

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ALEXANDRE AUGUSTO ANGST KOVALESKI**

**ESTUDO DAS CAUSAS DE VARIAÇÃO DO PROCESSO DE  
CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA INFERIOR DE UMA CARROCERIA  
AUTOMOTIVA EM UMA INDÚSTRIA.**

**CURITIBA**

**2022**

**ALEXANDRE AUGUSTO ANGST KOVALESKI**

**ESTUDO DAS CAUSAS DE VARIAÇÃO DO PROCESSO DE  
CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA INFERIOR DE UMA CARROCERIA  
AUTOMOTIVA EM UMA INDÚSTRIA**

**The study of the variation causes in an inferior structure of an automotive body  
construction process in an industry**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Mecânica da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Walter Luís Mikos

**CURITIBA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ALEXANDRE AUGUSTO ANGST KOVALESKI**

**ESTUDO DAS CAUSAS DE VARIAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA  
ESTRUTURA INFERIOR DE UMA CARROCERIA AUTOMOTIVA EM UMA  
INDÚSTRIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como  
requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 21/Junho/2022.

---

Walter Luís Mikos  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Tiago Rodrigues Weller  
Mestre  
Universidade Tecnológica do Paraná

---

Cleina Yayoe Okoshi  
Doutora  
Universidade Tecnológica do Paraná

**CURITIBA  
2022**

Dedico este trabalho a todos que me apoiaram durante minha trajetória.

## RESUMO

KOVALESKI, Alexandre. Estudo das causas de variação do processo de construção da estrutura inferior de uma carroceria automotiva em uma indústria. 2022. Monografia (Graduação de Engenharia Mecânica) - Curso de Engenharia Mecânica, Curitiba, 2022.

A variabilidade de processos industriais é frequente e deve ser considerada na construção dos projetos de engenharia, de forma a estabelecer limites para tal inconstância na produção, tornando-a o mais homogênea possível. Os procedimentos executados fora dos limites definidos geram custos, retrabalhos, reclamações da parte de clientes, reparos a serem realizados fora da fábrica, ou até mesmo o recall do produto final. A garantia de um processo estável é a chave para diminuir custos não planejados e um produto que corresponda aos diferentes níveis de qualidade esperado. O método *Lean Six Sigma* oferta um conjunto de medidas a serem aplicadas em um processo com o objetivo de implementar a estabilização. E, conseqüentemente, reduzir, ou eliminar, as dispersões não planejadas, aumentando, assim, o nível sigma do processo, possibilitando a entrega de produtos com um baixo índice de defeitos e desperdícios. Utilizado o método DMAIC juntamente com conceitos de *six sigma* foram encontradas não conformidades em máquinas do fornecedor, que auxiliam na variação das peças. Demais pontos de variação não foram identificados.

**Palavras-chave:** Variação estatística; Carroceria; Indústria automotiva; Lean-Six Sigma; DMAIC.

## ABSTRACT

KOVALESKI, Alexandre. The study of the variation causes in an inferior structure of an automotive body construction process in an industry. 2022. Monograph (Mechanical Engineering) - Mechanical Engineering Graduation, Curitiba, 2022.

The variability of an industrial process is frequent and must be considered in the construction of the engineering projects, to establish limits for such variations, so that the production itself can be as homogeneous as possible. Processes that deviate from this rule can generate costs, the necessity to rework on the item, customer complaints, repairs to be done outside the company or even a recall on the final product. To ensure a stable process is the key to lower unplanned costs and secure a product that will attend to the customer's and the company's demands. The Lean Six Sigma method offers a range of measures to be applied in a process that aim stabilization, and to reduce, or eliminate, unplanned variations and increase the sigma level of the process, which makes a low rate of defective products and low waste possible. Using the DMAIC method, together with six sigma the study was able to find nonconformities in the supplier machine, that affected in the variation observed. Other variation points were not identified.

**Keywords:** Statistical variation; automotive body; automotive industry; Lean-Six Sigma; DMAIC.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Carta de controle do ponto de medição 111</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2 - Posição do ponto de medição</b>	<b>11</b>
<b>Figura 3 - Contribuição para variação de montabilidade de partes não[...]</b>	<b>11</b>
<b>Figura 4 - Carta de controle do ponto de medição 1114</b>	<b>15</b>
<b>Figura 5 - Eixos de movimentação</b>	<b>16</b>
<b>Figura 6 - Pontos de apoio para obtenção de isostatismo</b>	<b>17</b>
<b>Figura 7 - Pontos para isostatismo</b>	<b>17</b>
<b>Figura 8 - Níveis de Sigma para cada processo</b>	<b>19</b>
<b>Figura 9 - Metodologia DMAIC</b>	<b>20</b>
<b>Figura 10 - Fluxo fábrica analisada</b>	<b>28</b>
<b>Figura 11 - Modos de falha avaliados</b>	<b>30</b>
<b>Figura 12 - Ponto de solda peça avaliada</b>	<b>31</b>
<b>Figura 13 - Modo de falha avaliado</b>	<b>32</b>
<b>Figura 14 - Operação de solda</b>	<b>33</b>
<b>Figura 15 - Evidência piloto</b>	<b>34</b>
<b>Figura 16 - Evidência Trava e coordenada de travamento</b>	<b>34</b>
<b>Figura 17 - Modo de falha avaliado</b>	<b>35</b>
<b>Figura 18 - Travamento peça dispositivo</b>	<b>36</b>
<b>Figura 19 - Fluxo de transporte 2</b>	<b>37</b>
<b>Figura 20 - Fluxo de transporte 1</b>	<b>37</b>
<b>Figura 21 - Modo de falha avaliado</b>	<b>37</b>
<b>Figura 22 - Embalagem recebimento de peças</b>	<b>38</b>
<b>Figura 23 - Desvio identificado</b>	<b>38</b>
<b>Figura 24 - Peças de lotes diferentes analisadas</b>	<b>39</b>
<b>Figura 25 - Posto SCD005</b>	<b>39</b>
<b>Figura 26 - Posto SCD030</b>	<b>39</b>
<b>Figura 27 - Desvio piloto fornecedor</b>	<b>40</b>
<b>Figura 28 - Norma para teste de resistência de pilotos</b>	<b>41</b>
<b>Figura 29 - Configuração Teste de Flexibilidade</b>	<b>41</b>
<b>Figura 30 - Evidência deformação piloto</b>	<b>42</b>
<b>Figura 31 - Modo de falha avaliado</b>	<b>43</b>
<b>Figura 32 - Teste realizado no novo dispositivo</b>	<b>45</b>
<b>Figura 33 - Carta de controle 2021</b>	<b>45</b>
<b>Figura 34 - Valores MatLab</b>	<b>47</b>
<b>Figura 35 - Carta de controle 2022</b>	<b>47</b>
<b>Figura 36 - MatLab dados 2022</b>	<b>48</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1 Delimitação do tema .....	9
1.2 Formulação do problema .....	12
1.3 Objetivos .....	12
1.3.1 Objetivos específicos .....	12
1.4 Justificativa .....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1 Artigos de referência .....	14
2.1.1 Carta de controle .....	14
2.2 <i>Six Sigma</i> .....	18
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
3.1 Metodologia DMAIC .....	24
3.1.1 Etapa Definir .....	24
3.1.2 Etapa Medir .....	24
3.1.3 Etapa Analisar.....	25
3.1.4 Etapa de Implementar.....	26
3.1.5 Etapa de Controle .....	26
<b>4 ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>27</b>
4.1 Fluxo estudado .....	27
4.2 Posto FF010 .....	30
4.2.1 Avaliação do modo operatório .....	30
4.2.2 Avaliação da condição do dispositivo FF010 .....	32
4.2.3 Avaliação do processo posto FF010 .....	35
4.3 Peças do fornecedor.....	37
4.3.1 Avaliação variação fornecedor .....	43
4.3.2 Modificações realizadas em 2022 .....	44
4.4 Análise estatística do processo.....	45
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>50</b>
5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO .....	52
5.1.1 Análise da degradação do componente.....	52
5.1.2 Análise computacional de demais pontos do processo.....	52
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria automotiva é de grande importância para a economia brasileira, sendo responsável por aproximadamente 5% do PIB nos últimos anos. Com 27 fábricas e 446 empresas de autopeças, o setor empregava diretamente, no ano de 2018, aproximadamente quinhentas mil pessoas, e 1,4 milhão de pessoas indiretamente. Sendo um setor já estabelecido no Brasil com uma boa maturidade econômica, as montadoras mais consolidadas possuem uma gama de produtos para o mercado interno, e destinam parte dos produtos para exportação. (Daudt, 2018)

Por se tratar de um setor industrial que detém grande complexidade, a dependência de fornecedores do mercado interno e externo é comum. Devido à complexidade da cadeia de produção, é possível que problemas de qualidade ocorram em diversos pontos. As áreas envolvidas nestes problemas devem ofertar propostas de solução que atendam aos requerimentos do projeto. (Cleto, 2011)

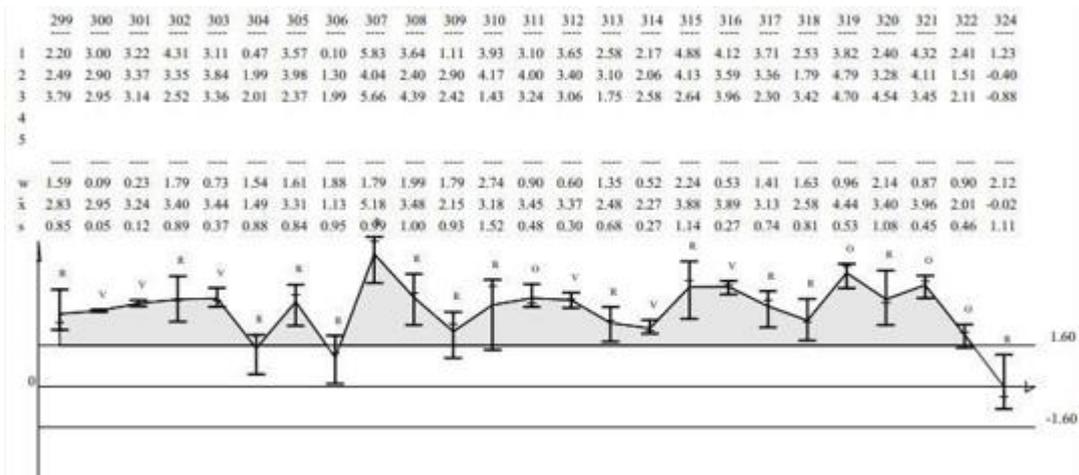
Dentro de um processo industrial, em uma montadora de veículos automotivos, a carroceria é responsável por unir diferentes chapas estampadas por meio de procedimentos de solda utilizando dispositivos com pinos de referenciamento. E tal método de fabricação está sujeito a variações de qualidade que podem afetar o cliente, e causar diferenças dimensionais do projeto enviado pela engenharia. (Yubing, 2007)

### 1.1 Delimitação do tema

Devido à alta complexidade da indústria automotiva, e dos anseios dos clientes de que os produtos tenham determinada qualidade, ou seja, corresponda às expectativas apresentadas, o estudo em questão irá analisar a variabilidade estatística de um ponto de controle dimensional situado no piso central de um veículo utilitário. O ponto estudado é a dimensão física encontrada por uma máquina de medição que mostra a distância em que a peça se encontra em relação a sua posição teórica-matemática. A medição desse mesmo ponto em diferentes amostras de carros nos indica a variação estatística, que será o foco do trabalho. Na carta de controle da figura 1, temos os valores das amostras durante 25 semanas de medições, na qual os valores de uma mesma amostra atingem o valor especificado como “com dispersão” somada a um resultado negativo no indicador de variação, chamado de farol de cotas. O farol de cotas recorre a um Teste de Amplitude Gráfica (TAG), que

tem os parâmetros definidos pela ISO 22514 – Métodos estatísticos na gestão de processos, e seus respectivos resultados. Para os casos nos quais o desvio padrão se encontra acima do topo do trapézio a medida é identificada como “com dispersão”. No caso do ponto de medição 111, o topo do trapézio tem o valor de 0,232. Atualmente, as últimas amostras têm um valor de 0,25975, condição que demonstra que o ponto de medição está com sua dispersão acima do nível tolerado.

