição de energia elétrica ser normalmente em corrente alternada, além de longa vida útil, simplicidade construtiva, custo reduzido de compra e manutenção.

Segundo Silveira (2017), a maioria dos motores CA são constituídos de estator e rotor, e são definidos como:

✓ Estator: trata-se de um anel de metal com fendas que servem para prender as bobinas de fio isolado em um núcleo de aço. O campo magnético rotativo é produzido quando uma corrente alternada passa por esses fios.

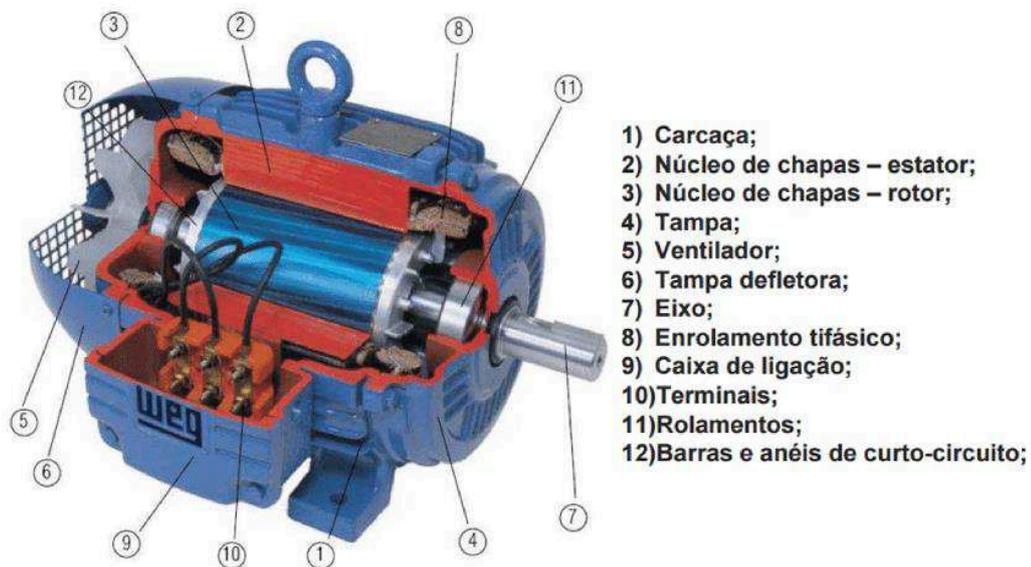
✓ Rotor: é uma haste formada por barras condutoras espaçadas no seu núcleo. Para que ocorra o giro do rotor e, conseqüentemente seu torque, é necessária a interação do núcleo do rotor com o campo magnético gerado pelos enrolamentos do estator. Todos os componentes são alojados dentro de um invólucro projetado para proteger o motor de possíveis danos e controlar a geração e dissipação de calor.

Pode-se observar na Figura 2.5 uma vista em corte de um motor CA com indicação de cada elemento que o compõe.

De acordo com Pinheiro (2018), seu funcionamento está baseado no conceito do campo girante. O rotor é ligado à fonte de alimentação e, quando seu enrolamento é energizado, cria-se um campo magnético girante. Conforme esse campo percorre através dos condutores do rotor, uma força eletromagnética é induzida nesses condutores, gerando uma corrente elétrica nos condutores. Quando os condutores do rotor são percorridos por corrente elétrica, passam a

interagir com o campo magnético girante do estator para produzir um torque eletromagnético que atua sobre os condutores do rotor, fazendo-o girar.

Figura 2.5 – Componentes do motor CA



Fonte: Santos (2016)

Os motores elétricos de corrente alternada, em especial os motores de indução trifásicos, são construtivamente muitos mais simples e robustos do que os motores de corrente contínua. São mais viáveis economicamente e mais empregados nas indústrias em geral por possuir dimensões menores e mais leves que um motor CC de mesma potência, além da necessidade de manutenção da máquina CA ser menor do que da máquina CC.

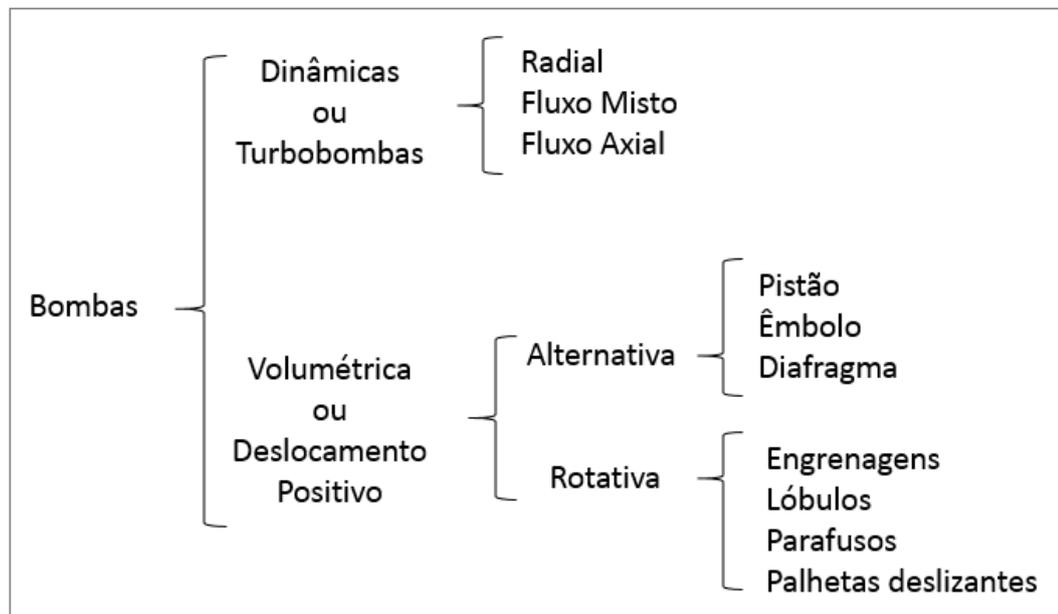
2.3 BOMBAS

Segundo UNESP (2018), bombas são máquinas hidráulicas geratrizes ou operatrizes cuja função é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. As bombas transformam o trabalho mecânico que recebem para seu funcionamento em energia, que é transferida ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética.

