

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA

GABRIEL KISZKA SCHEFFER

**ANÁLISE DO PROBLEMA COM UMA FITA ALUMÍNIO NA
MONTAGEM DE UMA CAIXA FREEZER: UM ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

GABRIEL KISZKA SCHEFFER

**ANÁLISE DO PROBLEMA COM UMA FITA ALUMÍNIO NA
MONTAGEM DE UMA CAIXA FREEZER: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Soares

PONTA GROSSA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DO PROBLEMA COM UMA FITA ALUMÍNIO NA MONTAGEM DE UMA CAIXA FREEZER: UM ESTUDO DE CASO

por

GABRIEL KISZKA SCHEFFER

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 5 de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Orientador

Prof. Me. Paulo Roberto Campos Alcover Junior
Membro Titular

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho**
Coordenador do Curso

RESUMO

SCHEFFER, K. Gabriel. **Análise do Problema Com Uma Fita Alumínio na Montagem De Uma Caixa Freezer**: Um estudo de caso. 2018. 39f. Trabalho de conclusão de Curso Bacharelado Em Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

A criação e uso de eletrodomésticos foi de fundamental importância para o desenvolvimento e crescimento da população, principalmente se tratando de toda a linha branca, os quais dão praticidade no dia a dia de todos. Este trabalho tem como objetivo o entendimento do problema de amassamento do tubo evaporador em freezers horizontais, no momento em que é aplicado uma fita de alumínio com reforço de polipropileno, com função de fazer o acoplamento do evaporador na caixa interna (caixa base do refrigerador), para sugerir melhorias, a fim de evitar este problema. O estudo foi realizado através da ferramenta Ciclo PDCA como base para organização das ações e entendimento do problema, junto de conhecimentos técnicos sobre fatores importantes para a aplicação da fita, tais como adesividade, resistência a tração, *tack*, alongamento junto de ferramentas estatísticas para compreensão da variação existente no processo, como árvore de amostragem, componentes de variação. Para a identificação e avaliação das propriedades mecânicas, foram realizados testes em laboratório. Foi reduzido a taxa de retrabalho significativamente e aplicado uma melhoria no processo gerando uma redução de custo.

Palavras-chave: Ciclo PDCA. Fita alumínio. Propriedades mecânicas. Refrigerador.

ABSTRACT

SCHEFFER, K. Gabriel. **Analysis of the Problem With The Aluminum Tape in the Assembly of the Freezer Box**: A case study. 2018. 39f. Work of Conclusion Course Graduation in Mechanical Engineering - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2018.

The creation and use of home appliances was of fundamental importance for the development and growth of the population, especially when dealing with all the white line, which give practicality in the everyday of all. The objective of this work is to understand the problem of kneading the evaporator tube in horizontal freezers, when an aluminum tape with polypropylene reinforcement is used to make the coupling of the evaporator in the inner box (refrigerator base). to suggest improvements in order to avoid this problem. The study was carried out through the Cycle PDCA tool as a basis for the organization of actions and understanding of the problem, together with technical knowledge about important factors for the application of the tape, such as adhesiveness, tensile strength, tack, of the variation in the process, such as sampling tree, variation components. For the identification and evaluation of the mechanical properties, laboratory tests were performed. The rework rate was significantly reduced and an improvement was applied in the process getting cost reduction.

Keywords: PDCA Cycle. Aluminum tape. Mechanical properties. Refrigerator.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 PROBLEMA.....	8
1.2 JUSTIFICATIVA.....	9
1.3 OBJETIVO GERAL	9
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS	10
2.1.1 Adesivos e Adesividade	10
2.1.2 Tensão e Deformação	12
2.2 MÉTODO DE MELHORIA PDCA	14
2.2.1 Etapas do Ciclo PDCA	16
3 METODOLOGIA	20
4 RESULTADOS.....	25
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	35
6 CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Configuração de um produto sensível a pressão

Figura 2 - Mecanismos de adesão

Figura 3 - Tensão e Deformação

Figura 4 – Ciclo PDCA

Figura 5 – Rampa de melhoria

Figura 6 – Ciclo PDCA: Alteração de parâmetros de processo

Figura 7 – Ciclo PDCA: Componentes de variação do processo

Figura 8 – Ciclo PDCA: Propriedades mecânicas com dados laboratoriais

Gráfico 1 – Média de falha por lote

Gráfico 2 – Produto A

Gráfico 3 – Produto B

Gráfico 4 – Produto C

Gráfico 5 – Produto D

Quadro 1 - Propriedades dos adesivos sensíveis à pressão

Quadro 2 - Etapas da fase *Check*

Quadro 3 – Gráfico de amplitude

Quadro 4 – Coleta de dados

Quadro 5 – Análise das propriedades

Quadro 6 – Novos valores para especificação

Quadro 7 – Custos e ganhos

LISTA DE SIGLAS

Taxa de retrabalho: quantidade de produtos com problema de amassamento do tubo.

Tack: É a força de adesão imediata da fita após o contato com o substrato.

Coesão: É a medida da coesão interna do adesivo, que indica a sua fluidez.

Linha branca: linha de eletrodomésticos, como refrigeradores, fogões, lavadoras, etc.

Scrap: material jogado fora devido a problemas de qualidade.

1 INTRODUÇÃO

O uso de eletrodomésticos é cada vez mais comum no dia a dia da população, principalmente quando falamos de linha branca. Com o uso dos eletrodomésticos é possível ganhar agilidade e praticidade na rotina. Quando se trata especificamente de refrigeradores, é possível conservar os alimentos e, novas tecnologias são desenvolvidas para melhor atender as necessidades das pessoas. Hoje no mercado existem inúmeros modelos e, para se manter no mercado, é preciso estar em constante evolução e melhoria contínua.

Os freezers horizontais em geral passam pelo mesmo processo produtivo. O processo desse produto é complexo e apresenta um problema especificamente na montagem da caixa freezer, a qual é responsável pela refrigeração do mesmo. O presente trabalho tem, portanto, a finalidade de analisar tal problema a fim de solucioná-lo para melhoria do processo.

A caixa freezer é composta basicamente de três itens: a caixa de aço, que tem como função dar o formato e a resistência do produto; o evaporador, que é um tubo também de alumínio com a função de refrigerar o sistema através do fluido refrigerante que passa por dentro dele; e uma fita de alumínio com dorso de polipropileno que faz a junção do tubo evaporador ao redor da caixa freezer.

1.1 PROBLEMA

Quando aplicada a fita adesiva sobre o tubo evaporador fazendo o acoplamento do mesmo sobre a caixa interna (caixa base do refrigerador), existe um problema de amassamento do tubo, o que acarreta em retrabalho do produto quando amassado, gerando sucata de fita e tubo o qual gera um elevado custo para a empresa desperdiçando dinheiro e produtividade. Desse modo, ainda não é de conhecimento se o problema está nas propriedades mecânicas da fita, se é um problema de processo ou do tubo evaporador.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com a resolução do problema apresentado na linha de produção de freezers, será reduzido a taxa de retrabalho, reduzindo o prejuízo causado pelo scrap de fita e tubo, que é de R\$ 8500,00 ao mês, aumentando a produtividade da linha.

1.3 OBJETIVO GERAL

Entender o motivo do amassamento dos tubos do evaporador e sugerir melhorias para evitar este problema.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Analisar os parâmetros de processo e sugerir melhorias;
- II. Analisar possíveis variações durante o processo produtivo
- III. Avaliar as propriedades mecânicas das fitas de alumínio;
- IV. Aplicar o ciclo PDCA para descobrir a causa raiz do problema;
- V. Sugerir melhorias no processo ou na especificação da fita alumínio.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para embasamento teórico do presente trabalho, abrangeu-se temas relacionados às propriedades mecânicas de fitas adesivas e ciclo PDCA como ferramenta de gestão.

2.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

É fundamental entender o que as propriedades mecânicas de um material representam e como elas são medidas. Estas informações são essenciais para o desenvolvimento de um projeto para que futuros modos de falha sejam evitados (CALLISTER, 2002).

2.1.1 Adesivos e Adesividade

Segundo a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), um adesivo é um material capaz de manter dois materiais unidos por interação superficial, oferecendo resistência a separação dos substratos, que são as superfícies a serem unidas (QUAIATTI, 2005).

Os adesivos podem ser classificados de acordo com sua composição ou pela sua forma física. Isto é, são relacionados à sua natureza do polímero base e do meio em que é dissolvido. Pode-se ter a produção de adesivos de várias maneiras: adesivos sintéticos, adesivos de PVC, adesivos aquosos, adesivos Hot Melt, adesivos auxiliares e adesivos especiais.