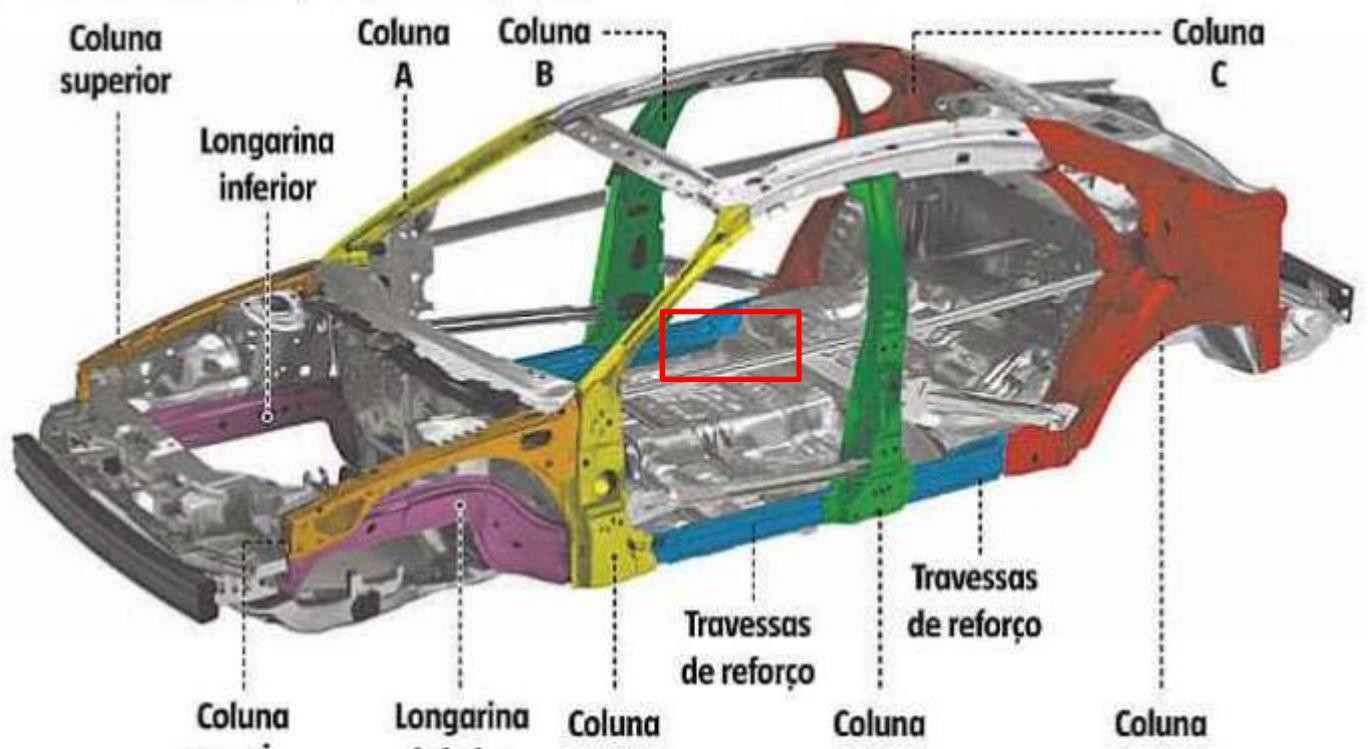
**Figura 1 - Carta de controle do ponto de medição 111**



Fonte: A empresa (2022)

A região representada na figura 1 se trata de uma carta de controle do ponto 111, as três primeiras linhas representam as medições que foram realizadas, cada uma das colunas representa uma semana de produção, de modo que os valores são lidos da esquerda, sendo o mais antigo, para a direita, sendo o mais recente. Na Figura 2 podemos entender a localização do ponto de medição 111, o ponto está sobre a peça que posteriormente se torna o ponto de fixação do banco traseiro, demarcada por um quadrado vermelho.

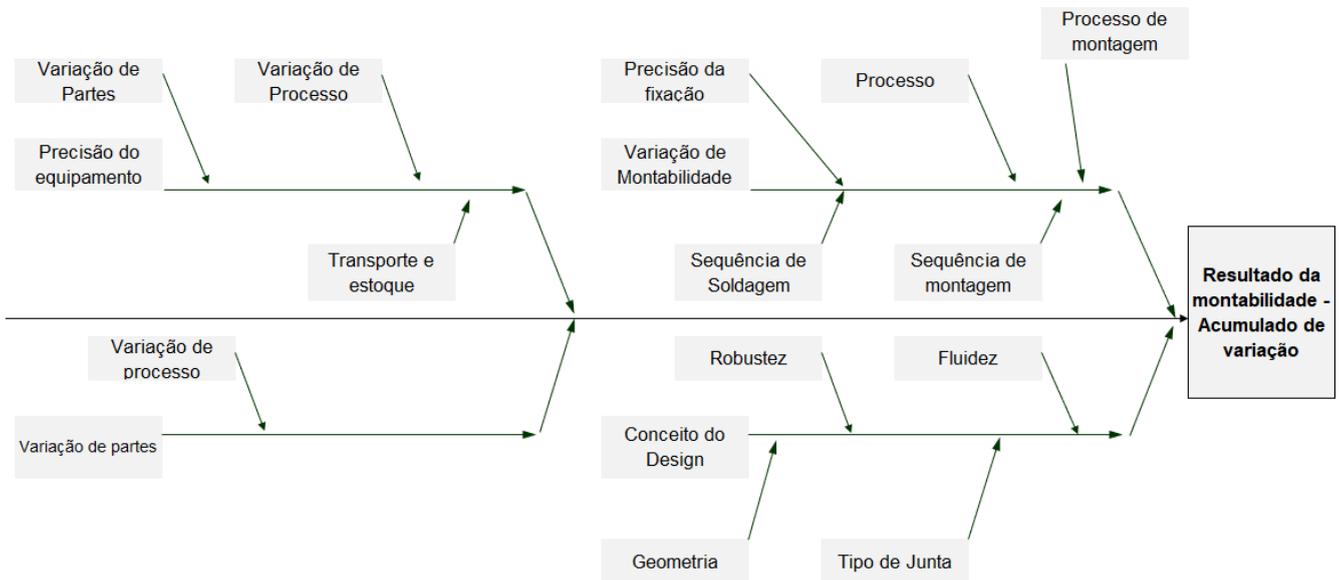
Figura 2 - Posição do ponto de medição



Fonte: Portal Lubes (2018)

O trabalho busca compreender a causa da variação a partir dos conceitos descritos por Yubing (2007). O autor cita que é diverso os fatores que podem causar o efeito de variação, dentre eles a variação da geometria da peça, a variação induzida por efeito térmico decorrente de processos de solda, e deflexões dinâmicas e estáticas. Perante tais fatores, o autor propõe um fluxo de análise para que as causas possam ser compreendidas. Conforme a Figura 3.

Figura 3 - Contribuição para variação de montabilidade de partes não flexíveis.



Fonte: Adaptado de Yubing, 2007

## 1.2 Formulação do problema

Para identificar quais causas propostas pelo autor se encaixam no processo de fabricação da peça em questão, serão feitas análises e ensaios específicos em cima dos eixos de falha apresentados acima. O estudo pretende responder aos seguintes questionamentos: se o *design* e a configuração do posto de trabalho podem influenciar o problema, se existem variações nas peças enviadas pelo fornecedor, se o transporte entre o fornecedor e o posto de trabalho causam degradações que induzem o problema, se existem diferenças de montagem das peças por parte dos operadores que venham a influenciar na variação, se a sequência de soldagem causa variação no processo, e se existe variação da peça no posto de trabalho. Os demais eixos de pesquisa, enquanto fatores menos influentes, não serão analisados no presente estudo.

Para os diferentes tipos de verificação serão utilizados diferentes métodos de testes, como ensaios de variação da peça no posto de trabalho e análises dimensionais das peças do fornecedor por meio de medição tridimensional.

## 1.3 Objetivos

O presente trabalho irá estudar as principais causas para o efeito de variação da cota 111. Com o objetivo de entender o processo e avaliar quais são as possíveis causas que contribuem com a situação de dados coletadas.

### 1.3.1 Objetivos específicos

- 1) Avaliar se o fornecedor está entregando peças com variação de espessura de chapas, peças deformadas, ou peças com variação prévia do processo anterior.
- 2) Identificar se o modo operatório de montagem das peças no posto de trabalho, a sequência de aplicação dos pontos de solda, e o transporte das peças entre os postos pode causar a dispersão na região em foco.

- 3) Analisar o posto de trabalho e depreender se a configuração definida no posto para garantir o isostatismo da peça está sendo efetiva.

#### **1.4 Justificativa**

O processo industrial deve ter qualidade e atender as expectativas previamente determinadas pela equipe de engenharia. A busca por essa qualidade é um dos focos do setor automotivo e leva à redução de custos, consequentemente aumento a lucratividade do negócio. (Chao, 2009)

Pela necessidade de se atingir os objetivos de qualidade, assim como de se diminuir a variabilidade do processo, o presente trabalho de conclusão de curso busca identificar o problema no ponto de medição 111, localizado no Piso Central, para elucidar quais as causas que fazem com que o ponto em específico não mantenha os níveis de tolerância geométrica definidos pela engenharia de produto, e quais são as possíveis soluções para atingir o nível definido. A resolução deste problema traz a certeza de que o processo se encontra estável, reduzindo, assim, a incidência de defeitos de qualidade em etapas posteriores do processo, e trazendo melhorias no indicador de variação geométrica do veículo acompanhado pela empresa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O capítulo 2 desse trabalho está focando em demonstrar as fundamentações teóricas que foram utilizadas para o trabalho.

### 2.1 Artigos de referência

Para a construção do trabalho de conclusão de curso, foram utilizados quatro artigos base, Yubing, 2007; Chagas, 2018; Fannucchi, 2017; Cleto 2011 que analisam, de diferentes perspectivas, as variabilidades de processos de fabricação da carroceria automotiva. Fannucchi (2017), utilizou os conceitos adotados neste trabalho para atingir um aumento do índice de capacidade do produto industrial. Chagas (2018) empregou conceitos de variação dimensional em um processo de carroceria na mesma empresa, porém em fábrica e modelo de veículo diferentes. O artigo de Yubing (2007) gerou bases de como deve ser realizada uma análise de variação dimensional em um veículo de uma indústria automotiva. E Cleto (2011), implementou os conceitos de como utilizar a ferramenta DMAIC para a elaboração de um estudo de caso na indústria automotiva.

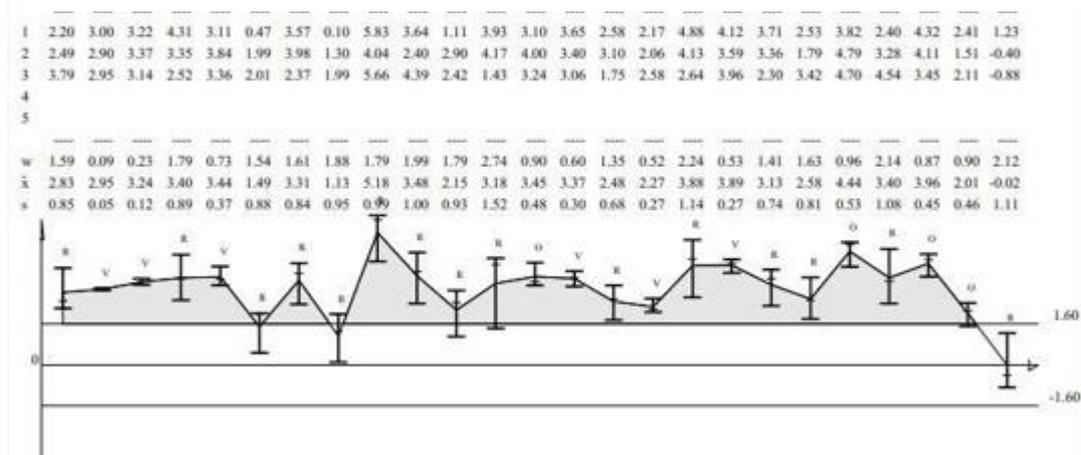
Todos os artigos foram encontrados através da plataforma Google Scholar, e na biblioteca online disponível no portal do aluno da UTFPR. A pesquisa foi realizada por meio de palavras-chave como indústria, automotiva, carroceria, variação, geometria, Lean-Six Sigma, e DMAIC. Não foram encontrados artigos que tratam do mesmo tema aqui analisado.

#### 2.1.1 Carta de controle

Para um melhor entendimento, algumas explicações serão tecidas sobre as ferramentas utilizadas para o estudo. Temos a carta de controle, um documento voltado para a análise visual de dados em uma quantidade de amostras previamente definida. Ela contém, em cada uma das linhas verticais, um conjunto de 3 dados medidos em uma mesma amostra semanal, e o conjunto de todas as linhas verticais, que mostra o avanço das amostras no tempo definido. O gráfico que se apresenta é no formato de vela, com a parte superior exibindo o valor com o maior dado matemático, e a parte inferior exibindo o menor. A barra vertical com abertura ampla contida no gráfico retrata um conjunto de dados com dispersão, e variação estatística. A abertura pequena simboliza um processo sem dispersão. Diversas semanas com valores sem dispersão correspondem a um processo apto a repetibilidade, já a

amostra com grande abertura, ou a abertura constante, evidencia um processo inapto (Franchetti, 2015). A aptidão do processo não é definida visualmente, mas sim por meio de cálculos de capacidade, e a carta de controle auxilia visualmente no entendimento do conjunto de dados em estudo.