Atualmente pode-se encontrar diversos tipos de bombas no mercado. O que diferencia a classificação das bombas são suas aplicações e a forma como a energia é fornecida ao fluido.

Observa-se na Figura 2.6 a ilustração resumida da classificação dos principais tipos de bombas.

Figura 2.6 – Classificação dos tipos de bombas



Fonte: Adaptado de UNESP (2018)

No dado projeto, foi utilizado a bomba volumétrica rotativa do tipo parafuso. Portanto neste capítulo será enfatizado apenas este tipo de bomba.

2.3.1 BOMBA DE PARAFUSO

As bombas de parafuso são bombas volumétricas aplicadas geralmente em bombeamento de produtos viscosos e de dosagem precisa. Por trabalhar em baixa rotação, seus desgastes mecânicos são menores e fazem com que tenha alta durabilidade e baixo custo de manutenção corretiva.

O princípio de funcionamento de uma bomba de parafuso se baseia em preencher os espaços vazios entre o rotor e a carcaça com o fluido a ser bombeado. Na extremidade de entrada, a bomba recebe o fluido, e a medida que o rotor é movimentado são formados recintos vazios entre a rosca e o estator, que são preenchidos pelo fluido a ser transportado. Com o giro do rotor, estes vazios se deslocam contínua e progressivamente no sentido do passo da rosca, arrastando o líquido na direção de descarga da bomba (BARCELLOS, 2012).

O funcionamento de uma bomba de parafuso pode ser observado na Figura 2.7, onde pode-se observar sua construção interna e, de forma detalhada, o caminho de deslocamento do fluido.

Figura 2.7 – Construção interna de uma bomba de parafuso



Fonte: ViscoTec (2018)

2.4 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Quando um motor de indução é alimentado com corrente alternada, produz movimento rotativo. Para alterar a velocidade de um motor, era comum utilizar-se de artifícios mecânicos, que resultam em um sistema complexo e custoso quanto à manutenção, pois necessita de lubrificação e manutenção preventiva. Com a evolução dos semicondutores, foi possível a implementação de controles de velocidade puramente eletrônicos, dando origem aos inversores de tensão com controle de frequência (SANTOS, 2008).

Um inversor de frequência pode ser definido como um equipamento capaz de realizar o controle da frequência e da tensão que são aplicadas ao motor CA, possibilitando desta forma, o controle da sua velocidade de rotação com torque constante em toda faixa de velocidade. Outros nomes que pode-se encontrar no mercado são: *drive* de velocidade variável, *drive* ajustável de velocidade, *drive* de frequência ajustável, *drive* CA, *microdrive*, ou simplesmente inversor (SILVEIRA, 2017).

Santos (2008) comprova que a frequência é o parâmetro mais significativo para a mudança de velocidade de um motor, conforme a expressão (1).

$$\eta = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{p} \quad (1)$$

Onde:

η = velocidade do eixo do motor em rotações por minuto (RPM)

f = frequência da rede em Hertz (Hz)

s = escorregamento

p = número de pólos do motor

Com estes dados pode-se notar que é possível variar a velocidade de um motor alterando sua frequência de entrada, e que os demais parâmetros são de características construtivas do motor, não sendo possível alterá-los.

Basicamente o que o inversor faz é converter a tensão monofásica da rede elétrica convencional em uma tensão contínua e, posteriormente, converter esta tensão contínua em uma nova tensão alternada de frequência ajustável. Esta mesma conclusão foi alcançada por outros autores (PAVINI et al., 2010).

De maneira mais detalhada, o retificador recebe a tensão alternada da rede e a transforma em corrente contínua. Esta tensão é por sua vez filtrada para que possa formar o barramento de corrente contínua. Uma unidade central de processamento (UCP) é responsável por controlar as chaves lógicas, normalmente transistores, que são comutadas de forma ordenada a fim de produzir na saída uma fonte de alimentação trifásica com a mesma defasagem da rede de alimentação, porém com o controle total da frequência, já que o instante do disparo dos transistores é totalmente controlado pela UCP. Para realizar o controle de abertura e fechamento das chaves lógicas, os inversores modernos utilizam a técnica de PWM (*Pulse Width Modulation*). Esta técnica permite gerar ondas senoidais com frequências variadas e precisão de até 0,01Hz (SANTOS, 2008).

2.5 ROBÔS INDUSTRIAIS

Um robô industrial pode ser definido como uma máquina manipuladora automática, normalmente composta por seis eixos móveis, programável, cuja base pode ser fixa ou móvel. São amplamente utilizados nas indústrias em aplicações como soldagem, pintura, montagem, movimentação de cargas, inspeção de produtos, realização de testes, aplicação de cola, tudo realizado com máxima precisão, como pode ser verificado na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Linha de produção automatizada por robôs



Fonte: ABB (2018)

Os robôs industriais ajudam os fabricantes a melhorarem a produtividade, qualidade do produto e a segurança do trabalhador, pois desempenham tarefas que necessitam esforço repetitivo, precisão, rapidez e força.

2.5.1 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM ROBÔ INDUSTRIAL

A Norma ISO 8373 define um robô industrial como: “Um manipulador controlado automaticamente, reprogramável, multiuso, programável em três ou mais eixos, que pode ser fixo ou móvel para uso em aplicações de automação industrial”.

A partir desta definição, Antunes (2015) verificou e definiu os principais componentes como:

- ✓ Manipulador: a estrutura física do robô, muitas vezes referido como o braço do robô, é composto por um conjunto de estruturas rígidas ligadas por juntas. O dispositivo ligado ao manipulador que tem por objetivo executar as tarefas definidas pelo utilizador, é denominado de órgão terminal (ex. garra ou ferramenta).
- ✓ Controlador: é o cérebro do robô industrial. Pode ser entendido por um computador onde ficam salvas as rotinas do programa e as funções de controle associadas aos eixos. Juntamente com o controlador existe um controle portátil que permite a interação entre o robô e o utilizador.
- ✓ Unidade de potência: painel responsável pelo circuito e comandos de potência.

É possível verificar na Figura 2.9, todos os componentes definidos por Antunes (2015).