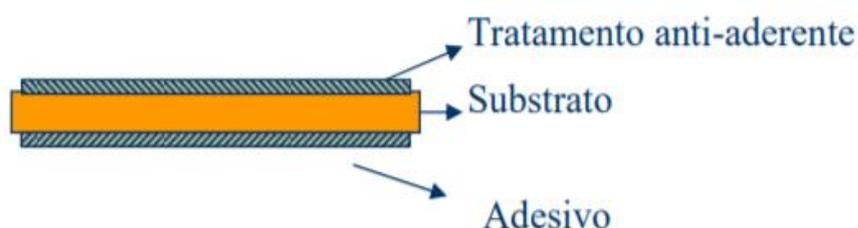
Classificando os adesivos em líquidos e sólidos tem-se que os líquidos podem se apresentar em solventes orgânicos, dispersão aquosa ou até mesmo sem solvente; tem-se adesivos a base de borracha, polímeros e resinas dissolvidas em solventes orgânicos. Os primeiros adesivos da história são os baseados em solventes. Os adesivos sólidos, também conhecidos por adesivos Hot Melt, são fabricados a quente, no estado fundido. Para sua aplicação é necessária uma temperatura na faixa dos 160°C a 180°C e máquinas especializadas. (SILVA, 2008)

Adesivos a base de borracha possuem tack inicial maior devido a sua fluidez e menor coesão, porém podem ser afetados por corrosão e luz ultravioleta. Já

adesivos acrílicos possuem geralmente baixo tack inicial e requerem períodos mais longos para atingirem sua máxima adesão. Possuem melhor resistência a oxidação (SILVA, 2008).

Para a aplicação correta de um adesivo, é necessário ter conhecimento sobre os seus substratos, a geometria de contato e as propriedades físico-química das superfícies, gerando a adesão necessária entre os substratos através da ação das forças intermoleculares, sendo considerados como elo que se ancoram em cada um desses substratos (FARIA, 2008).

Figura 1 - Configuração de um produto sensível a pressão



Fonte: Adaptado de Faria (2008)

Segundo a *Pressure Sensitive Tape Council*, os adesivos sensíveis à pressão são materiais com as propriedades apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades dos adesivos sensíveis à pressão

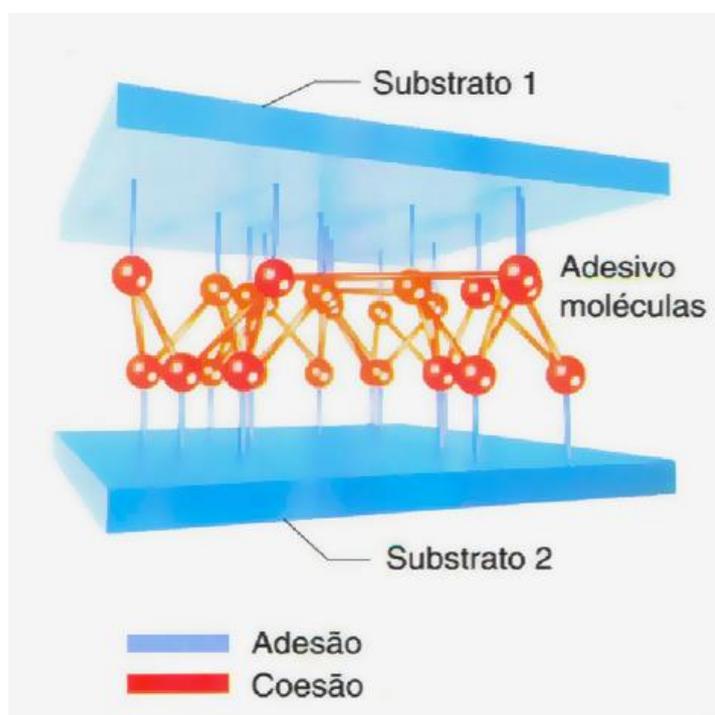
Nome da Propriedade	Característica dos adesivos sobre a propriedade indicada
<i>Tack</i>	Condição do adesivo pegajoso ou altamente adesivo
Aderência	Não se faz necessário uma pressão maior que a de um dedo
Energia de Ativação	Não necessita de nenhum tipo de energia de ativação
Força Adesiva	Possui força adesiva suficiente para se manter sobre o aderendo
Força de coesão	Possui força de coesão necessária para ser removida sem deixar resíduos na superfície

Fonte: Adaptado de Zanin (2006)

Dois fenômenos físico-químicos são conhecidos por governar um processo de colagem, os quais são chamados de adesão e coesão. O primeiro fenômeno é dito como sendo a “interface entre o filme, adesivo e o substrato”. Já o segundo - coesão - é a “resistência interna do filme adesivo”.

Quando se fala em adesão, é notória a relevância da “adesão instantânea”. Esse termo, também chamado de *tack* ou de pegajosidade, refere-se a rápida ligação entre o filme adesivo e o substrato tendo ação de uma pequena pressão (SILVA, 2008)

Figura 2 - Mecanismos de adesão



Fonte: Adaptado de Silva (2008)

2.1.2 Tensão e Deformação

Há três maneiras que uma carga pode ser aplicada a um material, que são tração, compressão e cisalhamento; e através de ensaios de tensão-deformação é possível avaliar o seu comportamento mecânico.

O ensaio de tração é utilizado para avaliar diversas propriedades mecânicas do material, sendo aplicado sobre uma amostra, uma força gradativamente crescente uniaxialmente ao longo do eixo mais comprido até a sua ruptura. Este

ensaio acaba sendo destrutivo e é avaliado o seu alongamento e a carga instantânea aplicada.

A carga aplicada é definida como tensão de engenharia, que é representada pela fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

F = carga instantânea aplicada

A = área da seção reta

A deformação de engenharia é definida pela fórmula

$$\epsilon = \frac{l_1 - l}{l} = \frac{\Delta l}{l}$$

l = comprimento original

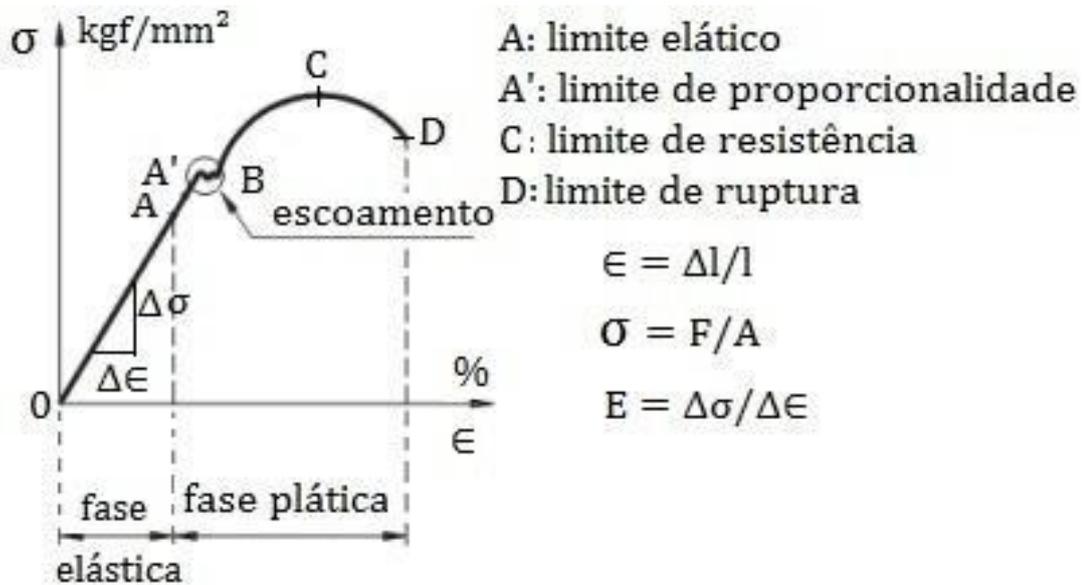
l₁ = comprimento instantâneo

Δl = alongamento da deformação

O material quando é aplicado ao ensaio de tração sofre dois tipos de deformação, a elástica e a plástica. Na primeira, a peça retorna a sua forma original assim que a carga é liberada, sendo assim uma deformação não permanente. Já a deformação plástica é uma deformação permanente e não recuperável, quando a tensão aplicada é acima do limite de escoamento (transição da deformação elástica para plástica);

Como visto na Figura 3, o limite de resistência a tração é o ponto máximo da curva tensão-deformação. Isto corresponde a tração máxima que pode ser aplicada no material, sendo o ponto onde o material sofre a fratura.

