

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LEONARDO TRAVESOLO DE ALMEIDA**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA MELHORIAS NO PROCESSO  
DE PINTURA EM UMA EMPRESA DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS**

**LONDRINA**

**2021**

**LEONARDO TRAVESOLO DE ALMEIDA**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA MELHORIAS NO PROCESSO  
DE PINTURA EM UMA EMPRESA DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS**

**Application of the DMAIC methodology for improvements in the painting  
process in a Road Implements Company**

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

Orientador: Prof. Dr. Rafael Henrique Palma Lima

**LONDRINA**

**2021**

**LEONARDO TRAVESOLO DE ALMEIDA**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA MELHORIAS NO PROCESSO  
DE PINTURA EM UMA EMPRESA DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS**

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

Data de aprovação: 29 de novembro de 2021

---

Rafael Henrique Palma Lima  
Doutor em Engenharia de Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Rogério Tondato  
Doutor em Engenharia de Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Marco Antonio Ferreira  
Doutor em Administração  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**LONDRINA**

**2021**

## RESUMO

A partir do grande desenvolvimento das técnicas de produção e aumento da competitividade em todos os segmentos do mercado, as empresas buscam voltar suas ações e objetivos para a qualidade de seus produtos e processos para atender os requisitos de seus clientes. Uma das metodologias que possuem este foco é a Seis Sigma, entendida como ferramenta estratégica e estatística para redução de desperdícios e falhas e aumento da confiabilidade gerando lucro às organizações. O trabalho apresenta um estudo de caso desenvolvido em uma empresa de implementos rodoviários com o objetivo de implantação de melhorias no setor de pintura dos chassis, para fazer com que o processo seja capaz de atender aos requisitos e reduzir o número de retrabalhos. Para o desenvolvimento do estudo foi utilizado o método DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), compreendido como um ciclo estruturado de ações planejadas e ferramentas específicas para cada fase, capaz de se obter correção de falhas e resultados positivos nos projetos em que é implementado. Na etapa inicial do ciclo foi definido como a variável da qualidade a ser analisada a camada de tinta seca pós processo de pintura e com o auxílio dos gráficos de controle mediu-se como estavam os parâmetros antes da aplicação do projeto. Constatou-se que o processo estava fora de controle estatístico por possuir alta variabilidade nas médias dos dados, o foco do estudo foi a redução do desvio padrão dos dados, para se obter o nível seis sigma a partir da implantação de melhorias que atacassem diretamente as causas, como mudança da matéria prima (tinta) utilizada, definição de padrão operativo, utilização de ferramentas de medição para os próprios colaboradores e implantação de ficha de inspeção específica para pintura. Após aplicação dos planos de ação constatou-se uma melhoria nos resultados, com a diminuição do desvio padrão de 6,4 para 2,3 menor variabilidade das médias, aumento dos índices de capacidade: Cp de 0,523 para 1,266, Cpk de 0,519 para 1,224, Pp de 0,281 para 0,684 e Ppk de 0,280 para 0,661 sendo, portanto, fortes indícios do alcance dos objetivos definidos. O trabalho contribuiu com a possível utilização do DMAIC nos demais projetos em diferentes setores da empresa.

Palavras-chave: seis sigma; ciclo DMAIC; controle estatístico da qualidade; processo de pintura.