Figura 2.9 – Componentes de um robô industrial articulado



Fonte: Adaptado de Antunes (2015)

2.5.2 PROGRAMAÇÃO DE ROBÔS INDUSTRIAIS

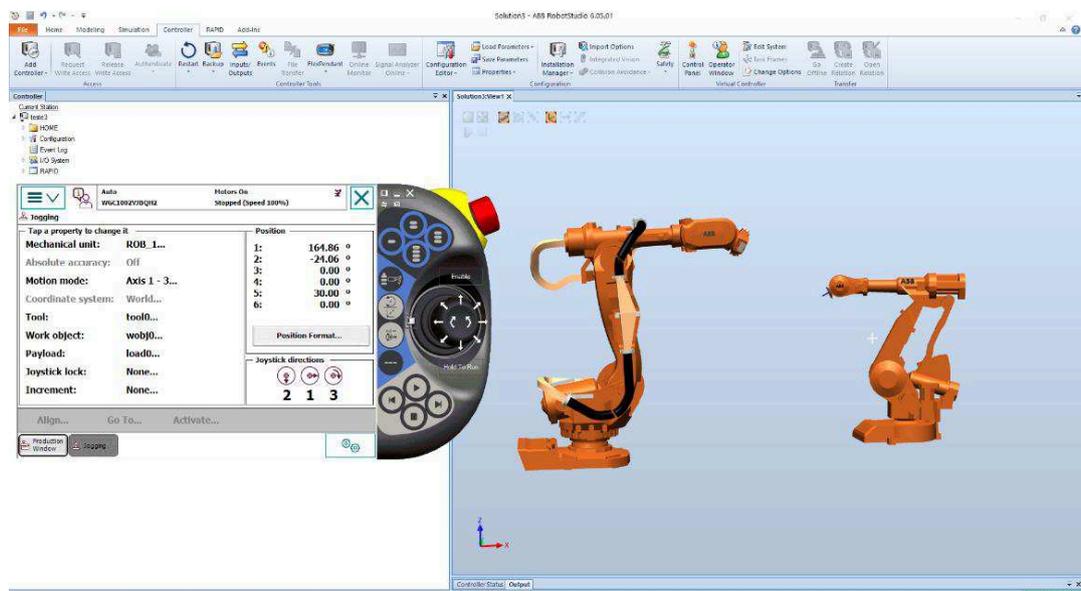
A programação de um robô trata de indicar a sequência de tarefas e ações que o robô deverá cumprir. Entretanto, cada fabricante desenvolveu seu próprio método, sendo válido unicamente para seus próprios robôs.

É necessário decompor a rotina principal em várias sub-rotinas dedicadas a cada etapa do processo, onde são especificados cada um dos movimentos do robô incluindo velocidade, aceleração, precisão do movimento, bem como controle da ferramenta ou garra adicionado ao punho do manipulador.

Como foi dito, cada fabricante desenvolveu um método, ou seja, uma linguagem específica para seus robôs. No posposto projeto, foi utilizado um manipulador da empresa Asea Brown Boveri (ABB), cuja linguagem de programação é RAPID.

A ABB disponibiliza um *software* próprio para programação, o RobotStudio, apresentado na Figura 2.10. Esse software é o mais indicado para a programação de seus robôs, seja em off-line ou online. Isto se deve ao fato do RobotStudio ser uma cópia fiel do controlador do robô. Assim, garante-se que o controlador real irá executar da mesma maneira as simulações realizadas no controlador virtual.

Figura 2.10 – Interface do *software* RobotStudio



Fonte: Autora (2018)

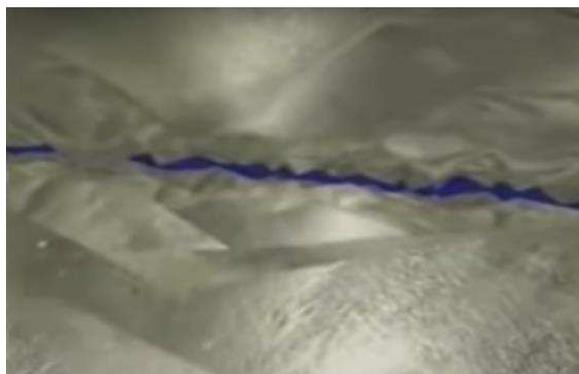
Alonso (2012) define que RAPID é uma linguagem de programação de alto nível devido à sua característica de trabalhar com instruções escritas em linguagens interpretáveis como a língua inglesa. Sua estrutura inclui recursos similares aos das modernas linguagens de programação estruturada, funções e matrizes em até três dimensões, programas modulares, rotinas e definição de dados globais e locais. Um complexo conjunto de determinados comandos permite a programação e controle do manipulador para execução das tarefas de movimentação.

2.6 SELANTE ANAERÓBICO

Os vedantes anaeróbicos foram desenvolvidos para substituir as juntas convencionais por uma junta líquida normalmente de fácil aplicação.

Segundo a fabricante Loctite (2010), mesmo os flanges mais bem acabados deixam grandes espaços vazios em sua junção, bem como folgas, falhas de acabamento, sulcos ou riscos na face, que são representados na Figura 2.11. Em geral, o contato efetivo entre as superfícies não consegue ultrapassar os 30%.

Figura 2.11 – Falhas de acabamento em uma superfície



Fonte: Loctite (2010)

Enquanto está em contato com o ar, os selantes anaeróbicos não se solidificam, permitindo que sua aplicação seja moldada de acordo com as irregularidades da superfície,

obtendo 100% de preenchimento dos espaços entre as superfícies montadas, proporcionando alta resistência a pressão, vibração e calor.