Figura 3 - Tensão e Deformação



Fonte: Adaptado de Callister

Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fisica/ensaio-de-tracao/>>

2.2 MÉTODO DE MELHORIA PDCA

Um dos procedimentos mais bem conhecidos no método de melhorias, é o uso do ciclo PDCA (*plan, do, check, action*), desenvolvido na década de 30 pelo estatístico americano Walter A. Shewhart, “como sendo um ciclo de controle estatístico de processo, que pode ser repetido continuamente sobre qualquer processo ou problema” (ANDRADE, 2003, p. 9). Com isso, surgiu o entendimento da variação - um dos pilares da melhoria de processos -. O ciclo PDCA é uma maneira de construção de conhecimento e sua implementação se dá através de mudanças em processos, baseados em um “passo a passo” (FONSECA; MIYAKE, 2006).

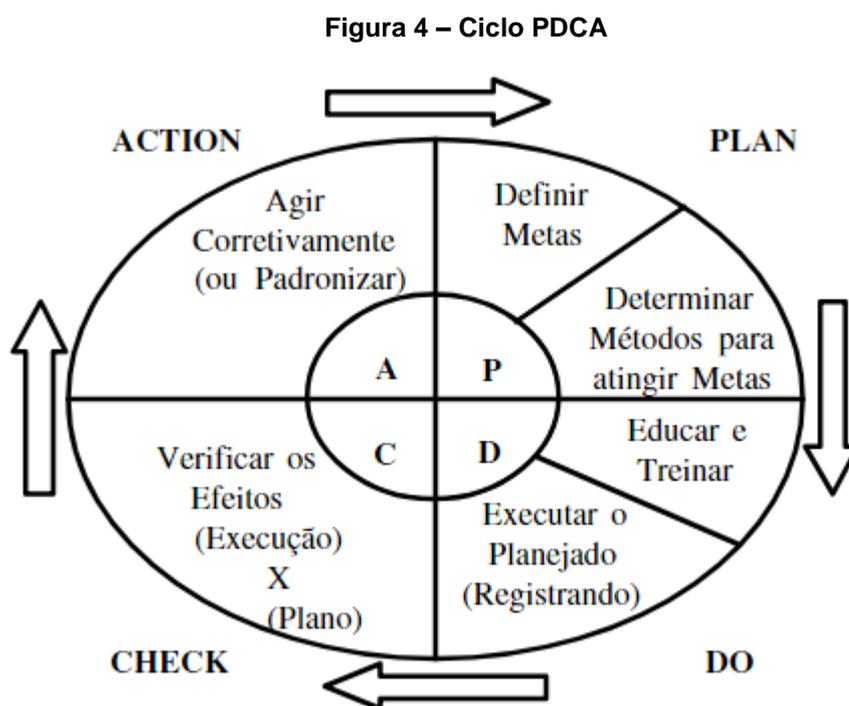
Quem continuou o desenvolvimento do PDCA foi Willian Edwards Deming, que utilizou dos conhecimentos existentes para gerar uma mudança no processo de produção no Japão, logo após a segunda guerra mundial, por volta de 1950. Outros nomes importantes para o desenvolvimento da qualidade fizeram parte junto de Deming nesta era, como Kaoru Ishikawa e Armand Feigenbaum.

“O PDCA é um método de gerenciamento de processos ou de sistemas. É o caminho para se atingirem as metas atribuídas aos produtos dos sistemas empresariais” (CAMPOS, 1996, p. 262). A palavra método vem do grego, que é a

união das palavras meta, que significa “além de” e pela palavra “*hodos*” que significa caminho, sendo assim a palavra método unindo as duas palavras gregas é o caminho para se chegar a uma meta (CAMPOS, 1996).

Ciclo PDCA é uma maneira dinâmica de solução de problemas. A conclusão de uma volta no ciclo irá se encontrar no início no processo ciclo, e assim sucessivamente até a solução da causa raiz do problema. Não há um limite de voltas em que o ciclo pode ter, a fim da solução do problema e melhorias no processo de forma padronizada (ANDRADE, 2003).

O ciclo PDCA padroniza a aplicação do método em projetos de melhoria. Ele consiste na execução de 4 etapas para conseguirmos gerar, testar ou aplicar conhecimento específico sobre um assunto, como pode ser visualizado na Figura 4.

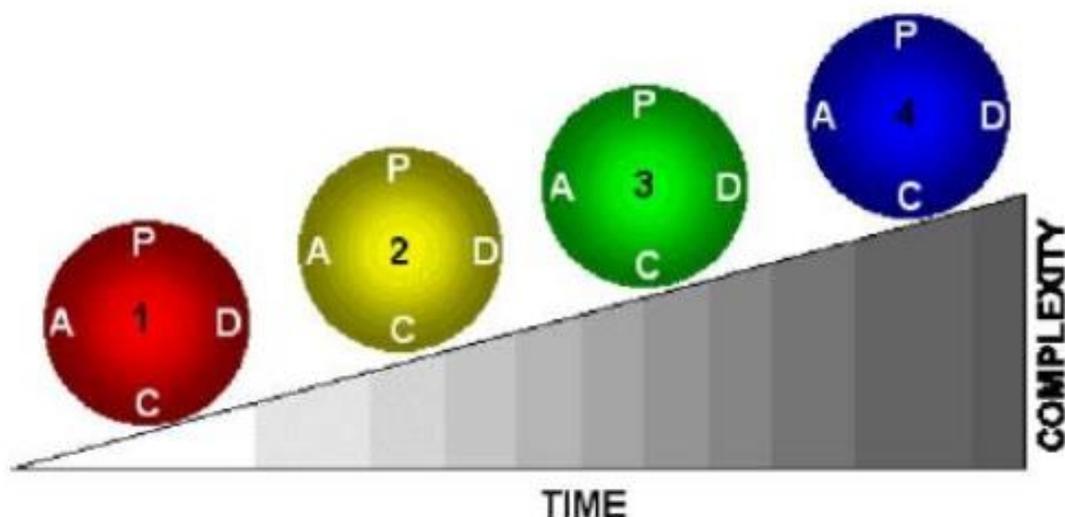


Fonte: CAMPOS (1996)

Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/973/97317090009/>>

Pela rampa de melhoria, disposta na Figura 5, observa-se que o que foi aprendido em um ciclo ininterrupto PDCA, pode seguir no início de outro ciclo buscando complexidades maiores e assim sucessivamente. (Nascimento, 2011).

Figura 5 – Rampa de melhoria



Fonte: Andrade (2003)

Para utilização do ciclo PDCA temos que se deparar com um problema, que é o resultado indesejável de um processo. Ou seja, “é um item de controle que não atinge o nível desejado” (WERKEMA, 1995, p. 13), e um objetivo claro de aonde queremos chegar com a realização do estudo (FONSECA, 2006).

Para um melhor entendimento do ciclo PDCA, é fundamental que todas as pessoas interessadas em sua aplicação estejam cientes do processo como um todo, ou seja, entendam a “visão processual” referente aos clientes, insumos, entradas, saídas e relacionamentos internos. (TACHIZAWA; SACAICO, 1997).

Para atender as premissas de um bom planejamento dentro do ciclo PDCA, é necessário seguir cinco etapas, segundo Campos (1996) e Melo (2001), as quais são:

1. Localizar o problema;
2. Estabelecer meta;
3. Análise do fenômeno;
4. Análise do processo;
5. Elaborar plano de ação.

2.2.1 Etapas do Ciclo PDCA

As quatro etapas do Ciclo PDCA serão conceituadas a seguir. “A natureza repetida e cíclica da melhoria contínua pode ser resumida no ciclo do PDCA,

definido como uma sequência de atividades que são percorridas de maneira cíclica para melhoria das atividades” (SLACK, 1996).

I. *Plan* (Planejar): O P do ciclo PDCA é o módulo mais importante do ciclo todo. Para possuir um planejamento adequado tem-se que construir um objetivo claro sobre o que se pretende estudar. Por se tratar do início do ciclo, esta etapa acaba desencadeando todo o processo referente ao ciclo PDCA. Nem sempre o objetivo do PDCA é o mesmo do projeto de melhoria, pois as vezes para chegar-se no objetivo da melhoria precisa-se passar nos diversos ciclos PDCA (ANDRADE, 2003). “Esta etapa abrange a localização do problema, o estabelecimento de uma meta, a análise do fenômeno (utilizando diagramas estatísticos), a análise do processo (utilizando do diagrama de causa e efeito) e a elaboração do plano de ação”.

Existem pontos chaves que devem constar no planejamento, como o objetivo do ciclo, pessoas envolvidas no processo, qual o prazo do plano de ação para estar em prática, recursos necessários, quais dados serão coletados. Perguntas sobre o processo que fazem com que se tenha um planejamento adequado (BADIRU, 1993).