Figura 4 - Carta de controle do ponto de medição 1114



Fonte: A empresa (2022)

### 2.1.2 Capacidade do processo

A capacidade de um processo nada mais é que um entendimento matemático da probabilidade de ele atender as especificações impostas pelo projeto do sistema. O cálculo realizado para descobrir a capacidade do processo está representado pela fórmula abaixo.

$$\hat{C}_{pk} = \min \left( \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{(-LSL)}{3\sigma} \right)$$

Na fórmula, o USL é o limite superior definido do processo, o LSL é o limite inferior, e o sigma é o desvio padrão do processo. Como o rateio é dos requerimentos do processo sobre a variação, um Cp acima de 1,0 é um indicativo de que o processo reproduz produtos com as especificações desenhadas. Portanto, um CP abaixo de 1,0 mostra que o processo não reproduz e o produto apresenta variações que devem ser tratadas para restabelecer a qualidade do fluxo. O cálculo de Cp tem como hipótese que o sistema está centrado e em sua posição correta, porém existe a possibilidade de os valores estarem deslocados e descentralizados de suas posições definidas. Para isso existe o cálculo do valor de Cpk.

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

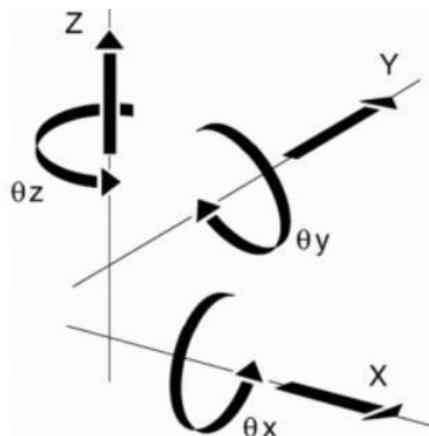
Caso o cálculo demonstre que Cpk é igual a Cp, determina-se que o processo

está centralizado (Franchetti, 2015). Os valores que serão utilizados nos cálculos de capacidade do processo foram obtidos por meio de medição via máquina CN tridimensional disponível na empresa. Após a identificação dos valores, serão realizadas as análises das possíveis causas de variabilidade do sistema.

A produção em ampla escala utiliza-se de componentes variados se entrelaçando e, devido às tolerâncias existentes em cada processo de cada peça, as variações dos componentes devem ser levadas em consideração. As primeiras menções de tolerância para processos com diversos componentes vieram da Inglaterra no final dos anos 1920. Nesse início não se aplicavam padrões de medição para que as análises fossem padronizadas. Com o avanço das técnicas de controle, o método computacional foi implementado, atualmente é possível identificar os problemas gerados pelas dispersões do processo de fabricação. A análise de variação dimensional é utilizada pelas indústrias para garantir o controle e situação dos processos (Sleath, 2014).

Para se obter um elemento que, ao ser travado em uma mesa de processo, não tenha movimentação em nenhum dos três eixos do espaço (X,Y,Z) ou rotação sobre esses mesmos eixos, deve-se entender o conceito de três graus de liberdade. Os graus de liberdade são responsáveis por definir uma única posição de um corpo em qualquer espaço de tempo. Um corpo pode se deslocar de duas maneiras, uma por translação, onde uma referência criada mudaria apenas sua posição de forma linear. A outra por rotação onde um ponto é definido como centro de rotação e ao realizar o movimento todos os pontos descrevem um movimento de arco pela região. Na figura abaixo estão definidos os 6 graus de liberdade.

**Figura 5 - Eixos de movimentação**



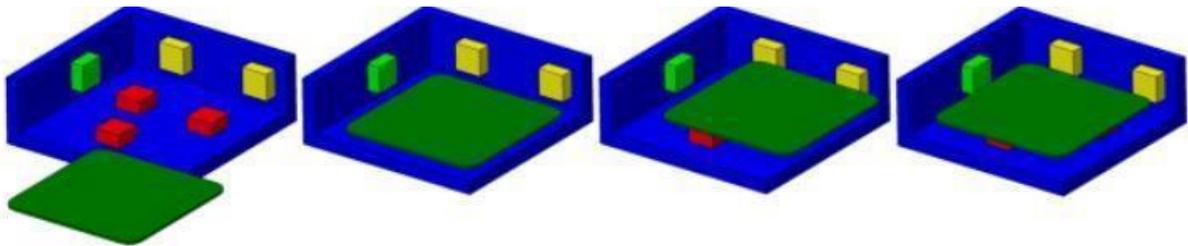
Fonte: Werkema, 2018.

O isostatismo de um corpo é definido quando ele está fixo no espaço, ou seja,

quando os seis graus de liberdade foram aplicados. Para casos em que são aplicados mais de seis graus de liberdade a peça é sujeita a hiperestática, nos casos em que são aplicados menos de seis graus a peça está hipostática. Em caso de peças grandes e flexíveis uma solução hiperestática pode ser considerada para evitar deformações nos corpos. (Chagas 2018)

Ainda segundo Chagas, uma das maneiras mais conhecidas para atingir o isostatismo é o método 3-2-1, em que um plano é sujeito a 3 pontos para formar uma restrição de três graus de liberdade, em que dois são angulares e outro linear. Outro plano será sujeito a mais 2 pontos de fixação, que formam uma reta, cujo um se trata de angular e outro de linear. Finalmente um ponto é adicionado ao terceiro plano, que restringe o grau de liberdade faltante. Finalizando o método 3-2-1, conforme figura 6.

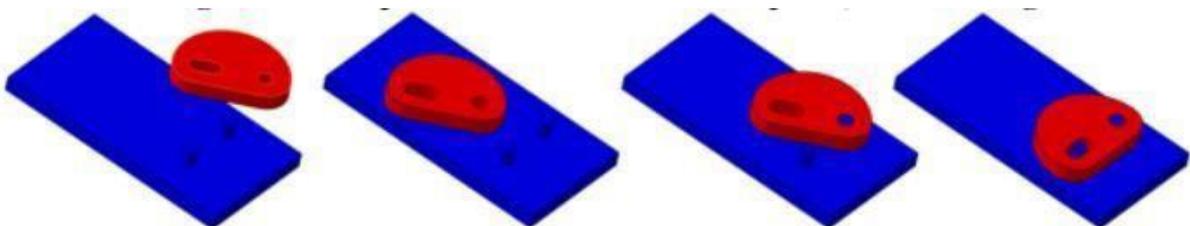
**Figura 6 - Pontos de apoio para obtenção de isostatismo**



Fonte: Chagas, 2018.

Nas peças industriais, também é utilizado o conceito do plano, furo, oblongo. No qual se tem que o plano travar a peça em três graus de liberdade, dois angulares e um linear. O furo está sujeito a mais dois graus lineares de liberdade. O último grau é sujeito pelo oblongo que trava a peça nos 3 eixos. O sistema plano, furo, oblongo fica mais claro na figura 7.

**Figura 7 - Pontos para isostatismo**



Fonte: Chagas, 2018.

Ainda segundo Chagas, o processo de isostatismo deve ser levado em consideração nas diversas peças construídas durante sua construção. Definir corretamente as relações garante o correto travamento e funcionalidade do processo.

Tolerância é algo normal que se apresenta em diversas situações no dia a dia, porém uma tolerância para um produto deve se ter uma análise embasada por fatos e dados. Os autores Albertazzi e Souza (2017) citam o exemplo de um cabo de vassoura, que ao olhar do cliente uma alteração de tolerância de 1mm para mais ou menos não ocasionaria diferenças no manuseio, mas que tal variação pode causar problemas no momento de se encaixar o cabo com a vassoura. Também é explicado pelo autor que uma tolerância muito precisa, como por exemplo (22,000 mm +- 0,001mm) torna o processo mais caro e necessita de um nível de precisão que não condiz com o tipo do produto oferecido, sendo assim, se faz necessário um equilíbrio entre tolerância técnica e custos.

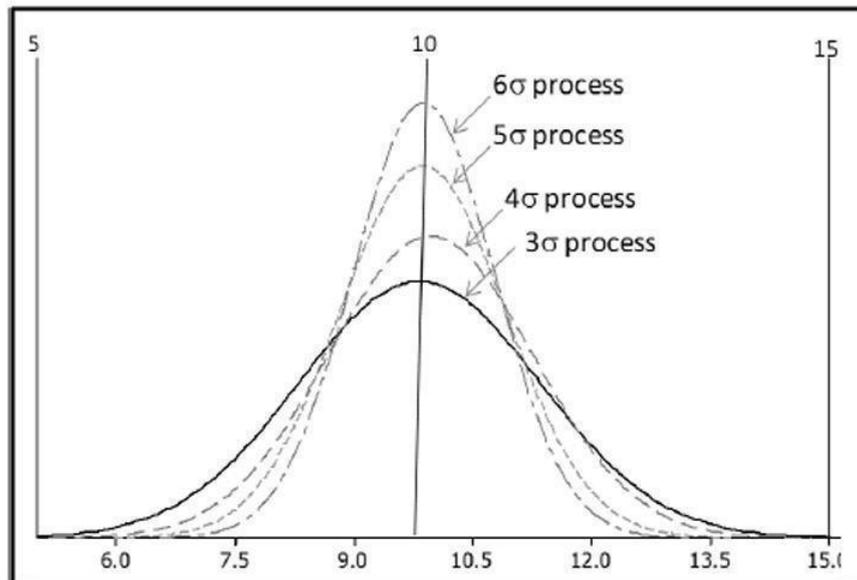
Tal tolerância é vista em demais problemas, como máquinas e processos não são perfeitos, as variações são esperadas e acompanhadas pelos fabricantes e órgãos fiscalizadores. O autor usa como exemplo um empacotamento de café, no qual o uso de uma embalagem empacotada com um valor muito acima do peso padrão traria prejuízos para a empresa e um pacote embalado com um peso muito menor do produto causaria insatisfação por parte do cliente. Portanto a variação deve ser controlada, e a tolerância bem definida, para proteger os gastos por parte da empresa e a satisfação do cliente final. (Albertazzi e Sousa, 2017)

## **2.2 Six Sigma**

A metodologia Six Sigma tem a sua origem na empresa Motorola e visa atingir as exigências de padrões de qualidade. A partir da implementação, os resultados de defeitos vendidos tiveram uma melhora significativa, e foi copiada por diversas empresas. A ferramenta tem por objetivo a diminuição de variações do processo, e um controle efetivo do desvio padrão de uma população, denominado por definição estatística de Sigma ( $\sigma$ ), um símbolo originário do alfabeto grego, que representa o número seis. Sigma, portanto, se refere a seis desvios padrões, que em valores numéricos correspondem a 3,4 defeitos de qualidade por milhão de unidades

produzidas, conforme a figura 8. (Kadry, 2018)

**Figura 8 - Níveis de Sigma para cada processo**



Fonte: Kandry, 2018.

Para alcançar essas melhorias expressivas em seus processos produtivos o Six Sigma é representado pelo modelo DMAIC. Um acrônimo em inglês para definir, medir, analisar, melhorar e controlar. (Franchetti, 2015)

Segundo Werkema, 2021, o conceito do DMAIC é:

D - *Define* (Definir): Definir com precisão o escopo do projeto;

M - *Measure* (Medir): Determinar a localização ou foco do problema;

A - *Analyze* (Analisar): Determinar as causas de cada problema prioritário;

I - *Improve* (Melhorar): Propor, avaliar e implementar soluções para cada problema prioritário;

C - *Control* (Controlar): Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo;

Figura 9 - Metodologia DMAIC



Fonte: Werkema, 2021.

Um projeto que for utilizar o DMAIC deve se referir a indicadores que sejam ligados aos resultados organizacionais, que estão definidos e que sejam passíveis de receber soluções. Para acompanhamento de resultados é necessário que esses indicadores mostrem o avanço ou não das ações esperadas e, de preferência, em um dos 3 eixos - custos, tempo ou qualidade. (Cleto *et al*, 2011) Ainda segundo Cleto, normalmente essas etapas se desmembram em duração da seguinte maneira: Define – 2%, Measure – 25%, Analyse – 45%, Improve – 25%, Control – 3%. Sendo que em média os estudos costumam durar entre 6 a 12 meses.

Como uma das pioneiras, a indústria automotiva se utiliza da ferramenta para um melhoramento dos processos. O objetivo final é de excelência na fabricação e a melhoria contínua dos processos e resultados, para se atingir as expectativas se dão o uso de algumas ferramentas e técnicas para ser mais assertivo e eliminar variáveis não ligadas a análise em questão. (Souza *et al*, 2017). Na Tabela 1 as diversas ferramentas e finalidades são desmembradas para um melhor entendimento da situação.

**Quadro 1 - Ferramentas de apoio ao DMAIC.**

<b>Ferramentas de Apoio ao DMAIC</b>	<b>Finalidade</b>
Diagrama de Ishikawa	Identificar todas as possíveis causas do problema dividido por áreas de atuação
5W2H	Elaborar planos de ações para atacar a causa, organizando quem irá executar, como será feito, quanto irá custar, etc.
Diagrama de Dispersão	Avaliar estatisticamente os pontos e variáveis correlacionadas com o problema.

Fonte: Pomarico, 2017.