Devido à redução do número de peças e da mão de obra, proporcionam economia, admitindo uma tolerância maior de trabalho, eliminando a necessidade de usinagens precisas, diminuindo etapas de montagem e aumentando a vida útil. Por serem normalmente monocomponentes e livres de solventes, podem automatizar e acelerar as linhas de produção, através de células automatizadas com dosadores de alta precisão.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

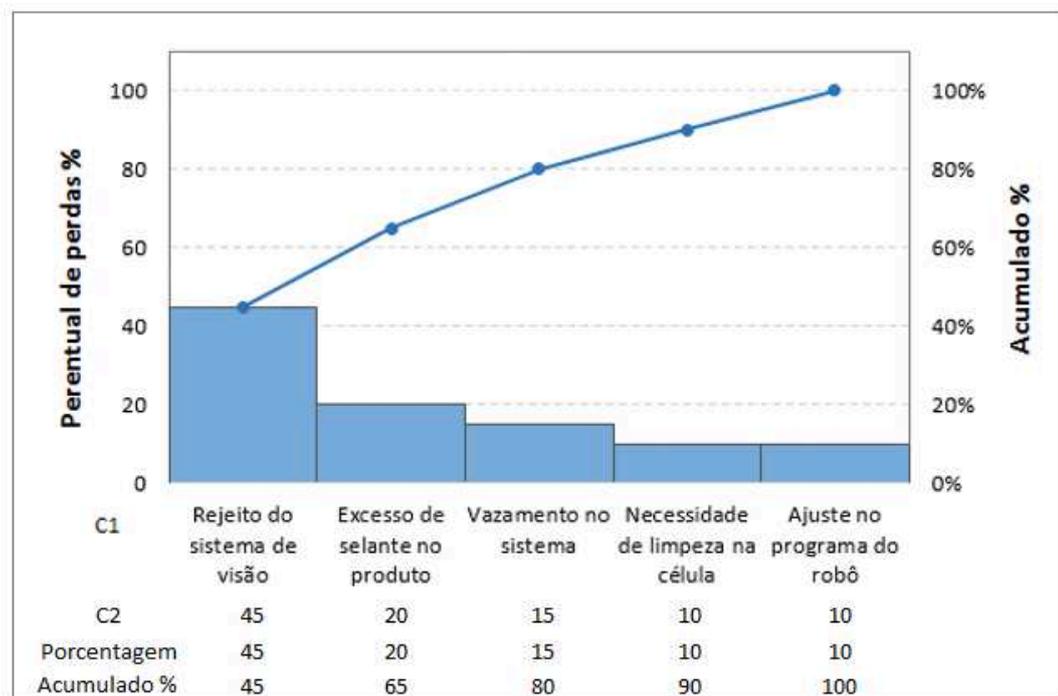
Com o objetivo de atuar nas principais causas raízes para se obter um padrão de aplicação de selante em uma determinada indústria automotiva, dividiu-se o trabalho em três etapas: 1 – Medição, onde foram medidas e determinadas todas as falhas ocorridas na estação de aplicação, e o número de retrabalho necessário proveniente do elevado índice de falhas de aplicação; 2 – Análise, no qual analisou-se todas as causas raízes do problema; 3 – Implementação, onde designou-se os planos de ações para eliminar as causas raízes a fim de eliminar o problema.

3.1 MEDIÇÃO

Foram utilizados dois indicadores da produção para analisar a estação mais crítica. Primeiramente, analisou-se o indicador de qualidade FTT, que consiste na porcentagem de unidades que completam o processo e atingem o padrão de qualidade sem serem refugadas e retrabalhadas. Foi observado que o indicador estava sendo impactado diretamente pela quantidade de rejeitos da célula de aplicação de selante. Posteriormente, analisou-se os indicadores de manutenção, entre eles, o número de ordens de serviços sobre esta estação ser demasiadamente maior comparada às outras máquinas, e também, os indicadores de *Top Fault*, onde a estação era a primeira colocada do *Ranking* quanto ao número de ocorrências, duração das falhas, e tempo médio necessário para reparo e liberação da máquina para produção.

Com os indicadores de qualidade e manutenção relacionados, definiu-se a criticidade do processo de aplicação de selantes, e listou-se as principais ocorrências, como pode ser verificado na Figura 3.1.

Verificou-se um percentual maior de rejeitos de aplicação pelo sistema de visão, o qual impactava o FTT. Posteriormente tem-se o excesso de selante aplicado por unidade, vazamento de selante ao longo do sistema, necessidade de limpeza dentro da célula e no sistema em si, e perda por necessidade de parada para ajuste no programa do robô.

Figura 3.1 - *Ranking* total das ocorrências provenientes da célula de aplicação

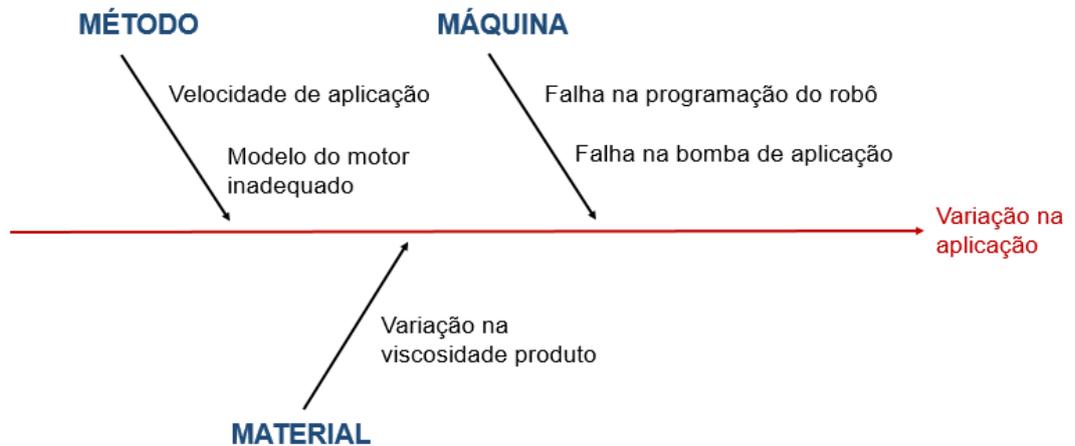
Fonte: Autora (2018)

3.2 ANÁLISE

Com os problemas listados, foi possível analisar cada item e mapear as potenciais causas-raízes provenientes, no qual utilizou-se uma ferramenta chamada Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Causa e Efeito.

O propósito do Diagrama de Ishikawa é documentar graficamente e analisar as causas-raízes relacionadas a um problema ou oportunidade. Sendo assim, as principais causas foram dispersadas em três categorias distintas, como pode-se observar na Figura 3.2, que são: Material, Método e Máquina. Através de estudos realizados sobre a teoria do funcionamento de uma célula automática de aplicação de vedantes e um trabalho em conjunto com especialistas de manutenção, identificou-se e mapeou-se todas as potenciais causas-raízes do problema, e foi feito uma matriz de causa e efeito, apresentada pela Figura 3.3.