II. *Do* (Executar): Nesta etapa coloca-se em prática o que foi planejado. Desse modo, todas as metas e objetivos traçados no planejamento devem ser realizados, seguindo devidamente o plano de ação traçado. (ANDRADE, 2003). Para isso, portanto, é necessário que um plano de ação seja bem estruturado, organizado e em uma escala gradual para a viabilidade e sucesso dessa etapa. E, caso algo não planejado aconteça, deve-se anotar o ocorrido (BADIRU, 1993).

Segundo Campos (2001), esta etapa pode ser subdividida em duas etapas: treinamento e execução da ação. Na primeira etapa a organização deve apresentar o plano, através de reuniões participativas, a todos os colaboradores envolvidos nesse processo e garantir que tudo foi entendido com exatidão. Na segunda etapa - execução da ação - efetuam-se as verificações periódicas dentro do setor trabalhado, para que o controle seja mantido; bem como, as ações e resultados devem ser registrados e datados.

III. *Check* (Verificar): é a etapa em que é feita a verificação dos resultados obtidos na etapa anterior “Do” e comparados com os resultados desenhados no planejamento (ANDRADE, 2003)..

Melo (2001) propôs dividir esta etapa em três fases: comparação dos resultados, listagem dos efeitos secundários e verificação da continuidade ou não do problema, como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Etapas da fase *Check*

Etapa	Descrição da Etapa
Comparação dos Resultados	Avaliação dos resultados anteriores e posteriores às ações realizadas e referenciadas ao que estava planejado
Listagem dos efeitos secundários	Verificação da existência de efeitos secundários positivos ou negativos relacionados às ações tomadas
Verificação da continuidade ou não do problema	Definição da satisfação dos resultados planejados e a verificação do alcance do objetivo. Se o objetivo for alcançado com sucesso, segue-se o PDCA para a última etapa do ciclo. Caso contrário, o PDCA deve ser reiniciado a fim da tentativa de encontrar melhores soluções para, de fato, atacar a causa raiz do problema.

Fonte: Adaptado de Melo (2001)

IV. *Action* (Agir): A última etapa do ciclo é a *action*, do inglês agir, que tem como principal objetivo a implementação das ações tomadas durante todo o ciclo, se tiverem um resultado positivo, criando novos padrões a serem seguidos ou alterando padrões já existentes (SOUZA 1997; MELO 2001).

As ações deverão ser padronizadas a fim da utilização das mesmas em outras ocasiões. (BADIRU, 1993). Os padrões devem conter itens fundamentais, como “o que” fazer, quem deverá executar, quando deve ser feito, onde será executado, e por que a realização dessa atividade (SOUZA 1997; MELO 2001).

Segundo Souza (1997), as ações podem ser apresentar no formato textual, onde as ações aparecem de forma descritivas e através de fluxogramas ou imagens, na forma de esqueleto, para melhor visualização e entendimento do processo.

2.3 ÁRVORE DE AMOSTRAGEM

O diagrama de árvore de amostragem é indicado para uma visualização gráfica de fatores de variação de um problema. Ele é uma ferramenta própria para organizar informações e pode ser construída tanto na vertical como na horizontal.

Com a amostragem é possível ter um melhor planejamento sobre um problema ou oportunidade de melhoria e possui esse nome por lembrar galhos de uma árvore organizados sistematicamente. Assim, é possível entender a variação do processo de acordo com os subgrupos de cada nível da amostragem (SANTOS, 2017).

2.3.1 Variância

A variância é uma ferramenta estatística feita para analisar a dispersão do quão distante estamos do valor central (média), calculada através da amplitude média do subgrupo e fatores para linha central. (ORIBE, 2004). Como base de cálculos, podemos seguir a equação:

$$\hat{\sigma} = \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right)$$

σ = variância

R = amplitude média

d2 = fator para linha central

Quadro 3 – Gráfico de amplitude

Número de Elementos na Amostra (n)	Fatores para Linha Central			Fatores para Limites de Controle			
	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	1,128	0,8865	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,693	0,5907	0,888	0	4,358	0	2,574
4	2,059	0,4857	0,880	0	4,698	0	2,282
5	2,326	0,4299	0,864	0	4,918	0	2,114
6	2,534	0,3946	0,848	0	5,078	0	2,004
7	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	3,173	0,3152	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	3,258	0,3069	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	3,336	0,2998	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	3,407	0,2935	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	3,472	0,2880	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653

Fonte: adaptado de Santos (2017)

3 METODOLOGIA

Para o presente trabalho foi utilizada a ferramenta de ciclo PDCA para o entendimento e resolução do problema, conforme explicado no referencial teórico. Para melhor compreensão da metodologia, as atividades que compuseram o trabalho foram divididas e explicadas em três ciclos PDCA nomeados, respectivamente, como: alteração de parâmetros de processo, componentes de variação e propriedades mecânicas com dados laboratoriais.

O primeiro ciclo PDCA – alteração de parâmetros de processo – pode ser representado pelo fluxograma na Figura 6.

Figura 6 – Ciclo PDCA: Alteração de parâmetros de processo



Fonte: Autoria própria

A fase de planejamento – *plan* – é demonstrada pela cor azul e abrange três principais atividades. No primeiro momento se faz necessário a análise do histórico de falhas para identificar a presença do problema a ser resolvido, com o início do trabalho sendo a aplicação do “teste dos porquês” e a identificação de potenciais causas.

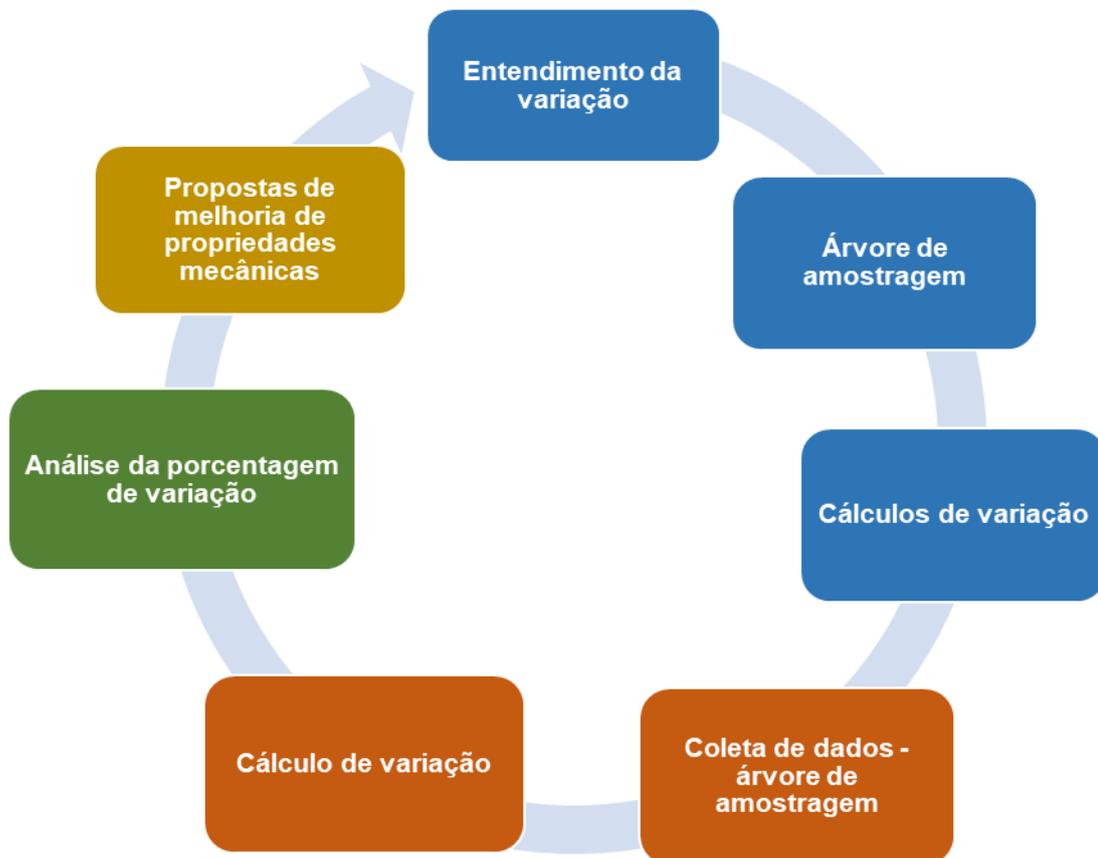
A fase laranja que representa a execução – *do* – refere-se ao acompanhamento junto dos responsáveis na linha de montagem da caixa freezer a fim de coletar dados alterando parâmetros que podem afetar no processo, assim como potenciais possíveis causas.