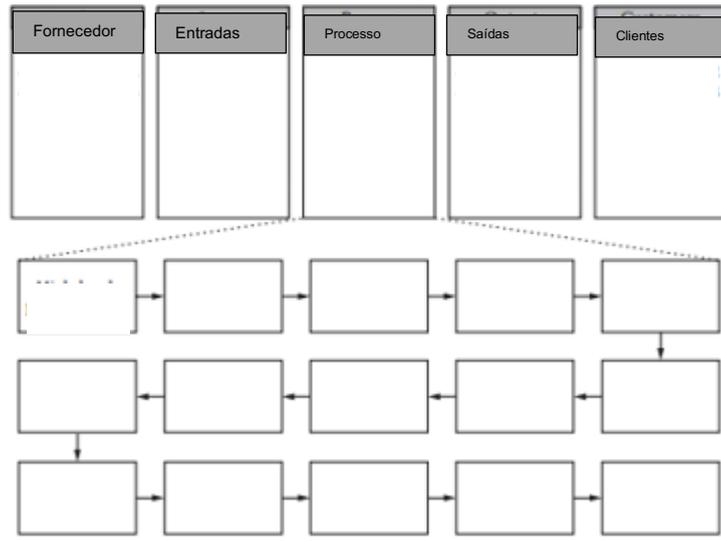
Na fase de definição, o objetivo se torna o desenvolvimento de um caso de negócio, que estabelece as diretrizes que serão tratadas e desenvolvidas pelo projeto.

Segundo Cleto *et al* (2011), um entendimento do problema algumas perguntas devem ser respondidas.

- Revisão do problema, oportunidade detectada para o projeto;
- Revisão da conexão entre projeto e negócio da empresa;
- Entender as necessidades dos clientes;
- Definição do processo a ser melhorado – Através do SIPOC;
- Definição dos indicadores;
- Definição do impacto econômico e retorno que trará à empresa;
- Definição do objetivo a ser alcançado;
- Definição do cronograma;
- Definir as fronteiras;

Para um entendimento mais completo do desenvolvimento, um mapa do processo pode ser desenhado para se ter um melhor entendimento dos inícios e finais do processo escolhido. Um diagrama SIPOC é utilizado para que além do mapa do processo se tenha um entendimento dos fornecedores e clientes do processo em análise, tendo um entendimento melhor de suas conexões, ou seja, uma visão macro de todo o processo. Tendo sido finalizado o entendimento dos passos iniciais e finais se inicia o mapeamento do processo. Essa etapa se pode ser realizada entrevistando operadores e os atores principais da linha de frente da operação. É necessário se manter simples, começar em um nível hierárquico maior para um menor, caminhar e visitar o processo, entender o início e final. (Franchetti, 2015)

Tabela 1 - Diagram SIPOC



Fonte: Frachetti, 2015

Para a fase de mensurar, o objetivo se torna, primeiramente, planejar o que será medido, as ferramentas que serão utilizadas, os pontos de controle, a confirmação de que os dados que serão coletados são válidos e que exista uma metodologia aplicada que faça com que tenha um base de dados estatisticamente relevante, que sejam possíveis seguir para a próxima etapa de análise. (Kadry, 2018)

Um dado válido pode ser construtivo, com a avaliação se as ferramentas utilizadas têm a representatividade dos dados que estão sendo avaliados. Também pode ser uma validação de conteúdo, se caso o teste é representativo de todos os aspectos que estão sendo englobados na coleta. Outro modelo de validação dos dados é por critério, caso a avaliação possa averiguar o qual concreto e quanto pode ser previsto a partir dos dados avaliados. (Middleton, 2019)

Na etapa de analisar os dados já foram identificados, devido aos estudos prévios, os indicadores que serão utilizados. Então o próximo passo passa a ser a identificação das causas raízes do problema. Segundo Cleto *et al* (2011), os pontos que devem ser seguidos para esse passo são:

- Desenvolvimento de uma síntese do Estado Atual do processo;
- Entender os efeitos gerados pelo processo atual;
- Hipóteses das causas raízes;
- Brainstorming para identificar potenciais causas do efeito;

- Coleta e evidências dos dados;
- Avaliar Benchmarks;
- Avaliar se existem potenciais causas ramificadas do estudo;
- Estudar a fundo os dados e aumentar o entendimento sobre o tema;
- Desenvolver melhorias a partir dos dados levantados;
- Definir Hipóteses a serem levantadas posteriormente;
- Apresentar os recursos necessários para a execução do projeto;
- A ferramenta para estudar os dados será o programa MiniTab.

Na fase de melhoria o foco se volta para a identificação dos prováveis e avanços no processo, por meio de brainstorming e analisando o custo-benefício das ideias propostas. Deve-se ter a implementação dos planos realizados, avaliando as ações planejadas com os funcionários da área. Algumas atividades que podem ser utilizadas nesse momento são uma Matriz de priorização, a ferramenta 5W2H, um plano de implementação, FMEA. O foco do final dessa etapa deve ser a de como seria o próximo passo para a implementação de um processo ideal, mostrando com clareza os benefícios da solução escolhida e os potenciais impactos dessa implementação com uma análise de risco. (Kadry, 2018)

Por controle, o foco se dá na garantia de que os ganhos realizados nas partes anteriores consigam se manter ao longo do tempo. Nessa etapa se faz necessário a atualização dos documentos do processo e das melhorias realizadas. Comparar o antes e depois da melhoria para apresentação dos dados. A elaboração do plano de controle para que seja garantida a perpetuação dos ganhos, juntamente com o treinamento dos funcionários envolvidos com a padronização das novas operações. (Kadry, 2018)

### 3 METODOLOGIA

Com o objetivo de se atingir os resultados de pesquisa, o projeto está baseado na metodologia DMAIC. Tal escolha se deve à apresentação uma sucessão de etapas que auxilia no entendimento geral do problema.

#### 3.1 Metodologia DMAIC

Para fins de organização, a metodologia DMAIC será aplicada durante a estruturação do trabalho.

##### 3.1.1 Etapa Definir

A Primeira parte do trabalho contempla a etapa do definir. Dentro do trabalho, já estão estabelecidas as oportunidades detectadas, conexão entre o projeto e o negócio da empresa, junto com a necessidade do cliente, definido o indicador que está sendo utilizado. A partir disso serão realizados os passos para a etapa medição.

##### 3.1.2 Etapa Medir

Durante a etapa de medir serão utilizados diferentes ensaios para levantamento de dados. Como primeiro passo serão coletados os dados obtidos e disponíveis pelo sistema eletrônico da sala de medição tridimensional, referente ao ponto de medição 111 nos eixos X e Y. Os dados serão armazenados em uma planilha eletrônica.

A segunda parte dos ensaios da etapa de medição será para validar a pergunta se existe variação das peças que chegam do fornecedor. Para tal ensaio serão retiradas três peças aleatórias de três embalagens diferentes, do conjunto que será montado e soldado posteriormente no processo, e será requisitado um controle das peças na sala de medição tridimensional, os dados serão salvos em planilha eletrônica. A importância do ensaio se deve aos pontos de medição e travamento que são previamente soldados nos postos do fornecendo.

Com o intuito de validar a pergunta se existe variação do próprio sistema de travamento da peça no dispositivo de soldagem, para um terceiro ensaio, será realizado o teste de repetibilidade de montabilidade das peças, ou seja, serão encaixadas as peças no dispositivo de produção, marcado com um lápis a posição em que as peças se fixaram, após isso o posto será aberto e repetido o ensaio com um total de cinco vezes. A diferença entre as marcações realizadas serão medidas com

um paquímetro, caso a variação seja acima de 0,2mm (o padrão definido pela empresa como aceitável) o posto apresenta não conformidade e é um das causas da variação.

Seguindo o levantamento de dados, o quarto ensaio terá como foco a pergunta de se a sequência de aplicação dos pontos de solda resistência, causa dispersão do conjunto. Aplicando a solda com o padrão atual, definido pela empresa, em 3 veículos e medir com um paquímetro a distância entre chapas. Após isso serão feitos mais dois ensaios com modos de sequência de solda diferentes e levantado os dados de cada um dos ensaios. O ensaio tem o intuito de avaliar se um operador soldando em sequência incorreta pode acarretar variação do processo.

Não será considerado o efeito térmico como causa de variação devido a área termicamente afetada por um ponto de solda resistência ser em várias dimensões menor do que a peça que está sendo analisada.

O último ensaio para levantamento de dados será o teste de conformidade dos pontos de fixação das peças no dispositivo, o teste consiste em tracionar as torres de posicionamento, utilizando um torquímetro, para garantir que estão dentro dos padrões definidos pela empresa como garantia de qualidade.

### 3.1.3 Etapa Analisar

Com os dados dos cinco testes levantados somados aos dados da sala de medição tridimensional de posição espacial da região, será iniciada a etapa de análise. Como primeiro ponto todos os valores disponíveis serão imputados no programa computacional MiniTab, em diferentes para que tenhamos todos os valores de dispersão e variação atuais disponíveis. A partir das análises realizadas nesta etapa serão retirados possíveis melhorias para cada um dos testes, caso alguma amostra seja inconclusiva serão realizados mais ensaios para aumentar o universo de dados e ter dados conclusivos.

#### 3.1.4 Etapa de Implementar

Para a etapa de *improve*, ou de implementar, serão propostas as ações de melhoria e tratativa das causas para a hierarquia do setor e com os custos de cada um avaliar o custo benefício de investir nas ações. Todas devem ter o ganho previsto e o custo avaliado.

#### 3.1.5 Etapa de Controle

Como não está garantida a implementação de todas as ações, a etapa de controle não terá o foco para o trabalho em questão. Caso as ações sejam implementadas serão propostas ações para controlar o ponto inserido e garantir a validação desta etapa.

## 4 ANALISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa etapa do trabalho serão apresentados os dados medidos com as evidências e devidas explicações de cada teste.

### 4.1 Fluxo estudado

Com base na metodologia apresentada, a sequência dos resultados será apresentada seguindo a metodologia DMAIC, com o foco nas partes de mensurar e analisar, considerando de que o Definir foi exposto na primeira parte desse trabalho.

Para auxiliar na abertura do levantamento de dados e análises temos a apresentação dos modos de falha prováveis de serem encontrados seguindo o fluxo de Yubing apresentado na parte teórica do trabalho.

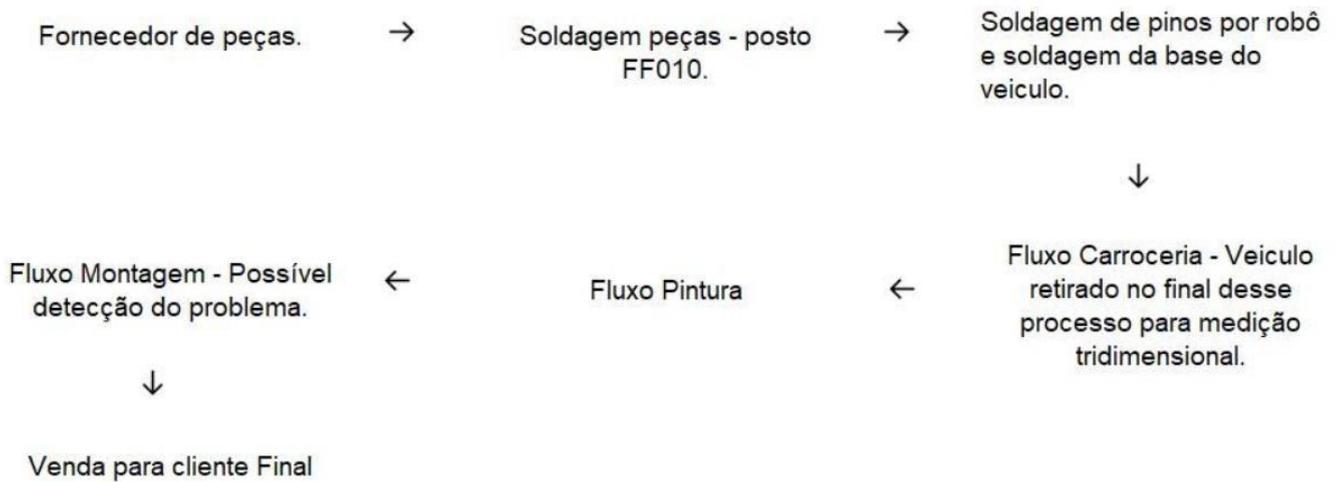
Para avaliar estatisticamente a conformidade do processo serão realizadas as análises estatísticas do processo durante o ano de 2021 e o primeiro trimestre de 2022 utilizando o programa MiniTab.

Utilizando como base a estrutura teórica montada, foram realizados os ensaios para análise das variações do ponto de medição 111. Os testes e dados foram coletados presencialmente durante o ano de 2021 e o primeiro trimestre de 2022 na planta de São José dos Pinhais da montadora em questão.

Os valores de medição do ponto físico são coletados durante a amostragem de veículos que são retirados aleatoriamente do fluxo no processo de carroceria e medidos utilizando uma máquina de medição tridimensional.

Para um bom entendimento do fluxo dos processos que foi estudado segue o esquema macro da fábrica em questão, descrito na figura 10.