Figura 3.2 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Autora (2018)

Figura 3.3 – Matriz de causa e efeito

Matriz de Causa & Efeito			
Avaliação de importância para o cliente		10	Total de falhas
Saídas do processo		Instabilidade no sistema de aplicação de selante	
Entradas do processo			
1	Modelo do motor inadequado	10	100
2	Velocidade de aplicação	10	100
3	Falha na bomba de aplicação	9	90
4	Falha na programação do robô	8	80
5	Variação na viscosidade do produto	7	70

Fonte: Autora (2018)

Na coluna da matriz foi colocado o efeito causado e que se desejava melhorar, que no caso era a instabilidade no sistema de aplicação de selante. Em seguida, foi colocado acima em valor de 1 a 10 (ordem crescente de grau de importância) para este efeito, caracterizando a importância máxima do efeito.

Em seguida, listou-se todas as potenciais causas definidas no diagrama. Para cada uma das causas, atribui-se valor de 0 a 10 (onde 0 significa que a causa não possui relação alguma com o efeito, e 10 significa que a causa possui 100% de relação com o efeito).

Por último, calculou-se o produto entre o valor do peso do efeito com o valor atribuído a determinada causa.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO

Após mapeamento e análise dos diagramas, estabeleceu-se que seriam investigadas todas as potenciais causas pré-estabelecidas, tais como modelo do motor inadequado, velocidade de aplicação, falha na bomba de aplicação, falha na programação do robô, variação na viscosidade de produto, temperatura do vedante, temperatura do sistema de aplicação, entrada de ar no sistema e treinamento, no qual cada um está descrito a seguir.

3.3.1 MODELO DO MOTOR INADEQUADO

O dimensionamento incorreto do motor foi verificado como uma das potenciais causas raízes quando se observou a alta necessidade de manutenção por defeito e desgaste apresentado no mesmo.

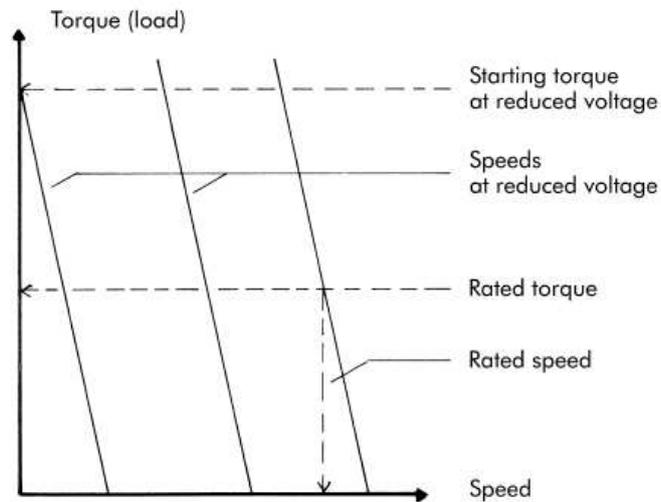
Assim sendo, averiguou-se o funcionamento e as características do motor montado ao sistema. Percebeu-se então que os dados de funcionamento não eram adequados ao processo.

Devido à variação na espessura da camada de selante, era necessário aumentar ou diminuir a velocidade do motor constantemente, a fim de que o sistema aplicasse maior ou menor quantidade de cola, conforme a necessidade.

O dimensionamento incorreto do motor ficou evidente quando se fez necessário aplicar uma grande quantidade de selante, onde ocorreu uma grande variação na velocidade do motor e pouca variação na vazão de selante.

Foi consultado então o *data sheet* do motor, onde o fabricante apresenta uma curva de velocidade inversamente proporcional ao torque, como apresenta a Figura 3.4

Figura 3.4 – Curva Torque x Velocidade do motor CC



Fonte: BAUER (2018)

Após analisar o gráfico foi concluído que a vazão desejada não era obtida, pois com o aumento da velocidade o torque do motor era demasiadamente reduzido, ao ponto de ser incapaz de rotacionar a bomba, devido à alta viscosidade do selante. Deste modo, constatou-se a necessidade de um motor com maior capacidade de torque.

Além do torque subdimensionado, o motor possuía rotação incompatível com a rotação especificada pelo fabricante da bomba, cujo o motor era acoplado. Segundo o fabricante, a bomba (modelo 3RD8-H) deve trabalhar com rotação máxima de 150 RPM (Rotações por minutos), e o motor de corrente contínua aplicava, após a redução, cerca de 480 RPM.

A partir destas características foi possível determinar um novo modelo de motor que atendesse as necessidades do sistema, e foi adaptado então um motor de corrente alternada com 6,9Nm de torque e 164 RPM.

3.3.2 VELOCIDADE DE APLICAÇÃO

Devido a mudança do tipo do motor para corrente alternada, foi necessário instalar um inversor de frequência para controlar sua velocidade, pois a RPM de um motor CA é determinada pela frequência da rede.

Foi instalado um inversor MICROMASTER 420, com potenciômetro para ajuste de velocidade. Este potenciômetro foi limitado com as tolerâncias de mínima e máxima rotação que o fabricante da bomba indica.

A lista e descrição dos parâmetros configurados no MICROMASTER 420 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Lista de parâmetros configurados no MICROMASTER 420

Parâmetro	Descrição do Parâmetro	Seleção
P0003	Nível de Acesso do Usuário	2 - Estendido
P0010	Comissionamento Rápido	1 - Comissionamento rápido
P0100	Operação Europa/América	2 - Potência em KW; frequência 60Hz
P0304	Tensão Nominal do Motor	380 V
P0305	Corrente Nominal do Motor	0,45 A
P0307	Potência Nominal do Motor	0,12 Kw
P0308	CosPhi do Motor	0.73
P0310	Frequência Nominal do Motor	60 Hz
P0311	Velocidade Nominal do Motor	164 rpm
P0335	Refrigeração do Motor	0 - Auto ventilação
P0640	Fator de Sobrecarga do Motor	150%
P0700	Seleção da Fonte de Comando	2 - Régua de bornes (entradas digitais)
P0701	Função de entrada digital	1 - ON/OFF
P1000	Seleção da Referência de Frequência	2 - Entrada analógica 1
P1080	Frequência mínima de trabalho	0Hz
P1082	Frequência máxima de trabalho	60Hz
P1120	Rampa de aceleração	2s
P1121	Rampa de desaceleração	2s
P1135	Rampa de desaceleração em emergência	1s

Parâmetro	Descrição do Parâmetro	Seleção
P1300	Motor de controle	0 - V/f com característica linear
P3900	Fim do comissionamento rápido	3 - Com cálculos do motor e sem reset dos parâmetros
P1910	Seleciona identificação do motor	1 - Identificação de todos os parâmetros com atualização

Fonte: Autora (2018).