A fase de checar – *check* – reúne duas. Primeiro, a verificação do impacto com a alteração dos parâmetros e com isso a avaliação das respostas referentes a % de produtos retrabalhados.

Por fim do primeiro ciclo, na ação – *act* – será de seguir com novo ciclo para entendimento da variação do processo. Desse modo, com o primeiro ciclo finalizado e sem uma redução no problema de amassamento, inicia-se a segunda parte do experimento – componentes de variação do processo. Para isso, é feito um novo ciclo PDCA.

O segundo ciclo - Componentes de variação do processo – é representado pelo fluxograma da Figura 7.

Figura 7 – Ciclo PDCA: Componentes de variação do processo



Fonte: Autoria própria

Na etapa de planejamento as três etapas realizadas referem-se ao entendimento da variação existente no processo que acarreta no amassamento, utilizando árvore de amostragem junto a cálculos sobre a variação.

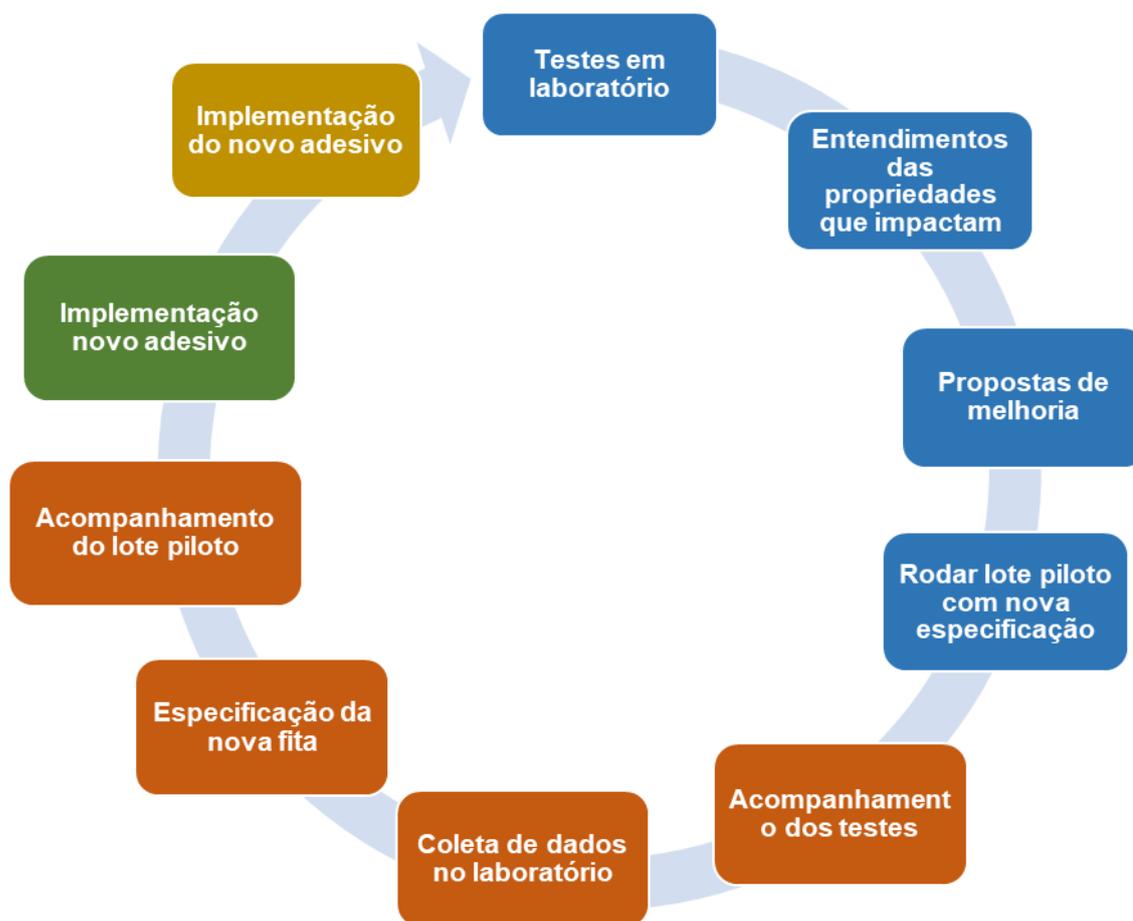
Na etapa *do*, dados são coletados com base na árvore de amostragem e, com isso, é feito o cálculo de onde está concentrado a maior porcentagem de variação.

Na terceira etapa, *check*, entende-se aonde está concentrado a variação do processo para elaboração de um plano de ação de melhoria.

A quarta e última etapa desse segundo ciclo PDCA consiste em iniciar novo ciclo, identificando quais propriedades mecânicas devem ser alteradas e como devem ser alteradas para que a falha acabe.

O terceiro e último ciclo - Propriedades mecânicas com dados laboratoriais - é representado pelo fluxograma na Figura 8.

Figura 8 – Ciclo PDCA: Propriedades mecânicas com dados laboratoriais



Fonte: autoria própria

Na etapa de planejamento, *plan*, se faz necessário entender as propriedades mecânicas através de testes em laboratório e assim propor nova configuração de fita para rodar um lote piloto e acompanhar o desempenho.

Na etapa *do*, os ensaios são realizados. Para isso se faz necessário uma máquina apropriada e equipada com membros fixos e móvel, garras cilíndricas para fixação dos corpos de prova, indicador de carga, indicador de deslocamento da garra móvel e registrador gráfico.

Para ensaio de tração e alongamento, há o condicionamento da amostra, a preparação dos corpos-de-prova e execução do ensaio. O resultado da resistência à tração é dado pela fórmula:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{P \cdot C}{L \cdot 100}$$

σ máx = resistência à tração (kgf/cm de largura);

P = valor obtido no indicador de pico de carga (%);

C = capacidade máxima da célula na escala utilizada (kgf);

L = largura do corpo de prova (cm).

O resultado do alongamento na ruptura é dado pela fórmula:

$$R = \frac{LR - LO}{LO} \times 100$$

R = alongamento na ruptura (%);

LR = distância, no instante da ruptura, entre as garras ou marcas de referência (cm).

LO = distância original entre as garras ou marcas de referência (cm).

Para o ensaio de adesão, primeiramente há o condicionamento das amostras, seguido da preparação dos painéis, preparação dos corpos-de-prova e execução do ensaio. O resultado deve expressar a força necessária para remover uma fita adesiva de um painel, através da fórmula:

$$A = F/L$$

A = aderência em kgf/cm

F = Média dos 3 valores obtidos para desprendimento da fita em kgf

L = largura da amostra em cm.

Com os resultados obtidos nos testes será proposto uma nova configuração de fita para melhor desempenho na linha de montagem.

Na terceira etapa, *check*, há a comparação dos resultados obtidos em linha com a nova configuração de adesivo e se houve melhoria.

A quarta e última etapa desse segundo Ciclo PDCA é a implementação da nova configuração do adesivo, mostrando a redução na % de falha com problema de amassamento de tubo.

4 RESULTADOS

Com base no primeiro ciclo PDCA executado, deu-se início com o teste dos porquês:

1. Por que ocorre amassamento do tubo?

Porque o tubo escapa da cavidade na qual é aplicada.

2. Por que o tubo escapa da cavidade?

Porque podem existir parâmetros de processo que influenciam durante a aplicação.

3. Por que parâmetros influenciam no amassamento?

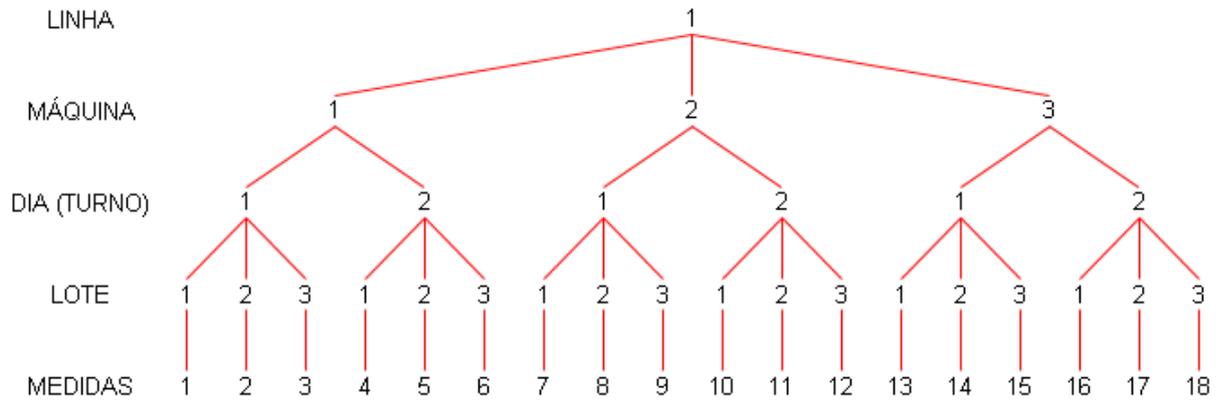
Porque a velocidade e pressão são fatores reguláveis do processo e impactam diretamente na performance.