**Figura 10 - Fluxo fábrica analisada**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para início do fluxo temos o recebimento das peças do fornecedor que já chegam com componentes fixados por solda resistência. Essas peças não sofrem controles de medição tridimensional separadamente em um fluxo comum, sendo apenas possível apenas com a medição completa do veículo em seu plano de monitoramento periódico.

Recebendo essas peças é iniciada a etapa de união por solda resistência no posto FF010, que está localizado na fábrica de São José dos Pinhais. Esse posto em questão está criando a geometria do piso central do veículo, unindo uma estrutura central dos chassis do veículo com as peças metálicas que fazem o apoio embaixo dos bancos frontais do veículo, o ponto de medição selecionado está localizado nessa região do lado direito, lado do passageiro.

O piso central já soldado conforme é retirado do posto e encaminhado para um fluxo robotizado que faz a soldagem de pinos na estrutura inferior, esses pinos não causam alteração da geometria dos pontos analisados. O mesmo robô após finalizar esse processo posiciona a peça em uma esteira, que posteriormente por outro robô é unida aos demais pisos para criar os chassis do veículo e continuar o processo de soldagem.

Ao continuar o processo da carroceria não existem mais uniões próximas a região de análise do trabalho, o fluxo no departamento segue até finalização 100% dessa estrutura. Após todos os processos de soldagem serem finalizados uma amostragem semanal, previamente definida, os carros são desviados do fluxo e encaminhados para o plano de medição. Esse é o local em que os dados utilizados para a análise da dispersão do trabalho são obtidos.

Ao finalizar o processo de carroceria, o veículo segue para as estufas e processos de proteção e pintura do veículo no departamento de pintura, como os dados são obtidos previamente esse processo é descartado na análise.

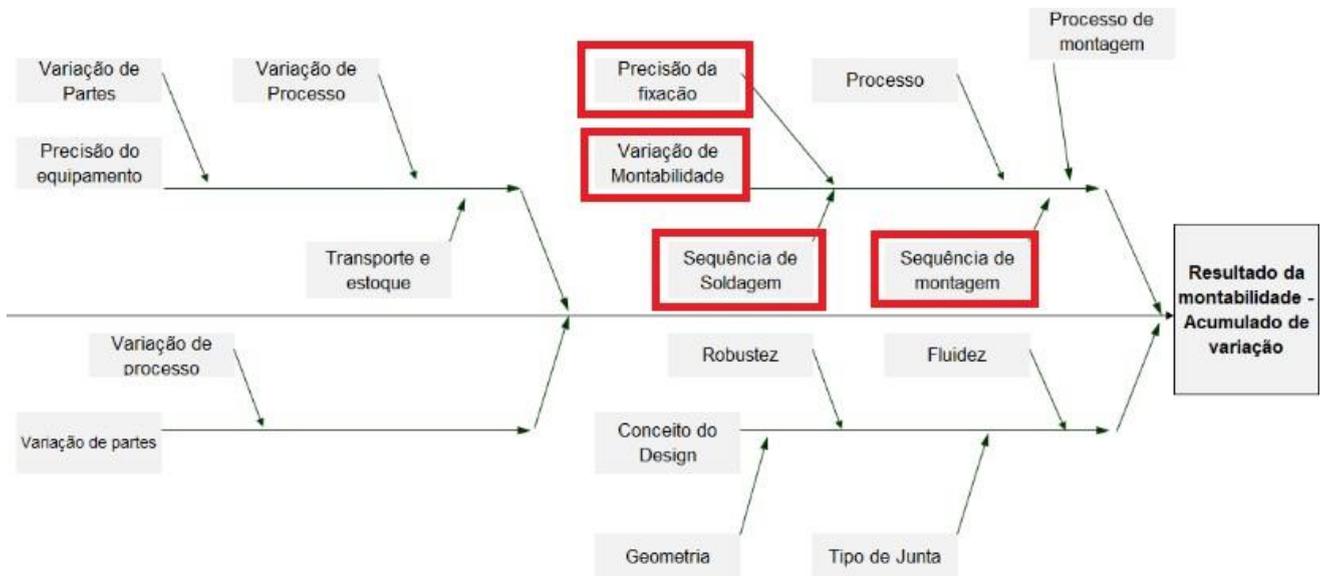
Seguindo o fluxo, o veículo segue para o departamento de montagem, onde a variação em análise pode ser percebida fisicamente em alguns casos. A variação não é considerada como crítica para a realização das operações necessárias, mas pode requerer desvios de fluxo para tratativas de qualidade e análise das equipes competentes e conseqüentemente criar aumento nos custos finais do produto.

Ao avaliar o processo como um todo um estudo deve ser realizado em cima das peças que são recebidas do fornecedor e no posto FF010, em que a união das chapas, e conseqüentemente da geometria, da região avaliado é formado, e o transporte entre o posto FF010 até a união completa dos chassis do veículo ser realizada. Foi levantada a hipótese de que essas são as regiões que auxiliam a criar a variação estudada.

## 4.2 Posto FF010

### 4.2.1 Avaliação do modo operatório

**Figura 11 - Modos de falha avaliados**



Fonte: Adaptado de Yubing, 2007.

Utilizando os conceitos de Yubing, o primeiro ensaio realizado para tentar determinar as causas da dispersão dos resultados foi no eixo de variação dos operadores, mais especificamente das não conformidades na montabilidade das peças nos dispositivos de solda e sequência do modo operatório de aplicação dos pontos de solda resistência. Para um melhor entendimento dos eixos avaliados foi apresentado novamente o fluxograma de Yubing (2007) e os pontos do foco do primeiro teste, que seguem destacados em vermelho na Figura 11.

A montabilidade acontece de forma manual, com uma assistência motorizada que auxilia na montagem da peça central que possui um peso maior e apenas com as mãos nas duas peças laterais. Temos no total a montabilidade de 3 peças nesse posto de trabalho. As peças ao serem depositadas no dispositivo devem ser encaixadas em pilotos em posições definidas pela engenharia de processo, como base para toda a peça existem torres com referências em que a peça deve ser montada em cima.

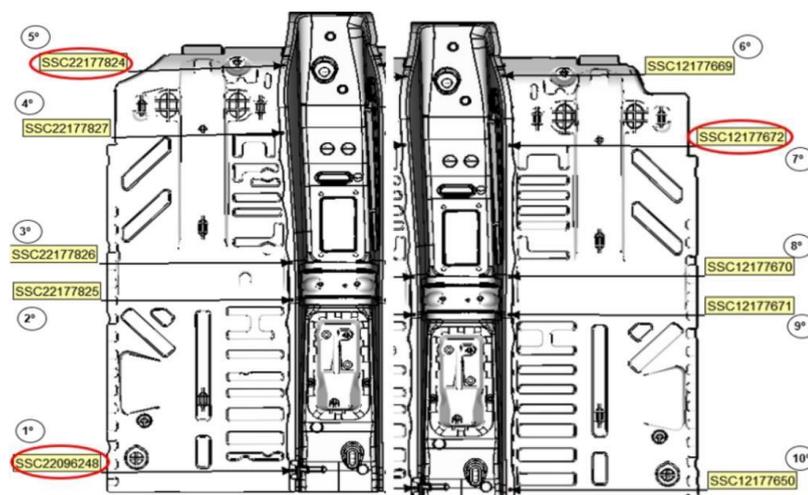
No momento em que todas as peças são encaixadas nos pilotos e referências corretas os sensores existem no dispositivo são todos acionados e isso permite que o

operador acione o fechamento pneumático das serragens, que são travas metálicas que se unem as referências e travam a peça no eixo perpendicular a base do dispositivo. Toda essa sequência foi realizada conforme padrão e não foram identificados pontos que poderiam causar a dispersão avaliada referentes a montabilidade.

A montabilidade e travamento da peça sendo finalizadas têm os procedimentos de solda. Quem define a quantidade e posicionamento dos pontos é a engenharia de processo, caso exista um problema conhecido de variação de geometria causado pela sequência incorreta dos pontos de solda a ordem em que os pontos de solda devem ser realizados também é definida, no caso em que estamos avaliando temos somente definido pela engenharia a posição e a quantidade de pontos.

Com essas informações repassadas da engenharia para a manufatura é criada uma folha de sequência de operação, que o operador deve seguir. Como padronização necessária, a equipe de manufatura definiu uma sequência em que os pontos devem ser soldados conforme o padrão da Figura 12. Nessa imagem temos as nomenclaturas de cada ponto de solda em amarelo, a flecha que indica o local em que o ponto de solda deve ser aplicado e dentro do círculo temos as sequências de solda definidas pela manufatura, iniciando no primeiro ponto até o décimo ponto de solda.

**Figura 12 - Ponto de solda peça avaliada**



**Fonte: A empresa (2022)**

Foi considerada a possibilidade de que, mesmo não sendo requisitada pela engenharia, a sequência de soldagem poderia causar tensionamentos ou flexões não desejadas na peça. Para avaliar tal hipótese, foram realizados 3 testes de sequência

de soldagem.

No primeiro teste os pontos foram soldados conforme o especificado pelo documento criado pela manufatura e disponível ao operador. Ao avaliar a sequência dos 10 pontos de solda não foram detectados tensionamentos ou flexões para esse modo operatório e o processo ocorreu de forma normal.

Para o teste número 2, foi requisitado para o operador que fosse iniciada a soldagem a partir do ponto numerado 5 até a numeração 1 então do número 6 seguindo a sequência até finalizar no ponto número 10. Esse teste, assim como o primeiro, não demonstrou tensionamentos ou deformações que pudessem causar a variação da região avaliada.

Foi então realizado o teste número 3, em que os pontos foram feitos em sequência invertida, iniciando no número 10 até finalizar no número 1. Novamente não foram percebidas deformações ou tensionamentos que pudessem afetar a região avaliada.

Com isso podemos considerar que a sequência de montabilidade das peças e a sequência de soldagem dos pontos, mesmo que realizada de forma fora do padrão, não está afetando a região avaliada e não será considerada como uma das causadoras de variação.

#### 4.2.2 Avaliação da condição do dispositivo FF010

**Figura 13 - Modo de falha avaliado**



Fonte: Adaptado de Yubing, 2007.

Seguindo com os pontos de controle propostos por Yubing que podem contribuir com a variação da região sobre estudo no dispositivo FF-010. Conforme a

figura 13, teremos a análise dos equipamentos que são utilizados para realizar a soldagem dos pontos de solda e da própria mesa, se os pilotos, referências e serragens, que são partes do dispositivo que garantem o correto posicionamento das peças para receber as soldas, estão conforme o especificado.

Um processo de solda por resistência utiliza das peças metálicas por solda resistência é realizado com uma ponteadeira, essa ponteadeira possui dois braços com eletrodos metálicos em suas pontas. Um dos braços se mantém estático durante o processo enquanto o outro tem um movimento de fechamento que se assemelha a uma pinça. Os dois braços se encontram na mesma posição em lados opostos das chapas metálicas que se pretende realizar a união, e com parâmetros já definidos no equipamento de pressão e corrente temos a união das chapas. Ao se realizar essa etapa podemos ter interferência na angularidade do eletrodo com a peça, que deve estar a 90 graus entre eles, caso não esteja podemos ter pontos não conforme e forças de cisalhamento na região do ponto.

Durante as análises do caso foi avaliado que os eletrodos estavam sendo aplicados conforme o padrão e na angularidade padronizada conforme Figura 14. O operador sabia dizer o que pode acontecer em caso de aplicação não conforme e mantém uma boa postura durante o processo. Devido as evidências colhidas foi descartada a possibilidade de que a angularidade dos pontos de solda poderia estar causando variação na região avaliada.

**Figura 14 - Operação de solda**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Outro fator que pode causar variação no processo estudado são as condições dos pilotos, travas e coordenadas de travamento. Caso existam desgastes excessivos em qualquer em uma dessas partes podemos ter movimentação não programada da

peça durante o processo de soldagem e conseqüentemente variação do processo.

Para avaliar se o processo está em conformidade é necessário realizar uma inspeção na área de contato entre peça e piloto, caso exista degradação na região deve ser retirado o piloto e instalado um novo sem a degradação na região. Tal degradação não foi identificada em nenhum dos pilotos que são utilizados no dispositivo em questão e, portanto, foi descartado como hipótese da análise em questão.

Seguindo o mesmo princípio temos que as travas e coordenadas de travamento, que fazem o travamento do eixo perpendicular à base do dispositivo, não podem ter folgas ou desgastes excessivos. Caso essas não conformidades sejam identificadas teremos variação da posição em que a peça deva ser posicionada e podemos ter variação da posição no momento da aplicação do ponto de solda. A avaliação é realizada observando se a face da trava, parte inferior a peça, está totalmente em contato com a peça e sem folgas e se a coordenada de travamento, que faz o travamento acima da peça, está sem folgas excessivas na região, o que poderia também causar variação durante a aplicação dos pontos de solda. Não foram identificadas em nenhum dos casos tal degradação excessiva, conforme evidenciado na Figura 15 e 16, portanto para a análise em questão foram descartadas que as variações identificadas possam estar ligadas ao dispositivo em questão.