Um relé de comando é responsável por dar partida e por desligar o motor, sendo este sinal acionado pelo robô. Este sinal foi configurado na entrada digital do inversor para realizar esta função.

3.3.3 FALHA NA BOMBA DE APLICAÇÃO

Conforme foi citado, o motor de corrente contínua estava com rotação superdimensionada para o sistema, ultrapassando cerca de três vezes o indicado pelo fabricante da bomba, resultando em danos a mesma.

A constante variação na viscosidade do selante ao longo do dia fazia necessário a variação da velocidade do motor. Observou-se que no início do turno ou em dias mais frios, a vazão era reduzida devido à alta viscosidade do selante. Desta forma, era aumentado o potenciômetro com intenção de compensar esta necessidade. Porém, com a voltagem aumentada sobre o motor e a alta viscosidade do material, o motor não atingia a rotação desejada por falta de torque, e isso era prejudicial ao mesmo. Durante as horas mais quentes do dia, o produto atingia menor viscosidade, reduzindo o torque necessário para o fluxo do sistema e permitindo maior rotação do motor, ultrapassando, assim, a velocidade máxima permitida pela bomba. A maior rotação do motor desencadeava outros problemas, tais como danos a vedação da bomba e contaminação dos rolamentos.

Com inspeção e realização de manutenção preventiva na bomba após a troca para um motor adequado, os defeitos apresentados foram eliminados.

3.3.4 VARIAÇÃO NA VISCOSIDADE DO PRODUTO

Após verificar as causas raízes dos itens anteriores, concluiu-se que a variação na viscosidade era o problema principal do sistema.

Foi necessário estudar a sensibilidade do vedante às variações de temperatura em *data sheets*, manuais do produto e através de comunicação com fornecedor, além da realização de testes. Concluiu-se então que a melhor faixa de trabalho, sem variar viscosidade, era de 25°C a 30°C.

Em maiores temperaturas, acima de 30°C, a viscosidade estaria muito baixa. Porém, com a velocidade do motor controlada pelo inversor de frequência, este cenário não seria problema, pois a rotação do motor não iria mais variar, mesmo que o torque fosse reduzido. Em baixas temperaturas, o selante começava a contribuir para falhas no sistema, como na bomba ou na válvula de aplicação do fluido.

Foi instalado então, um controlador de temperatura com finalidade de acionar um aquecedor, localizado no painel do sistema, e uma manta térmica que envolve a mangueira por onde percorre o selante, desde a saída da bomba até a válvula de aplicação.

O controlador de temperatura Novus N1030, como apresenta a Figura 3.5, recebe a informação de leitura do termômetro, que fica localizado dentro do painel, e ao atingir o valor mínimo pré-estabelecido de 25°C, aciona um relé interno.

Figura 3.5 – Controlador de temperatura



Fonte: Novus Thermal Devices (2018)

Este relé interno libera alimentação para acionar o aquecedor e a manta térmica. Após o acionamento de ambos, o painel e a mangueira tendem a esquentar e aumentar a viscosidade do selante. Após atingir 30°C (Celsius), o controlador atinge sua temperatura máxima e abre o relé, desligando o sistema de aquecimento. O processo se mantém continuamente, mantendo a estabilidade do fluxo de aplicação.

3.3.5 FALHA NA PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ

Mesmo com um fluxo de vazão controlado e estabilizado, foi verificado que a camada de selante aplicada ainda possuía variações ao longo do trajeto.

Foi verificado pela equipe de manutenção que ao longo do trajeto de aplicação, o robô executava os movimentos com velocidades diferentes em cada trecho. Sendo assim, com um fluxo de aplicação constante, a velocidade que o robô passa com a flange por esse fluxo é diretamente responsável pela quantidade de volume de selante aplicado sobre a mesma. Em movimentos mais lentos, havia maior quantidade de selante aplicado do que em movimentos mais rápidos. Outro ponto verificado, foi a perpendicularidade da flange durante a aplicação, e também foi necessário ajustar a mesma com auxílio de um nível, para que o ângulo da flange se mantesse o mesmo durante todo o percurso.

Foi designado à equipe de manutenção para fazer uma verificação ponto a ponto a fim de averiguar as velocidades e a perpendicularidade dos pontos. Foram verificadas divergências nos movimentos e foram padronizadas todas velocidades, além de nivelar a perpendicularidade. Após a correção, na Figura 3.6 nota-se que todos os movimentos relacionados com a aplicação estão funcionando com a mesma velocidade de $v100$ (100mm/s), fazendo com que o fluxo de selante aplicado seja sempre o mesmo.