Como saída do teste dos porquês, temos que os fatores de processo que podem influenciar e impactar no amassamento do tubo, que são: velocidade e pressão. Como se sabe, quanto maior for a pressão aplicada em cima da fita maior a garantia da sua adesividade, então foi elevada a pressão até o máximo da máquina e não houve melhoria com relação ao amassamento. Também é essencial trabalhar na pressão correta e não trabalhar com ela no máximo para não acelerar o desgaste dos componentes e, assim aumentar os custos com manutenção.

A velocidade também foi analisada reduzindo-a para diminuir a vibração durante a aplicação. Não se teve ganhos e também não é interessante a redução da velocidade de aplicação pois isso impacta diretamente no tempo da linha de montagem. Com isso, concluiu-se que os parâmetros de processo já estão otimizados para a aplicação e existem outros fatores que acarretam o problema de amassamento. Com isso, partimos para o segundo ciclo PDCA - componentes de variação.

A partir disso, para entender a variação do processo, foi criada uma árvore de amostragem com fatores que podem influenciar no problema de amassamento. Como fatores, foi considerado linha, máquina, dia e lotes da fita alumínio. Tal criação é verificada na Figura 9.

Figura 9 – Árvore de Amostragem



Fonte: Autoria própria

Com base na amostragem, foram coletados dados de produtos que tiveram problemas e foram retrabalhados. Para a coleta de dados foi produzido o produto de maior tamanho (Produto D), que historicamente possui maior reclamação. As medidas foram consideradas em taxa de retrabalho pois podemos ter diferença em quantidade de produtos produzidos por turno ou por máquina e cada lote rodou proporcionalmente por tempo em cada turno, 2 horas e 30 minutos.

Quadro 4 – Coleta de dados

FACTORS					Taxa de falha
LINHA	MÁQUINA	DIA (TURNO)	LOTE	MEDIDAS	
1	1	1	1	1	3,30%
1	1	1	2	2	3,11%
1	1	1	3	3	2,70%
1	1	2	1	4	3,33%
1	1	2	2	5	2,56%
1	1	2	3	6	2,20%
1	2	1	1	7	3,32%
1	2	1	2	8	2,79%
1	2	1	3	9	2,55%
1	2	2	1	10	3,26%
1	2	2	2	11	2,63%
1	2	2	3	12	1,80%
1	3	1	1	13	3,30%
1	3	1	2	14	2,71%
1	3	1	3	15	2,50%
1	3	2	1	16	3,27%
1	3	2	2	17	2,42%
1	3	2	3	18	2,10%

Fonte: autoria própria

Com base nos dados, é possível calcular onde está concentrado a maior fonte de variação usando ferramentas estatísticas através da equação:

$$\hat{\sigma} = \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right)$$

com isso,

$$\sigma^2 \text{ total} = \sigma^2 \text{ lotes} + \sigma^2 \text{ dias} + \sigma^2 \text{ máquina}$$

$$\sigma^2 \text{ lotes com subgrupo} = 3$$

$$\sigma^2 \text{ lotes} = 0,3407$$

$$\sigma^2 \text{ dias com subgrupo} = 2$$

$$\sigma^2 \text{ dias} = 1,072$$

$$\sigma^2 \text{ máquina com subgrupo} = 3$$

$$\sigma^2 \text{ máquina} = - 0,0237$$

Quando o resultado for negativo, considerar como 0 e que não existe impacto na variação, como é o fato da máquina em nossa amostragem. Com isso a variância total do processo é 0,4479 e, fazendo o percentual através de regra de três, temos:

$$\text{Variação em lotes} = 76,08\%$$

$$\text{Variação em dias} = 23,92\%$$

$$\text{Variação em máquina} = 0\%$$

Com os cálculos de variação vemos que a maior variação ficou concentrada em lote, e assim fechamos o segundo ciclo PDCA e partimos para o último ciclo onde podemos partir para ações com relação a características da fita, como adesividade, *tack*, resistência a tração e alongamento, que são as propriedades analisadas em laboratório de uma fita adesiva.

Para melhor entendimento de quais as diferenças entre os lotes, as fitas foram levadas para o laboratório e feito todas as análises das propriedades. Com isso, tem-se os resultados apresentados no Quadro 5.

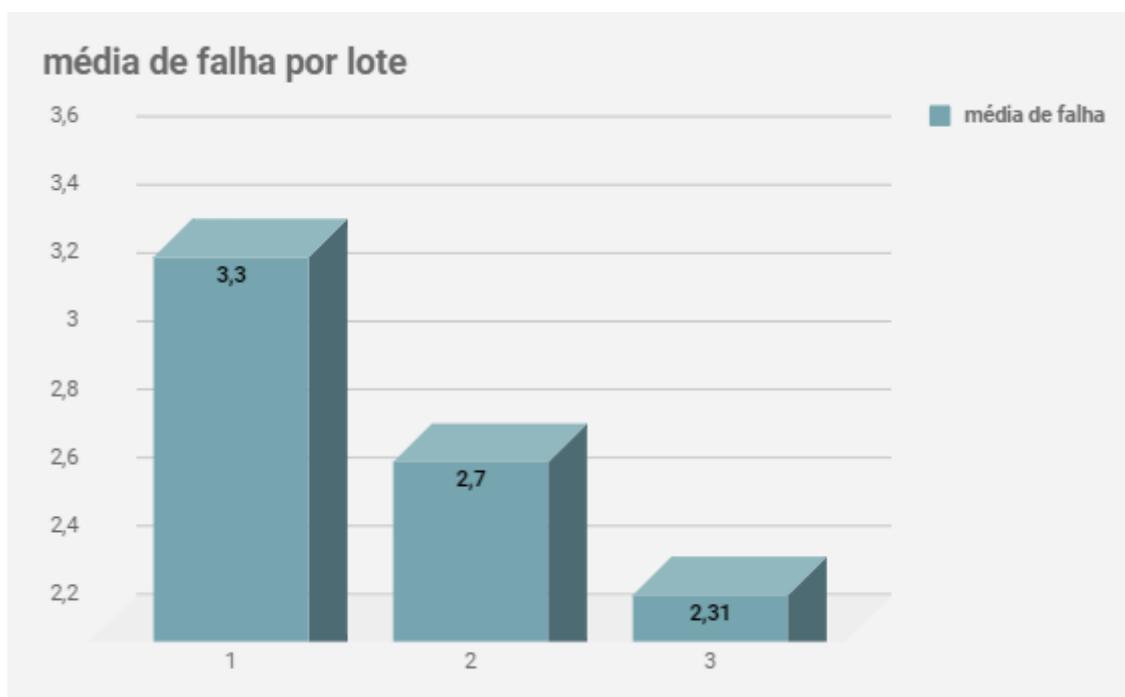
Quadro 5 – Análise das propriedades

Lote	Resistência a tração	Alongamento	Aderência	Tack
1	4,51	120	0,55	11
2	4,59	128	0,61	8
3	4,56	110	0,67	4

Fonte: Autoria própria

Junto a isso, foi feita a média de % de falha de acordo com cada lote. Essa representação é mostrada no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Média de falha por lote



Fonte: Autoria própria

Com os resultados obtidos no laboratório e na árvore de amostragem, é possível notar que no lote 1 que possui menor aderência e pior *tack* é o que possui maior taxa de falha.

Dentro da fita adesiva de alumínio, podemos tomar algumas tratativas para melhoria, tais como: alterar o adesivo para ter ganho em adesividade ou *tack*, dependendo das necessidades. Pode-se alterar a espessura do alumínio ou do polipropileno, alterando sua resistência ou alongamento, e até alterar a largura da mesma, para ganho de área de contato.

Como foi visto que o problema está no adesivo, foi proposto uma nova formulação a base de borracha sintética e solvente, que possui valores maiores de adesividade a fim de diminuir a taxa de retrabalho, e garantindo um *tack* melhor devido a sua menor coesão. Como objetivo da alteração do adesivo, a ideia era aumentar em pelo menos 40% a adesividade e analisar o comportamento das falhas.

Com isso, foi proposto novos valores para especificação da fita alumínio mostrado no Quadro 6.