## ABSTRACT

With the great development of production techniques and the increase in competitiveness in all market segments, companies are seeking to turn their actions and objectives towards the quality of their products and processes to meet their clients' requirements. One of the methodologies that have this focus is the Six Sigma, understood as a strategic and statistical tool for reducing waste and failures and increasing reliability, thus generating profits for the organizations. This paper presents a case study developed in a road implements company with the objective of installing improvements in the chassis painting sector in order to make the process able to meet the requirements and reduce the number of reworks. For the development of the study the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) method was used, understood as a structured cycle of planned actions and specific tools for each phase, capable of obtaining failure correction and positive results in the projects in which it is implemented. In the initial stage of the cycle, it was defined as the quality variable to be analyzed the layer of dry paint after the painting process and with the help of control charts it was measured how the parameters were before the application of the project. It was established that the process was out of statistical control due to having high variability in the averages of the data, the focus of the study was the reduce of the standard deviation of the data, to obtain the six sigma level from the implementation of improvements that directly attack the causes, such as changing the raw material (paint) used, definition of operational standard, use of measurement tools for the employees and implementation of specific inspection sheet for painting. After applying the action plans, there was an improvement in the results, with a reduction in the standard deviation from 6.4 to 2.3, less variability of the averages, an increase in the capability indices: Cp from 0.523 to 1.266, Cpk from 0.519 to 1.224, Pp from 0.281 to 0.684 and Ppk from 0.280 to 0.661, therefore, strong indications of the achievement of the defined objectives. The work contributed to the possible use of DMAIC in other projects in different sectors of the company.

Keywords: six sigma, DMAIC cycle, statistical quality control, painting process.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Significado da qualidade Seis Sigma .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 2- Tabela com o Significado da Escala Sigma .....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 3 - A Equipe Seis Sigma.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 4 - Ciclo DMAIC.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 5 - Voz do Cliente do Projeto .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6 - Diagrama SIPOC.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 7 - Chassi Jateado .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 8 - Processo de Pintura na Cabine.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 9 - Chassi Finalizado .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 10 - Teste de Aderência em Grade .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 11 - Destacamento da Área Quadriculada .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 12 - Medidor de Camadas de Tinta Seca .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 13 - Pontos de Medição dos Chassis.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 14 - Parcial dos Dados Coletados .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 15 - Gráfico XBarra .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 16 - Gráfico R .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 17 - Gráfico X .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 18 - Gráfico MR .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 19 - Diagrama de Pareto.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 20 - Diagrama de Ishikawa.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 21 - Modelo de Ficha de Inspeção do Processo .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 22 - Dados coletados pós Plano de Ação aplicado .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 23 - Gráfico X .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 24 - Gráfico MR.....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Parâmetros do Processo e Limites de Controle .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 2 - Resultados dos Índices de Capabilidade .....</b>	<b>38</b>
<b>Tabela 3 - Plano de Ação (5W1H).....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 4 - Parâmetros do Processo e Limites de Controle pós Plano de Ação</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 5 - Índices de Capabilidade .....</b>	<b>48</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	8
<b>1.1 Objetivo</b>	9
1.1.2 Objetivos Específicos	9
<b>1.2 Justificativa</b>	9
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b>	11
<b>2.1 Seis Sigma</b>	11
<b>2.2 Ciclo DMAIC</b>	15
2.2.1 Etapa Definir	16
2.2.2 Etapa Medir	16
2.2.3 Etapa Analisar	17
2.2.4 Etapa Melhorar	18
2.2.5 Etapa Controlar	18
<b>2.3 Trabalhos Correlatos</b>	19
<b>3. MÉTODO DE PESQUISA</b>	22
<b>3.1 Descrição do Problema</b>	22
<b>3.2 Etapas para Resolução do Problema</b>	23
<b>3.3 Descrição da Empresa</b>	24
<b>4. PESQUISA AÇÃO</b>	25
<b>4.1 Etapa Definir</b>	25
<b>4.2 Etapa Medir</b>	31
<b>4.3 Etapa Analisar</b>	38
4.3.1 Diagrama de Pareto	39
4.3.2 Diagrama de Ishikawa	40
<b>4.4 Etapa Melhorar</b>	41
4.4.1 5W2H	41
<b>4.5 Etapa Controlar</b>	44
<b>5. CONCLUSÃO</b>	49
<b>REFERÊNCIAS</b>	51
<b>APÊNDICE A - Total de dados coletados para a etapa Medir</b>	53



## 1. INTRODUÇÃO

As empresas estão cada vez mais focadas em promover a melhoria contínua da qualidade. Para isso, procuram métodos e ferramentas capazes de diminuir os defeitos e elevar o controle de todos os processos que são desenvolvidos no sistema de produção. Um desses métodos é o Seis Sigma, que é uma estratégia gerencial, com foco na diminuição das não conformidades com o conceito de zero defeitos e na melhoria sistemática dos processos nas etapas de fabricação. Uma das ferramentas deste método e responsável por essa melhoria é o DMAIC, que com a utilização de atividades práticas e estatísticas, é entendido como um ciclo capaz de resultar em melhorias efetivas do processo a partir de um problema encontrado em qualquer segmento do mercado.