**Figura 15 - Evidência piloto**



i. Piloto

**Figura 16 - Evidência Trava e coordenada de travamento**

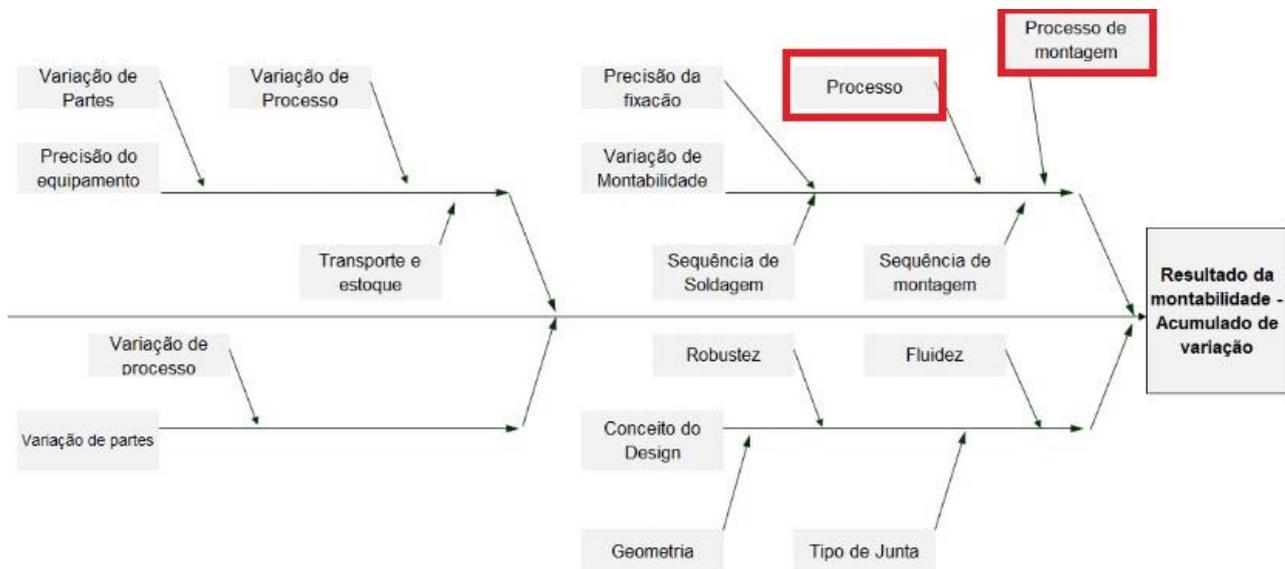


ii. Trava e coordenada de travamento

**Fonte: Autoria própria (2022)**

#### 4.2.3 Avaliação do processo posto FF010

**Figura 17 - Modo de falha avaliado**



**Fonte: Adaptado de Yubing 2007.**

Já descartadas que as variações estejam ligadas a sequência operatória ou o dispositivo FF010 o estudo seguirá para a avaliação sobre o processo estabelecido conforme figura 17. Verificar se realmente o dispositivo está garantido o travamento 3-2-1, caso não esteja mesmo com todos os parâmetros avaliados estando conformes poderia haver variação na produção da peça no dispositivo FF010.

Em um processo de isostatismo, para haver repetibilidade do processo a peça deve seguir um processo de travamento 3-2-1, assim garantindo que o elemento de ensaio esteja propriamente posicionado antes do travamento final. Com isso, teremos a certeza de que não existirá movimentação fora do esperado da peça durante a aplicação dos pontos de solda. Para isso um ensaio de repetibilidade pode ser aplicado.

O ensaio consiste em se montar todas as peças conforme o padrão já avaliado anteriormente, realizar o fechamento pneumático e marcar com um lápis a região em que as peças ficaram posicionadas, ao finalizar a marcação o dispositivo é aberto sem realizar a solda das peças. A montagem das peças é repetida mais duas vezes, agora sem a marcação, ao final da terceira e última montabilidade da peça e avaliado se a peça se manteve na mesma posição marcada com o lápis ou se houve variação. O ensaio foi realizado e não foi observada variação após a aplicação do lápis, o que demonstra que o sistema 3-2-1 está garantindo a posição. A posição e travamento da peça no dispositivo estão na Figura 18. Devido aos resultados obtidos foi descartado

que o processo do posto FF010 não está garantindo a geometria da peça.

**Figura 18 - Travamento peça dispositivo**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Avançando na avaliação temos o processo de transferências da peça após a retirada das peças do posto de trabalho. O sistema atual se faz por meio de assistências manuais e robôs que fazem a transferência. Após finalizar a operação do posto FF010 o operador retira a peça com a ajuda de uma assistência e posiciona a peça sobre um transportador automatizado. A peça passa por esse transportador e chega até um robô que faz a pega da peça, realizada a aplicação de pinos de solda, que não causam a variação da peça e após término dessa operação faz o depósito da peça sobre a peça do piso dianteiro do veículo e um novo transportador, onde segue até o depósito do piso traseiro. As evidências de como esses fluxos são configurados estão nas Figuras 19 e 20.

Avaliando o processo de transporte não foram identificados pontos que pudessem degradar a peça, todos os pontos são pilotados e depositados em velocidade que não afetam a geometria das peças. Os processos avaliados por não apresentarem não conformidades foram descartados como um dos causadores para a variação em questão que está sendo analisada.

Figura 20 - Fluxo de transporte 1



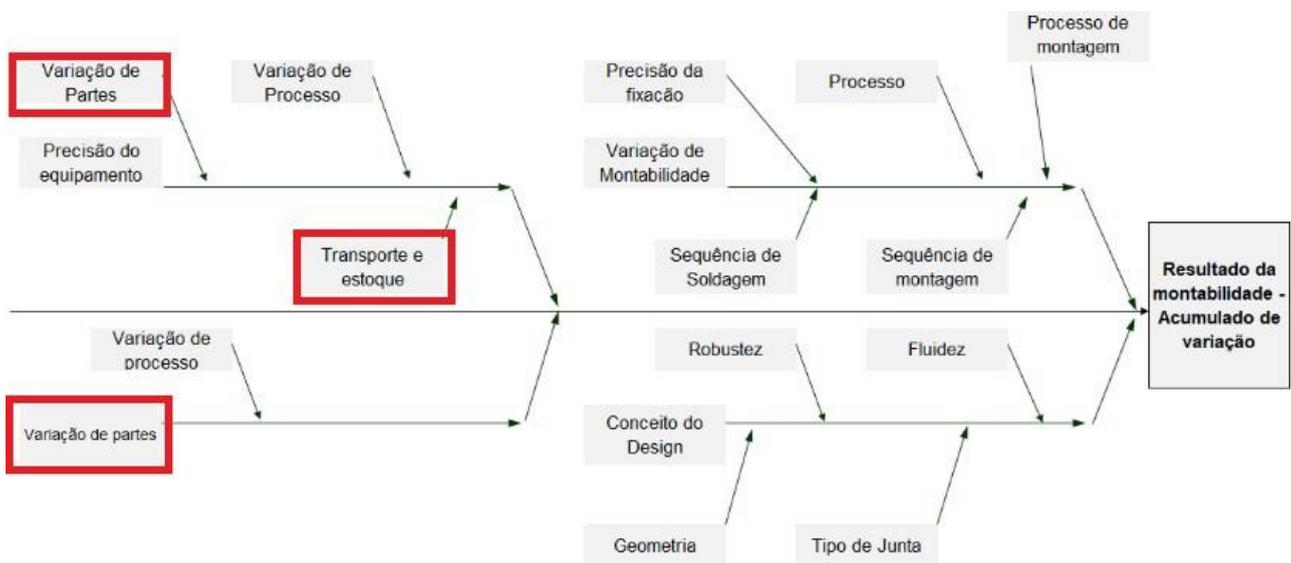
Figura 19 - Fluxo de transporte 2



Fonte: Autoria própria (2022)

### 4.3 Peças do fornecedor

Figura 21 - Modo de falha avaliado



Fonte: Adaptado de Yubing, 2007.

A análise de variação segue para as peças que chegam dos fornecedores, conforme fluxo da figura 21. As peças avaliadas foram as peças metálicas que fazem posteriormente a geometria e o posicionamento da região do ponto de medição 111. Essas peças chegam em embalagens conforme as da Figura 22.

**Figura 22 - Embalagem recebimento de peças**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para avaliação das peças do fornecedor foram retiradas 3 peças aleatórias de 3 embalagens diferentes para inspeção. Os lotes utilizados para separação das peças foram o 14959962, 14959961 e 14932610 e separados, conforme a figura 24. A ideia inicial de levá-las à sala de medição tridimensional, porém, não foi disponibilizada carga pela equipe especializada. Dessa maneira a inspeção das peças foi realizada de maneira visual com um auxílio de um paquímetro. Com essa medição menos precisa ainda ficou identificada variação da peça na região indicada da da figura 23. Com a ajuda de um paquímetro foi possível calcular que a diferença entre a posição das peças superou 2mm o que faz com que a análise do eixo de material deva ser ampliada para o fornecedor. Essa posição faz ligação direta com o ponto de medição 111.

**Figura 23 - Desvio identificado**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

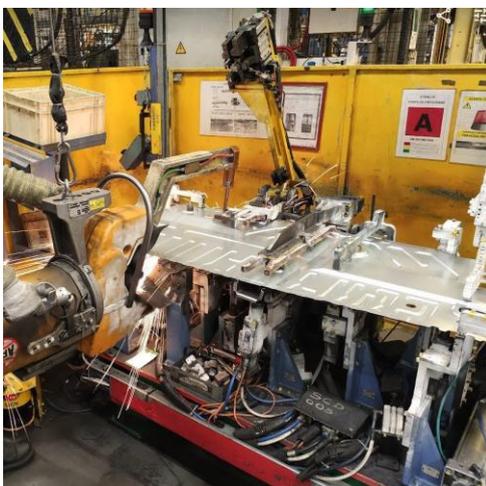
**Figura 24 - Peças de lotes diferentes**

Fonte: Autoria própria (2022)

Com isso se constata com evidências de que o fornecedor está enviando peças com variação de seu processo. O fornecedor da peça está localizado no mesmo complexo da fábrica em que a análise foi realizada.

Devido a isso uma visita foi realizada na fábrica do fornecedor, o passo a passo já realizado anteriormente no posto FF010 foi repetido nos dispositivos que fazem a construção da peça. Sendo eles os testes de repetibilidade, material do fornecedor, qualidade das peças do dispositivo.

A análise partiu para validar os dispositivos SC030 e o posto SCD005 que são os 2 dispositivos que formam a peça final que é enviada para a produção do veículo analisado, conforme as Figuras 25 e 26.

**Figura 25 - Posto SCD005****Figura 26 - Posto SCD030**

Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme já realizado da mesma maneira da outra fábrica, os testes foram realizados conforme os padrões. Iniciando pelo colaborador, o mesmo realizou a operação conforme a documentação do posto, não apresentando problemas de sequência de aplicação dos pontos de solda.

Para material não foram identificadas não conformidades chegando do fornecedor dos materiais utilizados, o material apresentou repetibilidade e não demonstrava diferenças perceptíveis.

O dispositivo SC30 não apresentou mais nenhuma outra variação em relação a qualidade do dispositivo, porém ao avaliar a qualidade do dispositivo SCD005 foram percebidas não conformidades na torre que faz a sustentação de um piloto, o que causa movimentação não prevista na referência do ponto de medição 111, a não conformidade evidenciada ao se aplicar uma carga manual sobre a torre e a mesma apresentar variação de posição. Conforme a Figura 27.

**Figura 27 - Desvio piloto fornecedor**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para identificar os limites tolerados pela empresa foram procurados as normas da empresa para a deformação permitida dos pilotos. A Figura 28 mostra parte da norma interna da empresa em como realizar um ensaio para tensionamento dos pilotos.

O teste especificado é realizado utilizando um dinamômetro para atingir a força necessária de 10 N ou 1,01 Kgf, ao se aplicar a carga descrita não se pode ter deslocamento do piloto acima de 0,15 mm ao se utilizar um relógio comparador. Esse

teste é realizado pela equipe de engenharia durante as fases de implementação dos novos dispositivos na empresa, porém é apenas testado novamente seguindo esse procedimento caso alguma não conformidade constante esteja sendo identificada no processo, não estando planejada um controle periódico sobre o tema. Para realizar corretamente o equipamento de medição de deslocamento do piloto não pode estar fixado na mesma torre do piloto em análise, ele deve obrigatoriamente ser instalado em outra superfície que não irá sofrer a deformação imposta pela força de teste.

**Figura 28 - Norma para teste de resistência de pilotos**

- **Moyen d'assemblage** : dans tous les cas d'outillages : au sol ou ayant plusieurs positions de travail (préhensions), s'assurer que la gravité n'a pas d'influence sur la conformité géométrique du moyen dans leurs conditions d'utilisations (positions, charge, ...).
- **Palette d'assemblage** : la raideur d'acceptation doit lui permettre de s'adapter rapidement à la planéité des plots de référence du poste de retaillage (palette, plateau tournant).