Quadro 6 – Novos valores para especificação

Propriedade	De	Para	Unidade
<i>Tack</i>	15	5	cm
Adesividade	0,55	0,85	kgf/cm
Adesivo	Acrílico	Borracha e solvente	Na
Espessura alumínio	0,035	0,035	mm
Espessura total	0,1	0,1	mm
Alongamento	7	7	%
Resistência a tração	3,06	30,6	kgf/cm

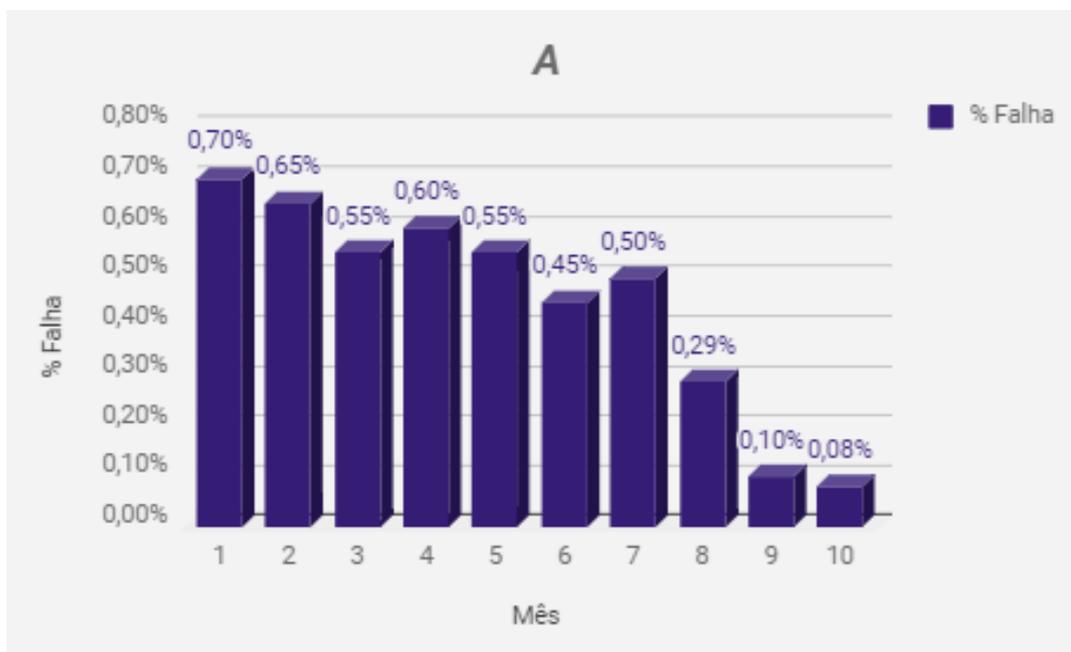
Fonte: Autoria própria

Após desenvolvido o novo adesivo, foram produzidos 900 produtos em linha do maior modelo de freezer para avaliação da melhoria. Nesse lote piloto, a adesividade ficou com 0,87 kgf/cm. De todos os produtos montados, apenas 6 apresentaram a necessidade de retrabalhar, sendo uma taxa de retrabalho de 0,67%. Comparado ao antigo adesivo, houve uma melhora significativa.

Desde final de agosto de 2018, quando a fita foi implementada, a taxa de retrabalho nos freezers diminuiu significativamente, conforme os Gráficos 2 a 5.

- PRODUTO A

Gráfico 2 – Produto A

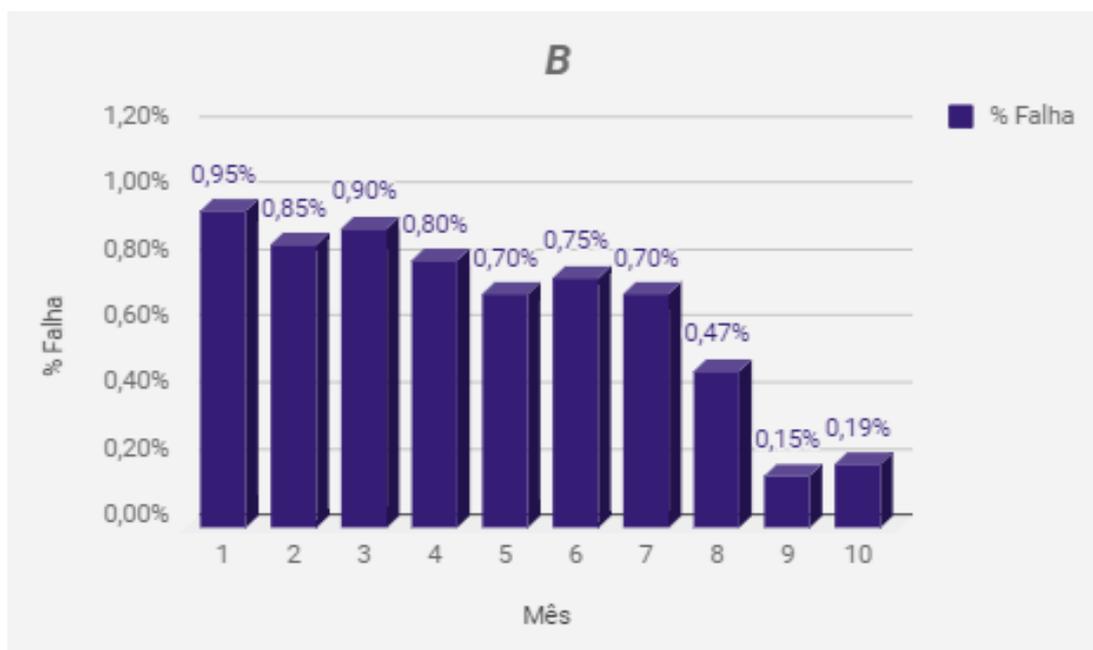


Fonte: Autoria própria

O produto A é o de menor dimensional é apresentou queda de 0,50 % para 0,10% de taxa de retrabalho.