Historicamente o modal logístico escolhido pelo Brasil para ser o principal responsável para os deslocamentos de pessoas e cargas é o modal rodoviário, com o início de investimentos e construção de rodovias em 1920 no governo de Washington Luís, com isso atualmente é a base estrutural para o transporte no país.

Com o desenvolvimento das indústrias, o número de produtos fabricados aumentou, e com isso a necessidade de adaptação do setor logístico de entregas também teve que se desenvolver, em uma análise de dez anos de 2006 à 2016 o transporte de toneladas úteis no Brasil teve um aumento de 29,5%, indo de 389 milhões para 503,8 milhões de toneladas. (G1, 2018) No setor rodoviário de transporte de cargas, o caminhão possui destaque e é o principal meio de transporte com uma frota em circulação que representa 70%, realizado por três tipos de operadores, empresas transportadoras, empresas de cargas próprias e transportadores autônomos. (CNTTL, 2021)

Para o transporte ser efetivamente realizado os usuários deste modal devem além de possuir os caminhões terem em conjunto os implementos rodoviários que são os reboques, semi-reboques e carrocerias responsáveis pela função específica do transporte de cargas. (GOLDENSTEIN; ALVES; AZEVEDO, 2006)

Com a importância para o desenvolvimento do país, os fabricantes de implementos rodoviários, para se destacarem no mercado em relação aos concorrentes, voltaram os interesses para um melhor desempenho da qualidade de seus produtos como forma de diferenciação, pois os consumidores consideram a qualidade com a mesma importância de custo e prazo de entrega. (MONTGOMERY; RUNGER, 2009)

A empresa analisada fabrica os implementos desde as peças para estrutura até a entrega para o cliente final, com isso existem muitos processos que são capazes de receber melhorias para o aumento de produtividade e minimização dos custos. Um dos setores que apresentam maior número de não conformidades e com isso maior quantidade de retrabalhos gerando atrasos na produção, é o setor de pintura dos chassis, representando a etapa anterior ao início da montagem da caixa de carga. A pintura tem o objetivo de garantir proteção contra a oxidação, como também garantir acabamento estético, é de grande importância que os parâmetros de inspeção estejam dentro de uma faixa de especificação que garanta a quantidade ideal de tinta depositada evitando-se os retrabalhos, para a longo prazo prevenir a corrosão ou deslocamento, gerando problemas aos clientes.

## **1.1 Objetivo**

Aplicar o método DMAIC para encontrar melhorias no processo de pintura de uma indústria de implementos rodoviários, para garantir que este esteja sob controle e seja capaz de produzir chassis que estejam dentro dos parâmetros de qualidade definidos, promovendo a melhoria dos indicadores do setor.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Encontrar qual a variável que possui maior influência para o elevado número de retrabalhos de pintura dos chassis;
- Realizar coleta de dados para construção de gráficos de controle e medição dos parâmetros do processo;
- Identificar quais são as principais causas que influenciam na variabilidade dos dados;
- Propor planos de ação para melhorias do processo de pintura dos chassis;
- Definir ferramentas de controle para manutenção das melhorias em longo prazo.

## **1.2 Justificativa**

Com o aumento do número de não conformidades e retrabalhos juntamente com o total de ocorrências de reclamações dos clientes, busca-se encontrar quais são as principais causas da variabilidade dos parâmetros do processo de pintura dos chassis, para ganho de produtividade e aumento da confiabilidade para a empresa. Assim como fez Barbosa, Carvalho e Souza (2014) que a partir da utilização do Ciclo DMAIC aumentaram a produtividade no processo de plotagem de listras em pinturas.