Règle d'acceptation :

- Les pilotes et drageoirs (références) ne doivent pas avoir un déplacement dans chaque direction de travail > à 0,15 mm pour un effort de 10 daN.
- Dans le cas où le poids d'une pièce entraîne une contrainte supplémentaire sur les zones travaillantes, les raideurs doivent être contrôlées en charge. Acceptation :  $\pm 0,15\text{mm}$  dans tous les cas.

**Fonte: Norma interna Empresa**

Para avaliar se a movimentação realmente é uma não conformidade foi realizado um ensaio conforme a norma interna da empresa. Para realizar o ensaio foram utilizados um cabo de aço, um dinamômetro e um relógio comparador. O relógio comparador contava com uma estrutura magnética para auxiliar na fixação do dispositivo e foi fixado em outra estrutura do dispositivo que não fazia contato com a torre analisada para não haver interferência dos valores analisados, conforme Figura 29.

**Figura 29 - Configuração Teste de Flexibilidade**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Um cabo de aço foi fixado ao redor do piloto e a ponteira do relógio comparador posicionada na face em que o esforço foi realizado e zerada a medição. Com o auxílio de um dinamômetro a carga requerida foi aplicada atingindo um valor de 1,1 kgf e o valor máximo recebido no relógio comparador foi de 0,293mm, conforme figura 30 o que está acima dos valores aceitáveis pela norma e demonstra não conformidade na torre.

**Figura 30 - Evidência deformação piloto**

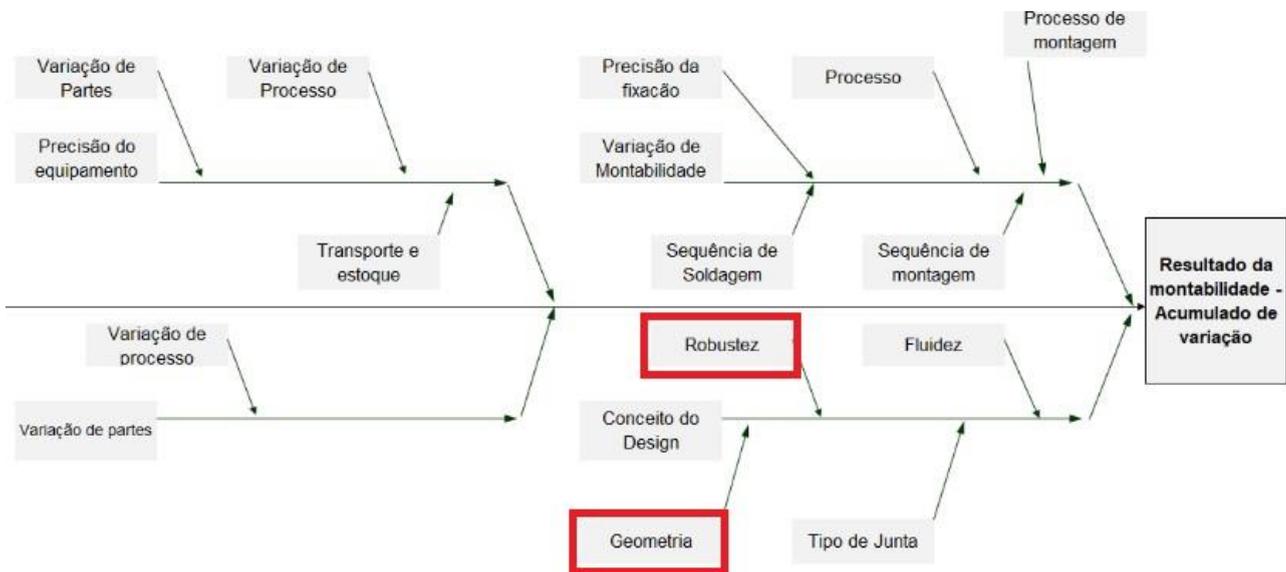


**Fonte: Autoria própria (2022)**

Devido aos valores avaliados temos com um dos pontos que apresentaram evidências que comprovem variação o posto SCD005 do fornecedor, a região se encontra diretamente posicionada com a região da medição 111 e foi considerada com uma das causas que auxiliam na variação.

#### 4.3.1 Avaliação variação fornecedor

**Figura 31 - Modo de falha avaliado**



Fonte: Adaptado de Yubing, 2007.

Com as evidências apontando para que a variação da base do piloto de posicionamento da peça do fornecedor é uma causa da variação que temos evidência, se faz necessário entender o que causou a deformação fora do padrão, seguindo a esquema demarcado na Figura 31.

O piloto utilizado no dispositivo não é estático e está posicionado em um cilindro pneumático, para auxiliar com a retirada da peça do dispositivo na maneira em que realiza um avanço vertical do piloto e possibilita uma retirada sem esforços ou dificuldades excessivas da peça.

Com o auxílio de uma equipe especializada na manutenção dos equipamentos mecânicos dos dispositivos foi identificado que dentro do cilindro uma bucha, que é responsável por diminuir o atrito entre partes e garantir a boa posição do eixo de acionamento, estava desgastada e não garantia a posição correta do piloto. Essa análise só foi possível após a substituição do cilindro do dispositivo e ser levado a oficina mecânica para avaliação interna.

Com a substituição do cilindro e instalação de novo cilindro conforme foi realizado novo teste de tensão. O novo valor identificado foi de 0,12mm de deformação, o que está dentro do padrão da empresa.

Um próximo passo deve ser entender o porquê da bucha se desgastar e não ser identificada. Uma análise sobre o sistema de controle periódico da região foi iniciada. A primeira barreira de controle se inicia com o operador do posto devendo realizar uma conferência manual no piloto diariamente, caso identifique folga deve ser

alertada a gestão para que as tratativas corretas sejam executadas. A operação não identificando a variação percebida do piloto mostra que formações e tratativas com a não identificação de não conformidades devem ser modificadas.

Com isso se fez entender que a manutenção autônoma não foi capaz de perceber o defeito e conseqüentemente de que a atual conferência dos meios de produção pelo fornecedor se mostra não capaz de reconhecer as variações que podem afetar o processo.

#### 4.3.2 Modificações realizadas em 2022

Durante o ano de 2022 o fluxo de fornecimento de peças do processo foi alterado, o equipamento que apresentou variação foi desativado e um equipamento novo, com as mesmas funções do equipamento do fornecedor, foi instalado na fábrica da análise.

O novo equipamento instalado na fábrica foi posicionado ao lado do posto FF010, o produto sofreu alterações, porém em outros pontos que não fazem interferência com a região de análise. Os dados colhidos nesse novo período são de um equipamento que está com todos os escopos dentro do especificado pela engenharia. Com novos testes de tração das torres sendo realizadas apresentou valores de 8mm de deslocamento, conforme a figura 32. Portanto os valores obtidos pela medição tridimensional em 2022 são de um processo em que a máquina se mostra conforme. A mão de obra continua dentro dos padrões, juntamente com a metodologia.

Portanto, em resumo, um processo que tinha como uma das possíveis causas uma variação de peças do fornecedor foi internalizado e realizado dentro dos padrões da própria fábrica, com seus próprios controles. A não conformidade que foi apresentada não se repetiu e deixou de ser um dos parâmetros que podem causar a interferência.

Figura 32 - Teste realizado no novo dispositivo



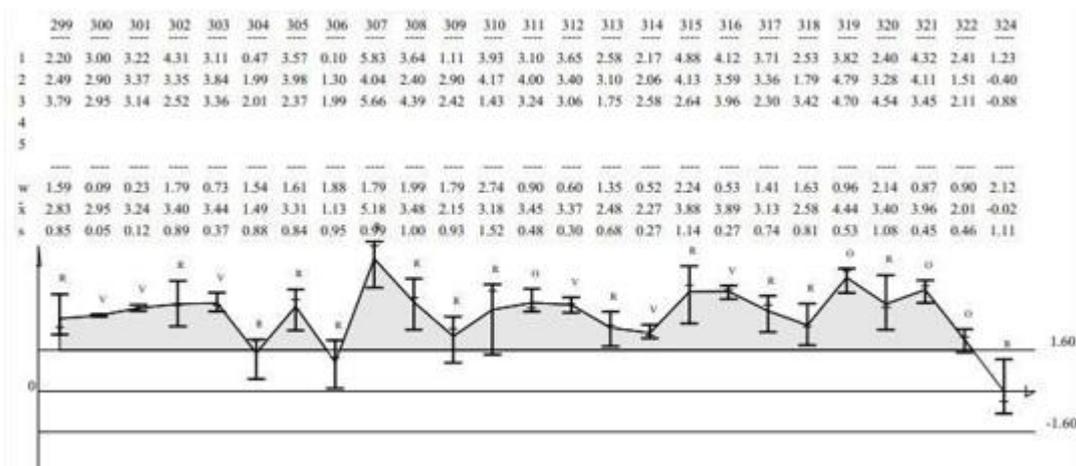
Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.4 Análise estatística do processo

A partir desse ponto passamos para apenas a etapa de Análise do DMAIC, avaliando os valores mensurados e a atual situação do processo.

Os valores da Figura 33 são as medições realizadas durante o ano de 2021, elas contabilizam um total de 75 amostras. Cada coluna representa uma semana de medição, cada semana conta com a medição de 3 veículos, o zero do sistema é a linha horizontal central, as duas linhas horizontais acima e abaixo da linha central representam os limites superiores e inferiores respectivamente. O gráfico de vela abaixo dos valores de cada coluna das semanas representa visualmente os valores coletados semanalmente. O maior valor coletado demonstra o topo do gráfico e o menor a base do gráfico de vela.

Figura 33 - Carta de controle 2021



Fonte: A empresa (2022)

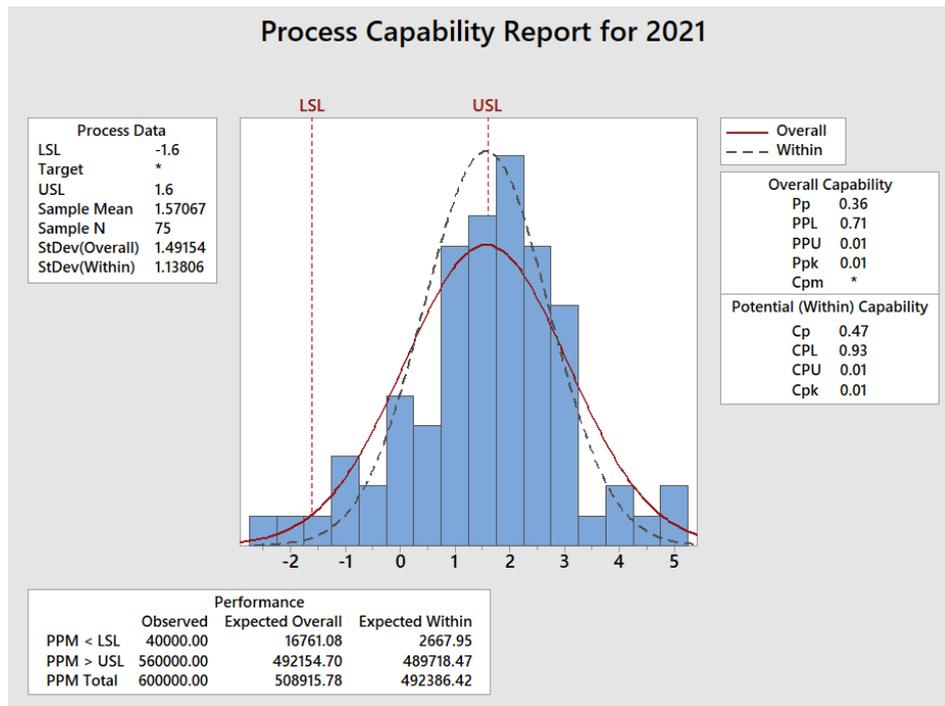
É possível notar que os valores apresentaram dispersão durante o período de 2021, sendo as partes cinzas do gráfico os pontos em que a média passou semanas fora de seu limite superior. Para um entendimento estatístico do processo seguem os dados avaliados abaixo por meio do programa MiniTab. Valores que podem ser identificados pela Figura 34.

- Desvio padrão do processo 2021: 1,5707
- Média do processo 2021: 1,4915
- Cp 2021: 0,47
- Cpk 2021: 0,01
- N 2021: 75

Temos um valor grande de desvio padrão para a operação que está sendo avaliada, e uma média que se mostra próxima do valor de limite superior máximo, o que reforça a não conformidade que a região vem apresentando.

Juntamente a esses fatos temos a análise estatística do processo em que é possível notar um valor de Cp abaixo de 1 e um Cpk abaixo de 1. Conforme a literatura nos repassa isso nos demonstra um processo incapaz e não centralizado, validando a necessidade do trabalho realizado. Um valor considerado conforme para um processo six-sigma estaria em torno de Cp: 1,66 e Cpk: 1,33. Todos os valores coletados nesse período estavam potencialmente com a variação na torre de fixação do fornecedor conforme identificado durante a análise.