- **PRODUTO B:**

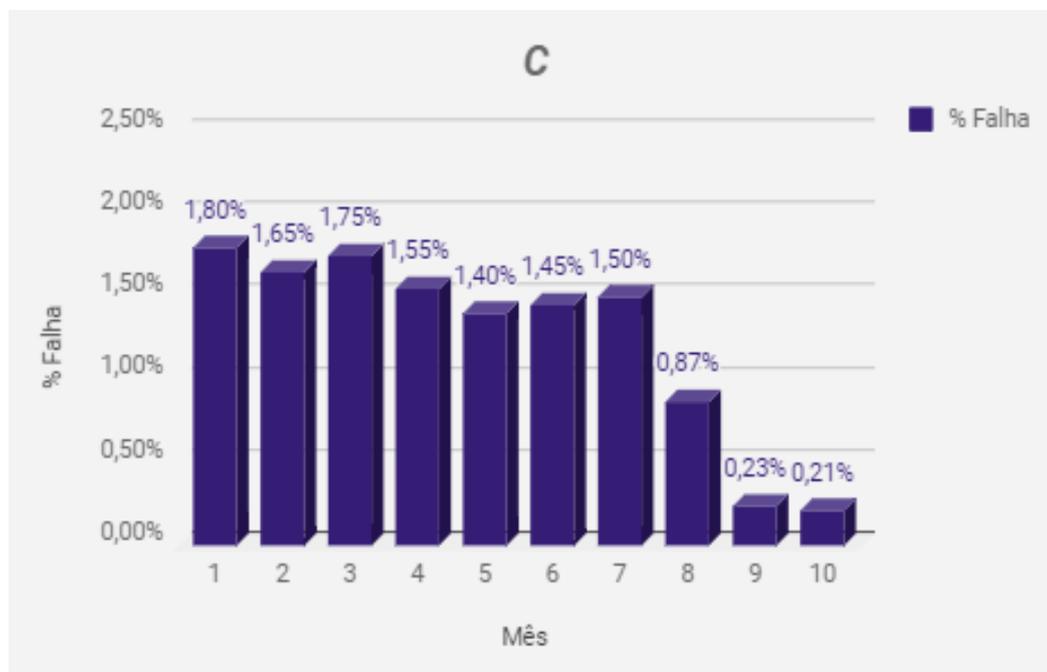
Gráfico 3 – Produto B



Fonte: Autoria própria

- PRODUTO C

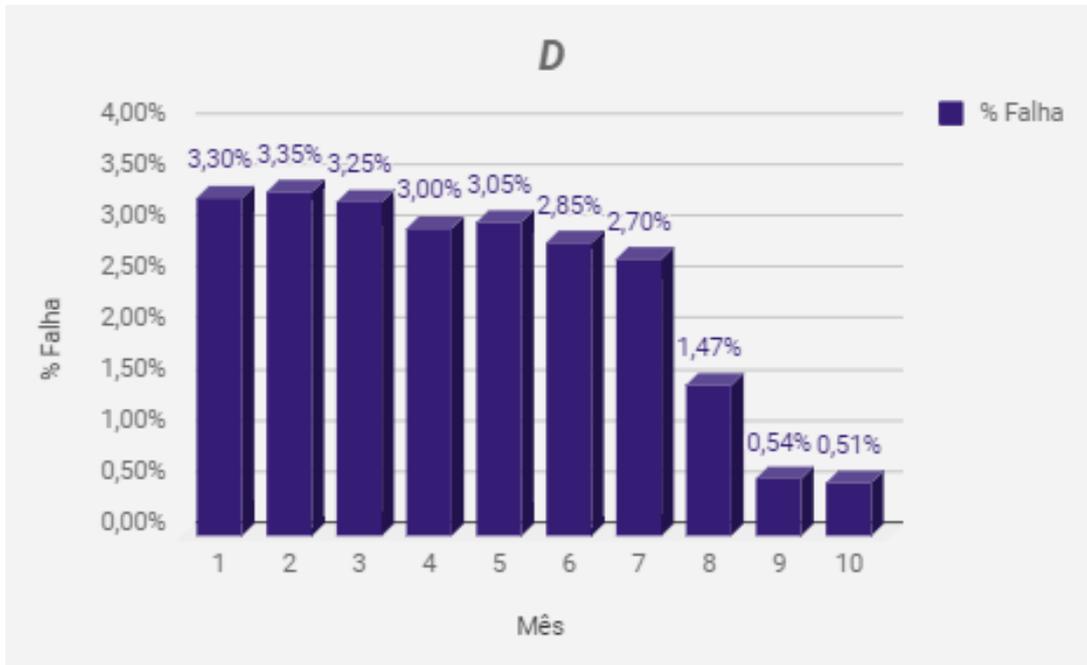
Gráfico 4 – Produto C



Fonte: Autoria própria

- **PRODUTO D**

Gráfico 5 – Produto D



Fonte: Autoria própria

O produto D, de maior dimensional, foi o maior impactado reduzindo a taxa de retrabalho de 3% para 0,50%, gerando uma redução no scrap.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o fechamento do primeiro ciclo PDCA, conclui-se que o problema de amassamento do tubo durante a aplicação da fita adesiva não era oriundo de ajustes dos parâmetros de processos, como a pressão e a velocidade.

Com base nas ferramentas estatísticas utilizadas no segundo ciclo PDCA, notou-se que a maior fonte de variação estava em lotes das fitas e no turno. Como não é possível propor melhorias com relação a variação entre dias/turnos e que o adesivo sobre impacto com relação a temperatura e umidade, partimos para uma melhoria de propriedades da fita.

Com o terceiro ciclo PDCA, vimos que a adesividade e o *tack* são os pontos chaves da aplicação e que quanto maior a adesividade, melhor são os resultados com relação ao amassamento do tubo. Quando se trata do *tack*, quanto maior o *tack*, maior a taxa de falha.

Com isso foi desenvolvido um adesivo mais agressivo, com melhor adesividade e *tack*, a fim de garantir que o tubo não escape de sua cavidade no qual é aplicada e, assim minimize o problema de retrabalho devido ao amassamento.

Com a nova configuração de adesivo, notou-se que houve uma grande evolução com o número de % taxa de falha. Para o produto com maior percentual de retrabalho, houve uma queda de aproximadamente 3% para 0,5%, o que é muito significativo.

Como principais ganhos, tem-se o custo de material que antes era desperdiçado e agora não é mais preciso *scrapear*, tempo de retrabalho, ganho de produtividade, entre outros.

Em média, são produzidos aproximadamente 24.000 produtos por mês, entre os modelos A, B, C e D. O custo da fita alumínio é R\$0,39/m e o tubo evaporador R\$0,47/m. Com isso, tem-se os custos demonstrados no Quadro 7:

Quadro 7 – Custos e ganhos

Produto	Produtos mês	Preço fita	Metros por produto	Preço tubo	Metros por produto	Redução em %	Redução em produtos retrabalhados	Saving (R\$)
A	6000	R\$ 0,39	17	R\$ 0,47	15	0,40%	24	328,32
B	6000	R\$ 0,39	22	R\$ 0,47	20	0,55%	69	1.240,62
C	6000	R\$ 0,39	27	R\$ 0,47	26	1,40%	84	1.911,00
D	6000	R\$ 0,39	33	R\$ 0,47	31	2,50%	313	8.588,72
TOTAL								12.068,66

Fonte: Autoria própria

Nota-se que o ganho é de aproximadamente R\$ 12.000,00 ao mês, totalizando R\$ 140.000,00 ao ano. Um valor significativo que está sendo usado para retrabalho e material sendo descartado por ineficiência do processo.

6 CONCLUSÕES

Após realizado todos os procedimentos propostos nos tópicos anteriores, o presente trabalho atingiu todos os objetivos específicos e conseguiu analisar a proposta do problema proposto, pois a pesquisa realizada ajudou a entender sobre o problema de amassamento no tubo evaporador durante sua fixação. Viu-se que os parâmetros de processos já estão otimizados para a aplicação e que seria necessária uma análise mais profunda sobre o problema. Também conseguiu-se entender sobre a variação do processo e identificar que a maior variação estava na fita adesiva e que existia oportunidade de melhoria na sua especificação.

Com a nova configuração de adesivo, obteve-se melhora significativa quando trata-se de produtos retrabalhados gerando ganhos importantes, se tratando de produtividade, redução de scrap e qualidade.

Como ainda existe um percentual de scrap, ainda há possibilidade de melhoria, como otimização do tubo evaporador ou da cavidade aplicadora, porém não foi viável para o presente trabalho por alto impacto na produtividade da linha de montagem.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Fábio Felipe. **O método de melhorias PDCA**, 2003, 169p. Dissertação de Mestrado - Universidade De São Paulo, São Paulo 2003.

ANTONIO, Nelson; TEIXEIRA, António; ROSA, Álvaro. **Gestão da Qualidade: de Deming ao modelo de excelência da EFQM**. 2 ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2016.

BADIRU, A. B.; AYENI, B. J. **Practitioner's guide to quality and process improvement**. London: Chapman & Hall, 1993.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. 7ª edição. Editora LTC, 2008.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento pelas diretrizes**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2001.

FARIA, Tatiane Dias Marques. **Adesivo de borracha termoplástica reforçado com nanoargila**, 2008, 154p. Dissertação Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

FONSECA, Augusto; MIYAKE, Dario Ykuo. **Uma análise sobre o Ciclo PDCA como um método para solução de problemas da qualidade**. XXVI ENEGEP, Fortaleza, 2006.

GANDUR, Marcelo Catanoce. **Comportamento dinâmico complexo em descolamento de fitas adesivas**, 2001, 170p. Tese Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

MELO, C. P.; CARAMORI, E. J. **PDCA Método de melhorias para empresas de manufatura – versão 2.0**. Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2001.

NASCIMENTO, Adriano F. G. **A utilização da metodologia do ciclo PDCA no gerenciamento da melhoria contínua.** Monografia - Faculdade Pitágoras. MBA em Gestão Estratégica da Manutenção, Produção e Negócios, 2011.

ORIBE, Claudemir Y. **Diagrama de Árvore: a ferramenta para os tempos atuais.** Banas Qualidade, São Paulo: Editora EPSE, ano XIII, n. 142, março 2004, p. 78-82.

PACHECO, Ana Paula; et al. O ciclo PDCA na gestão do conhecimento: uma abordagem sistêmica. **International Society for the Systems Sciencies**, Florianópolis (SC), nov 2015.

SANTOS, Virgílio Marques. **Diagrama de Árvore: o que é e como fazer o diagrama?** FM2S, 2017. Disponível em: < <https://www.fm2s.com.br/diagrama-de-arvore/>>

SILVA, Schana. **Estudo do comportamento reológico dos adesivos hot melt PSA e sua relação com a composição e as propriedades adesivas**, 2008, 123p. Dissertação Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SLACK, N.; et al. **Administração da produção.** São Paulo: Editora Atlas, 1996.

SOUSA, Jean-Pierre; et al. **Estudo de processos com adesivos a base de água.** II CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE QUÍMICA, 2008, João Pessoa. CEFET-PB, 2008.

QUAIATTI, Marcelo. **Utilização de elastômeros termoplásticos no segmento de adesivos sensíveis à pressão (PSA)**, 2005, 68p. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TACHIZAWA, T; SACAICO, O. **Organização Flexível: qualidade na gestão por processos.** São Paulo: Atlas, 1997.

WERKEMA, M. C. **As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos.** Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

ZANIN, Aileen Nicole Fowler. **Adesivos sensíveis à pressão à base de nanocompósitos de borracha e argila**, 2006, 182p. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.