A utilização desta metodologia é viável para o alcance dos objetivos de melhorias na pintura pois conforme Rahman, Mohiuddin e Hanani (2015) foi a partir do DMAIC que encontraram qual a causa raiz para os problemas no setor de pintura em uma empresa de montagem de veículos e que Coutinho (2011) relatou que a partir de ações coordenadas e bem definidas reduziu o custo das falhas em R\$494 mil no setor de pintura, sendo portanto um método eficiente para aplicação em diversos projetos nos diferentes setores das empresas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Seis Sigma

No contexto atual das organizações muito se tem ouvido falar sobre o Seis Sigma e como sua implantação resulta em melhorias nos resultados, Werkema (2012) cita, que em 1987 o conceito Seis Sigma surge na Motorola com o objetivo da empresa enfrentar seus concorrentes de outros países que estavam com produtos de melhor qualidade com custo mais baixo. A empresa então teve ganhos de 2,2 bilhões de dólares com o programa. Após o sucesso com a Motorola outras empresas passaram a utilizar o Seis Sigma como a Asea Brown Boveri, AlliedSignal, General Electric e Sony onde também obtiveram resultados positivos.

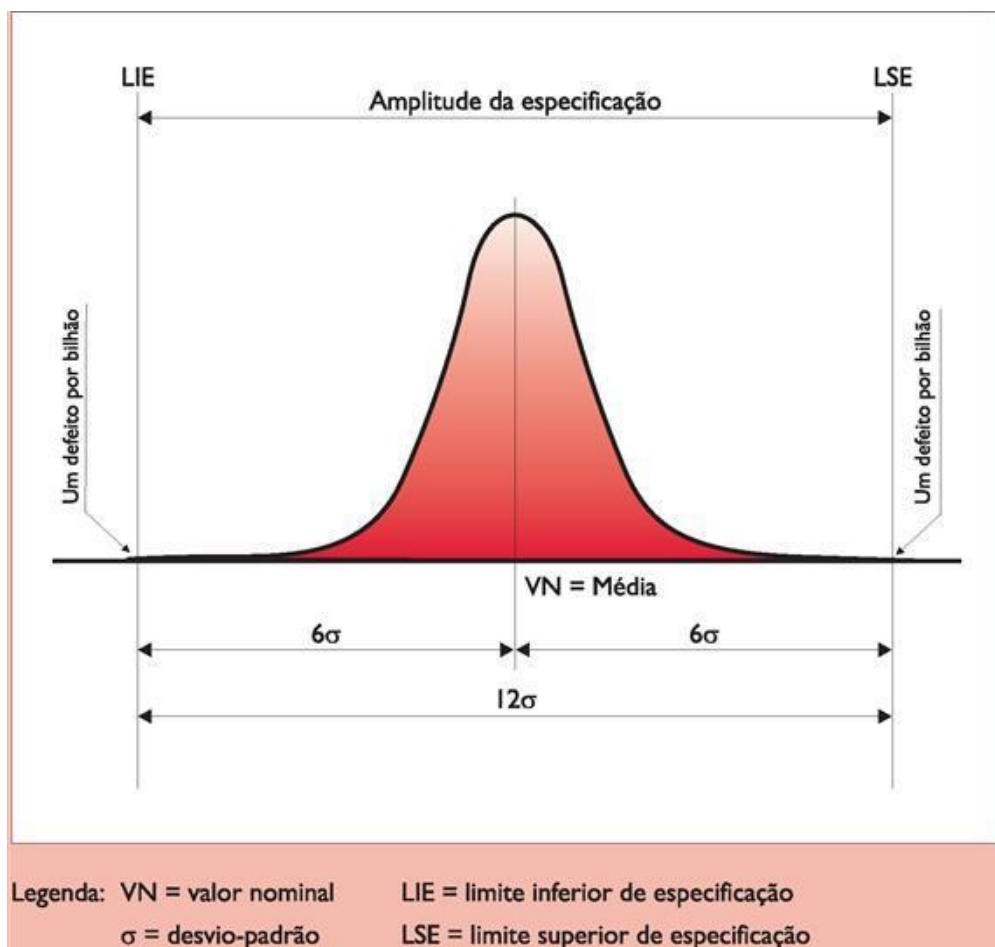
Os resultados que a Motorola alcançou a nível corporativo é resultado de muitos esforços individuais de melhoria, afetando tanto o design de produtos, as etapas em seu processo de fabricação e também os serviços de todos os seus negócios (PANDE *et al.*, 2000).