Figura 3.6 – Rotina de aplicação de selante

```

PROC rPontosAplicacao()
  !Rotina de aplicação de selante na flange
  MoveJ pAproximacao,v4000,z20,tPeca;
  MoveL pAproxTrecho1,v1000,z5,tGeral\WObj:=wobjStac;
  Set DO_ABRE_VALVULA;
  !Trecho 1
  MoveL pTrecho1_1, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho1_2, pTrecho1_3, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho1_3, pTrecho1_5, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho1_4, pTrecho1_7, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho1_5, pTrecho1_9, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  !Trecho 2
  MoveC pTrecho2_1, pTrecho2_3, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho2_2, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  !Trecho 3
  MoveC pTrecho3_1, pTrecho3_3, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho3_2, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho3_3, pTrecho3_6, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  !Trecho 4
  MoveL pTrecho4_1, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho4_2, pTrecho4_3, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho4_3, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho4_4, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho4_5, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho4_6, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  !Trecho 8
  MoveL pTrecho8_1, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho8_2, pTrecho8_4, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho8_3, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho8_4, pTrecho8_7, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho8_5, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho8_6, pTrecho8_10, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  !Trecho7
  MoveL pTrecho7_1, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho7_2, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho7_3, pTrecho7_4, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho7_4, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  !Trecho 6
  MoveL pTrecho6_1, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho6_2, pTrecho6_4, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho6_3, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  !Trecho 5
  MoveC pTrecho5_1, pTrecho5_3, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho5_2, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho5_3, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveL pTrecho5_4, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho5_5, pTrecho5_8, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho5_6, pTrecho5_10, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  MoveC pTrecho5_7, pTrecho5_12, v100, z1, tEstac\WObj:=wobjStac;
  Reset DO_ABRE_VALVULA;
  MoveL pAproxTrecho5, v600, z5, tGeral\WObj:=wobjStac;
  MoveL pAproximacao, v1000, z20, tGeral\WObj:=wobjStac;
  !
ENDPROC

```

Fonte: Autora (2018)

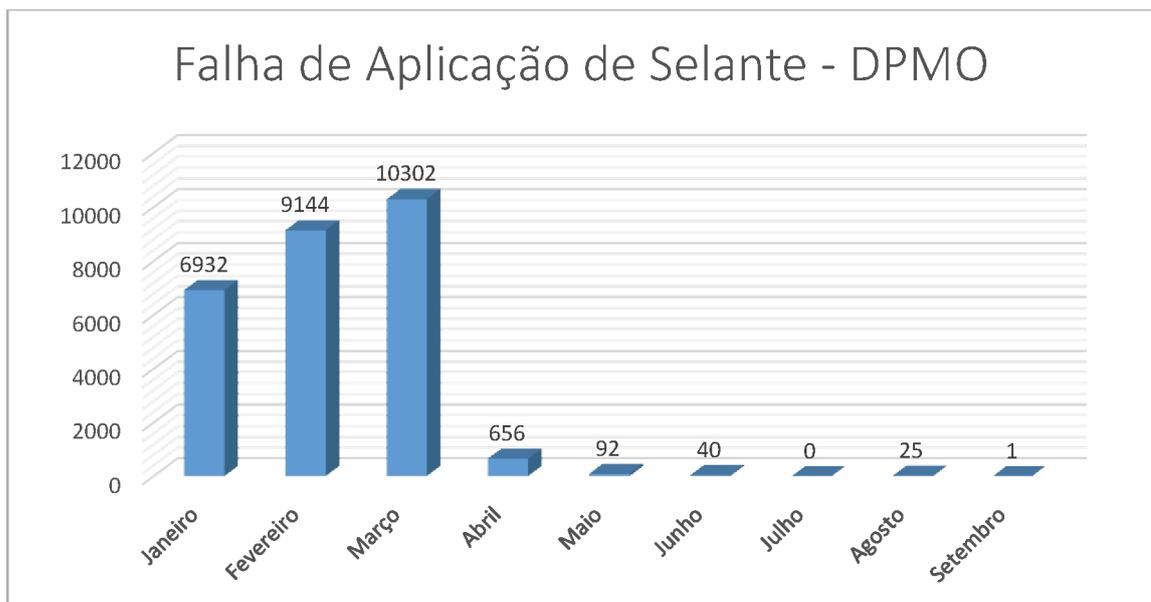
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todo o trabalho foi realizado com validações e intervenções no processo, como nos testes de aplicação de selante em peça padrão e verificação visual da trajetória, teste de Zero Defeito em 100% das unidades produzidas por sistema de visão, e teste de vazamento após fechamento e montagem finalizada do produto. Todos os testes foram bem sucedidos, e comprovaram que todas as modificações no sistema não alteraram a qualidade do produto final, mas padronizaram e estabilizaram o funcionamento do sistema, melhorando sua qualidade e os indicadores de FTT.

Como método de análise e solução de problema foi utilizado a metodologia 6 Sigma. Esta metodologia é um sistema de gestão quantitativo e disciplinado, pois trabalha com estatística baseada em dados e exige um tempo mínimo de dedicação em função de um bom resultado. Essa metodologia trabalha com três objetivos principais, que são: redução de custos, otimização de produtos e processos e incremento da satisfação do cliente (GONÇALVES, 2017).

Pode-se verificar na Figura 3.7 a diferença no índice de rejeitos e retrabalhos de peças por milhão de unidades produzidas (DPMO).

Figura 3.7 – Índice de rejeitos



Fonte: Autora (2018)

Pode-se verificar que, quando todas as melhorias foram realizadas, o indicador foi drasticamente reduzido. É válido orientar que, após a implementação das mudanças, foram necessários pequenos ajustes ao longo das semanas até que o sistema se encontrasse totalmente confiável e à prova de qualquer variação de aplicação.

5 CONCLUSÃO

A indústria automobilística vem exigindo cada vez mais o controle total dos parâmetros de aplicação de selante por células robóticas, devido à grande aplicabilidade e alta quantidade de operações automáticas deste ramo efetuados diariamente nas empresas. A indústria em estudo por exemplo, pode chegar a cerca de 1.200 aplicações de selante anaeróbico em seu processo por dia, apenas na operação analisada.

Isso faz com que a atenção e dedicação em busca do total controle deste processo seja intensa, aumentando assim a busca por equipamentos capazes de controlar e identificar problemas que ocorrem durante a aplicação, como o caso de instabilidade do fluxo de selante a ser aplicado apresentado nesse trabalho.

Este trabalho identificou a dificuldade em padronizar o processo de aplicação de vedantes, no qual se fez um estudo das principais causas da variação e instabilidade do processo, e encontrou soluções pontuais para eliminar todo tipo de rejeição e retrabalho, aumentando a qualidade do processo.

Além disso, a estabilidade do sistema de aplicação trouxe ganhos com reduções de limpezas e manutenções, redução de tempo de ciclo, ganhos de produtividade, estabilidade e padronização do processo, menor retrabalho e baixo índice de vazamento.