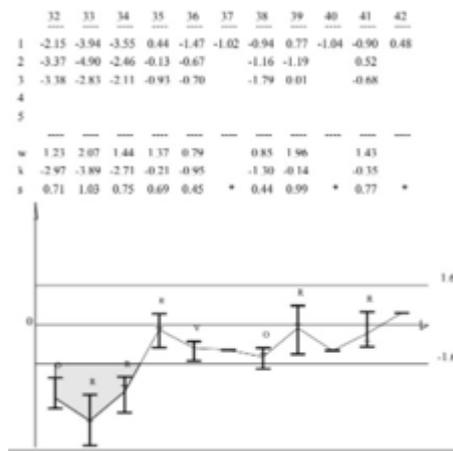
Figura 34 - Valores MatLab



Fonte: Autoria própria (2022)

Como já desdobrado, o ano de 2022 se mostra como o ano de mudança de peça do fornecedor. Os valores identificados até o momento foram os identificados na figura 35.

Figura 35 - Carta de controle 2022

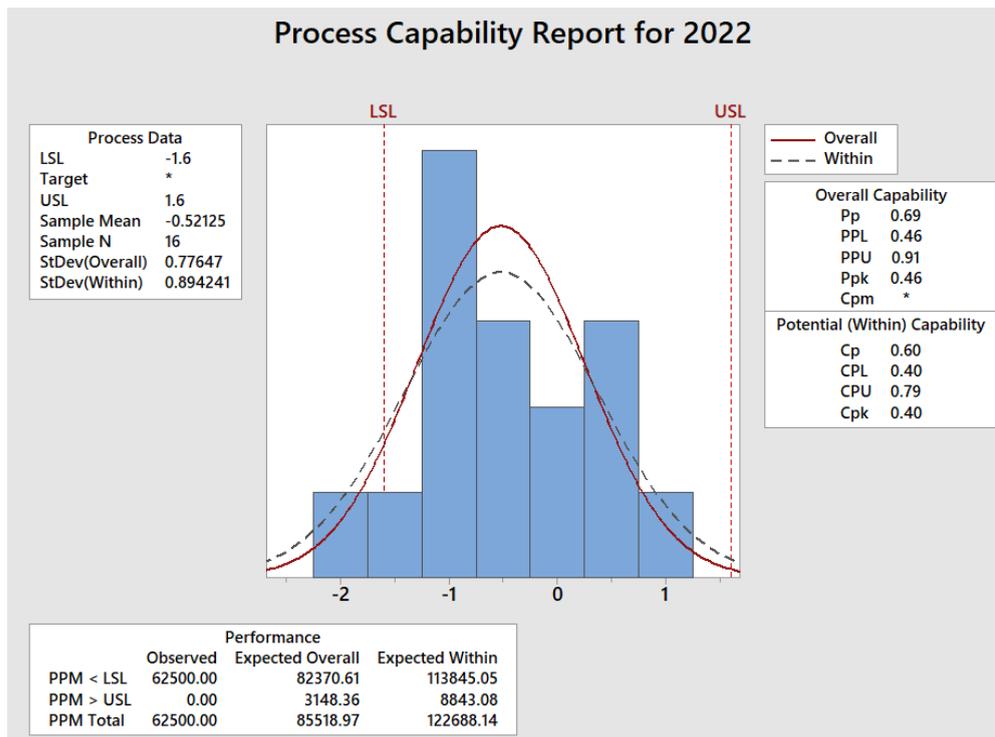


Fonte: A empresa (2022)

Avaliando os dados, as semanas iniciais devem ser desconsideradas devido ao início do novo equipamento na nova fábrica. Um equipamento novo necessita de um tempo até ser calibrado corretamente para os valores esperados pela empresa. Também houveram semanas em que devido a falta de componentes de fornecedores a fábrica não conseguiu cumprir as 3 amostras definidas pelo processo. Os dados foram analisados novamente utilizando o software MiniTab. Foram identificados os seguintes valores abaixo.

- Desvio padrão do processo 2022: 0,776
- Média do processo 2022: -0,52125
- Cp: 0,60
- Cpk: 0,40
- N: 16

Figura 36 - MatLab dados 2022



Fonte: Autoria própria (2022)

Temos um processo que melhorou suas características em 2022, o desvio padrão já está ficando abaixo de 1 e uma média que está mais próxima do valor de centralização, conforme Figura 36.

O processo ainda se apresenta não conforme com um Cp e Cpk abaixo de 1, o que demonstra a não capacidade do processo. Porém os valores estão próximos uns dos outros, o que nos dá que é um processo previsível e centrado, mas ainda pode entregar valores fora da nominal, o que o torna não capaz.

Vale notar que temos um avanço no desvio padrão com a diminuição de 51% do desvio padrão, deve se levar em conta menos amostras, mas os resultados já

demonstram certa consistência de amostras. Aumentando o suporte da hipótese de que a variação na torre de fixação atribui variação não desejada para o sistema.

## 5 CONCLUSÃO

A partir do trabalho apresentado pode-se observar que a variação do processo é uma consequência direta da condição não conforme do cilindro responsável pela centralização entre as peças da região avaliada, mas que não se limita a um único ponto. Para maiores informações uma análise da qualidade dos equipamentos deve ser considerada como um dos principais pontos de avaliação para identificação de não conformidades dentro do sistema, sem restrições.

Durante o trabalho, o autor realizou verificações através da fábrica que produz o veículo junto à um fornecedor, passando pelos diversos pontos de verificação. A maior não conformidade se encontrava em uma máquina do fornecedor, que auxiliava negativamente o resultado do ponto avaliado. O equipamento SCD005 foi o equipamento que gerou a folga excessiva em um dos pilotos, travando, assim, a região de análise. Esta folga excessiva foi causada por uma outra, dentro do cilindro de movimentação do piloto, que apresentava desgaste e não foi identificada nos pontos de controle da fábrica.

Devido a causa direta para a variação do sistema ser o equipamento do fornecedor, foram sugeridas melhorias nos planos de monitoramento periódicos, que se mostraram não eficientes ao detectar a não conformidade avaliada, como novas formações para os colaboradores responsáveis pela inspeção diária, e um estudo de custo-benefício sobre a implementação de um controle periódico das buchas dos cilindros que são utilizados no processo. A primeira a ser elaborada de forma que os colaboradores envolvidos adquiram o conhecimento do que uma não conformidade pode configurar no produto final, e de como concretizar o controle de forma padrão.

Os demais pontos avaliados ligados a mão de obra, método e máquina da fábrica em análise se mostraram em conformidade e não foram obtidas evidências de que existam não conformidades para estes critérios. Existem padrões, e eles são seguidos para a produção dos veículos dentro do departamento de carroceria, os equipamentos estão bem cuidados e não foram registradas degradações que impactam o produto, e o método permite que se tenha uma peça travada para produção.

No ano de 2022 houve a mudança de fornecedor, e foi instalado um novo equipamento similar ao SCD005, com todas as regiões em conformidade com as especificações. Mesmo com esta melhoria, ainda é encontrada certa variação no processo, mesmo que menor, e o ponto continua não se encaixando na metodologia six sigma.

Estatisticamente o processo atual não se mostra capaz de garantir a estabilidade desejada. Os valores calculados, durante o período 2021, de Cp e Cpk estão abaixo de um, e distantes entre si, o que demonstra a incapacidade de manter a região centralizada ou valores repetidos. Como comentado anteriormente, os resultados demonstram uma melhora na condição de estabilidade da região para o período de 2022, ano em que se tem conhecimento da conformidade das peças utilizadas no processo. A melhoria citada se deve a mudança dos valores de Cp e Cpk encontrados, embora ainda estejam abaixo de um, é possível avaliar uma convergência dos valores, fator que sinaliza a centralização do sistema, mas que ainda está permitindo a venda de produtos não conforme. O resultado não é satisfatório perante os objetivos six-sigma estabelecidos pela empresa.

No estudo não foram encontradas causas que não permitam que o sistema não atinja o nível six-sigma desejado. As sugestões para trabalhos futuros de aprimoração de mesmo tema se encontram no segmento 6.

## 5.1 Sugestão para trabalho futuro

### 5.1.1 Análise da degradação do componente

Para o sistema observado pode-se constatar que uma peça do cilindro de ativação teve deterioração e causou a variação do sistema. Para um próximo trabalho, um estudo sobre as causas e condições dos materiais que podem agredir a estrutura e um estudo que considere os parâmetros utilizados no processo para validar o que influencia na falha da bucha do dispositivo em questão são recomendados.

Vibrações, esforços não programados, falta de manutenção correta e parâmetros incorretos podem causar desgaste em excesso e afetar a durabilidade de tal dispositivo. A criação de uma árvore de falhas pode criar hipóteses das principais causas envolvidas na degradação do sistema que corresponde às especificações do fornecedor.

É preciso entender o que causa a degradação, pois como no caso analisado a falha não foi identificada com facilidade pelos operadores, ou durante a manutenção do processo. Já que a probabilidade de repetição do fenômeno nos demais pontos do processo é alta perante a não identificação da causa raiz.

### 5.1.2 Análise computacional de demais pontos do processo

Não foram encontrados outros pontos que não permitam a estabilização do ponto avaliado, para isto se faz necessário expandir os estudos do processo em questão. Não foram considerados os pontos após a união dos pisos ser estabelecida, mas uma análise computacional da região conforme o processo está desenhado no momento é possível. Existe, ainda, um programa que possui o modelo computacional capaz de representar graficamente as torções que o processo demonstra com os diferentes *inputs* apresentados.

Tal programa deve receber uma carga da equipe de engenharia para disponibilizar a verificação, porém caso seja encontrado algum local posterior que torne necessário um novo ponto de apoio, ou mudança de sequência dos pontos de solda, a validação se dará por meio de estabilização do processo objetivando diminuir o custo financeiro.

Como não existe um ponto específico a ser analisado, poderia iniciar-se identificando quais os locais que efetivamente demandam atenção. As etapas empregadas no trabalho atual podem ser utilizadas para auxiliar na verificação.

## REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. D. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Editora Manole, 2017. 9788520454879. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520454879/>. Acesso em: 26 out. 2021.

ALZAHOUGI, A.; ELITAS, M.; DEMIR, B. **RSW Junctions of Advanced Automotive Sheet Steel by Using Different Electrode Pressures**. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 3492–3495, 2018. DOI 10.48084/etasr.2342. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=iih&AN=132473730&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 26 out. 2021.

CHAGAS, R. R. F. F. **Reconfiguração de uma linha de produção do setor automotivo usando análise de variação dimensional do produto**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

CHAO, G. H.; IRAVANI, S. M.; SAVASKAN, R. C. **Quality improvement incentives and product recall cost sharing contracts**. *Management Science, INFORMS*, v. 55, n. 7, p. 1122– 1138, 2009.

CLETO, M. G; QUINTEIRO, L. Gestão de projetos através do DMAIC: Um estudo de caso na indústria automotiva. **Revista Produção Online**, Curitiba, v.11, n.1, p. 210-239, mar 2011.

DAUDT, G. M; WILLCOX, L. D. **Indústria automotiva = Automotive industry**. In: PUGA, Fernando Pimentel; CASTRO, Lavínia Barros de (Org.). *Visão 2035 : Brasil, país desenvolvido : agendas setoriais para alcance da meta*. 1. ed. Rio de Janeiro : Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. p. 183-208.

FRANCHETTI, M. J; **Lean Six Sigma for engineers and managers with applied case studies**. Boca Raton: CRC Press, 2015.

International Organization for Standardization. **ISO 22514** (2017). *Statistical methods in process management – Capability and performance – Part 2: Process capability and performance of time-dependent process models*. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/71617.html>. Acesso em: 17 out 2021.

KADRY, S. **Understanding Six Sigma: Concepts, Applications and Challenges**. New York: Nova, 2018. ISBN 9781536141740. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=1924977&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 06 out. 2021.

MIDDLETON, F; **Reliability vs validity: what's the difference?** Disponível em: <https://www.scribbr.com/methodology/reliability-vs-validity/>. Acesso em 19/10/2021 às 16:09.

SLEATH, L. C. **The dimensional variation analysis of complex mechanical systems**. 2014. Tese (Doutorado) — Loughborough University, 2014.

SOUZA, I.P.B; RODRIGUES, R. **METODOLOGIA DMAIC**: um estudo de caso no setor automotivo. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Centro Universitário do Sul de Minas, 2017.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. São Paulo: GEN Atlas, 2012. ISBN 9788535254297. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000017306&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 06 out. 2021.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma – Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing**. GEN, 2011. 9788595158214. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595158214/>. Acesso em: 18 out. 2021.

YUBING, L; GUANLONG, C; CHENG, Z; XINMIN, L. **Active variation compensation in vehicle body conceptual assembly**. *In*: The International Journal of Advanced Manufacturing Techonology. v. 37 p. 178-190. mar 2007. Disponível em: <https://in.booksc.eu/book/7357381/75581e>. Acesso em 06 out. 2021.

Portal Lubes. Disponível em <<https://portallubes.com.br/2018/12/longarina-avaliar-na-compra>> Acesso em 27 jun. 2022