Devido à aplicação de selantes ser um processo com muitas variáveis, foi extremamente importante efetuar um trabalho detalhado para a definição dos parâmetros e variáveis corretamente, uma vez que facilmente podem aparecer problemas de qualidade e de falhas na aplicação.

Houve uma revisão e atualização do plano de manutenção preventiva da fábrica, a fim de que a equipe de manutenção possa controlar todas causa-raízes mostradas nesse trabalho, antes de apresentarem problema.

Um resultado importante desse projeto foi apresentar de forma simples e clara, como a utilização das técnicas de projeto e análise estatística é eficiente para resolução de problemas críticos de processo de fabricação. Uma vez que esses experimentos e medições são realizados, procura-se reduzir o número de produtos com defeitos fabricados e, responder a uma série de questões relacionadas aos parâmetros que influenciam o desempenho do produto e processo final. Quando combinado com uma técnica de metodologia, é possível determinar qual o ponto

ótimo do processo de aplicação de selantes, ou seja, quais valores de entrada tem o melhor desempenho para a saída.

Como sugestão para futuros trabalhos, orienta-se a continuação das melhorias no processo de aplicação de selantes, uma vez que as falhas decorrentes após a implementação e ajuste das melhorias foram falsos rejeitos provenientes do Zero Defeito, que faz verificação da aplicação por sistema de visão. É possível analisar a possibilidade de uma câmera capaz de realizar a inspeção e medição da espessura da camada de selante aplicada, com comunicação e processamento mais veloz, a fim de reduzir tempo de ciclo e obter mais controle sobre a imagem capturada, com medições mais precisas e menos suscetíveis às mínimas variações existentes de luminosidade, foco e brilho, buscando sempre uma melhoria contínua do processo. Além da possibilidade de análise do comportamento dos sistemas de aplicação de diferentes tipos de vedantes existentes no mercado, uma vez que cada tipo de selante possui diferentes densidades e viscosidades.

REFERÊNCIAS

ABB. **Rápida e flexível, segura e resistente**, 2018. Disponível em: <<http://www.abb.com.br/cawp/seitp202/d9026844aebfb1328325799e003d9284.aspx>>. Acesso em: 09 de outubro de 2018.

ALONSO, A. F. **Sistema CAD/CAM para usinagem com recursos de robótica industrial**, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS – 2012 – 17 páginas.

ANTUNES, J. P. M. D. **Programação de robôs industriais em operações de maquinagem**. 2015. 98p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Ramo de Automação, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2015

AUTOMATISMO INDUSTRIAL. **Motores síncronos**, 2014. Disponível em: <<https://automatismoidustrial.com/motores/motores-sincronos/>>. Acesso em: 15 de setembro de 2018.

BARCELLOS, C. R. **Bombas de deslocamento positivo**. Artigo online, 2012. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/barcecr002/bombas-de-deslocamento-positivo>>. Acesso em: 24 de setembro de 2018

BAUER. **Small Industrial Geared Motors**, Catálogo, 2018. Disponível em: <<http://www.taler-ing.si/uploads/tiny/files/Reduktor-gonilo-pogonska%20tehnika-BAUER-Dvizni%20sistemi-dvigala-ABUS-Industrijska%20oprema-Katalog%20KIG%202000%20GB.pdf>>. Acesso em: 13 de julho de 2018.

GONÇALVES, V. **Metodologia Seis Sigma: o que é e como funciona?**. Artigo online, 2017. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/metodologia-seis-sigma>>. Acesso em: 29 de setembro de 2018.

GRUPO RUBBER FAST. **Adesivo elimina juntas 3m**, 2018. Disponível em: <https://www.gruporubberfast.com.br/produto/409_3m/adesivo-elimina-juntas-3m.html>. Acesso em: 11 de julho de 2018.

HECKLER, R. S. **Comparativo das aplicações de Motores CC e Motores de Indução Trifásicos**, Artigo, Universidade do Vale do Rio do Peixe, SC – 2011 – 7 Páginas.

ISO 8373. **Norma técnica de robôs e dispositivos robóticos**. Technical Committee ISO/TC 184, 2012.

LOCTITE. **Soluções Loctite para Vedação de Flanges e Roscas**, 2010. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4Env3q-GAWk>>. Acesso em 15 de setembro de 2018.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais: 7.ed.** Rio de Janeiro: LTC, 2006.

NOVUS THERMAL DEVICES. **Controlador de temperatura N1030**, 2018. Disponível em: <https://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=946383&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=637294&Idioma=55#>. Acesso em 24 de setembro de 2018.

PAVINI, L. F.; SOUZA, M. R.; FILHO, R. M.; BARBEIRO, T. L. S., **Inversor de frequência microcontrolado**. São Paulo: UNIRP, 2010.

PINHEIRO, H. H. C. **Motores trifásicos de CA**. Artigo online, 2018. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/aula-de-motores-trifasicos-de-ca>>. Acesso em: 03 de setembro de 2018.

SANTOS, W. P. dos. **Otimização no processo de embalagem de salsichas**, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Pernambuco, PE – 2008 – 53 Páginas.

SANTOS, A. P. M. **Estudo da influência da tensão na partida e operação dos motores de indução, utilizando o ATPDRAW**, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Pernambuco, PE - 2016 – 71 Páginas.

SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, **Máquinas elétricas e acionamentos**, 2008, apostila teórica, SP - 174 páginas.

SILVEIRA, C. B. **Motor CC: Saiba como funciona e de que forma especificar**, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/motor-cc/>>. Acesso em: 12 de setembro de 2018.

SILVEIRA, C. B. **O que faz um inversor de frequência e como especificar?**, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/inversor-de-frequencia/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2018

SILVEIRA, C. B. **Você sabe quais os tipos de motor elétrico CA e como especificar?**, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/motor-eletrico/>>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.

UNESP, Universidade Estadual Paulista em Ilha Solteira. **Bombas hidráulicas**. Artigo online, 2018. Disponível em: <<http://www.dem.feis.unesp.br/intranet/capitulo9.pdf>>. Acesso em 03 de setembro de 2018.

VISCOTEC, **ViscoTec RD-EC Dispensers**, 2018. Disponível em: <https://www.viscotec.de/media/VT_Brosch%C3%BCre_KCh_engl_klein.pdf>. Acesso em 04 de setembro de 2018.