A metodologia Seis Sigma possui duas abordagens, uma mais estatística e outra relacionada a decisões estratégicas e culturais das organizações. Alguns autores fazem uma definição sobre o que é esse tema e todos se baseiam na mesma ideia, Werkema (2012) define que o Seis Sigma é uma estratégia gerencial quantitativa com o objetivo de aumentar o lucro das empresas melhorando a qualidade de seus produtos e processos com o aumento da satisfação de seus clientes. Já para Pande *et al.* (2000) uma definição para Seis Sigma pode ser um sistema que seja flexível para alcançar o sucesso do negócio, este é orientado pelas necessidades e requisitos dos clientes com o uso de dados e fatos sob análises estatísticas e atenção para o gerenciamento e melhorias dos processos. Rodrigues (2014) complementa apontando que a metodologia trata a qualidade como uma forma sistêmica, ou seja, não considera apenas os problemas de conformidade de processos separados e sim todas as ações de todos os setores da organização.

A abordagem mais estatística sobre o tema relaciona o Sigma com o desvio padrão (medida que mensura a variação entre os resultados de uma série de dados de um determinado processo), se este valor é alto existe muita variação entre os resultados (pouca uniformidade); se o valor é baixo existe pouca variação entre os resultados (maior uniformidade), portanto quanto menor for o valor para o sigma melhor será o processo. (WERKEMA, 2012)

Seguindo a lógica de Santos e Martins (2008), o foco está na quantificação da variação, que é feita em quantidades de desvios padrão relacionados a uma variável de interesse no estudo de um processo crítico. A visão está relacionada com os conceitos de controle estatístico de processos, e a relação dos índices de capacidade de processo com o padrão Seis Sigma. Com a qualidade em  $6\sigma$ , significa que 99,999998% dos resultados são perfeitos, e que então são esperados 3,4 defeitos por milhão de unidades produzidas. A Figura 1 apresenta a visualização do significado da qualidade Seis Sigma.

**Figura 1 - Significado da qualidade Seis Sigma**



Fonte: Werkema, 2012

A partir do gráfico da figura, tendo um valor médio e os limites de especificação definidos, nota-se que para a grande maioria dos valores estarem dentro do intervalo e atender aos requisitos, se faz necessário que a “distância” entre a média e seus limites sejam equivalentes a 6 desvios padrão, portanto como os limites são fixos,

busca-se encontrar o valor ideal para o desvio padrão dos dados que satisfaça o nível seis sigma.

Conforme Trad e Maximiano (2009) o nível Sigma adequado depende dos requisitos do cliente e esse nível pode ser identificado na escala Sigma, os dados de taxa de acerto, taxa de erro, defeitos por milhão, e a escala Sigma estão explicitados na Figura 2.

**Figura 2- Tabela com o Significado da Escala Sigma**

Taxa de Acerto	Taxa de Erro	Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO)	Escala Sigma
30,9%	69,1%	691.462	1,0
69,1%	30,9%	308.538	2,0
93,3%	6,7%	66.807	3,0
99,38%	0,62%	6.210	4,0
99,977%	0,023%	233	5,0
99,99966%	0,00034%	3,4	6,0

**Fonte: TRAD E MAXIMIANO, 2009**

Pela tabela nota-se que com o aumento da escala sigma ocorre menor ocorrência de variabilidade do processo, ou seja, aumento da taxa de acertos impactando diretamente na qualidade final dos produtos que os clientes exigem.

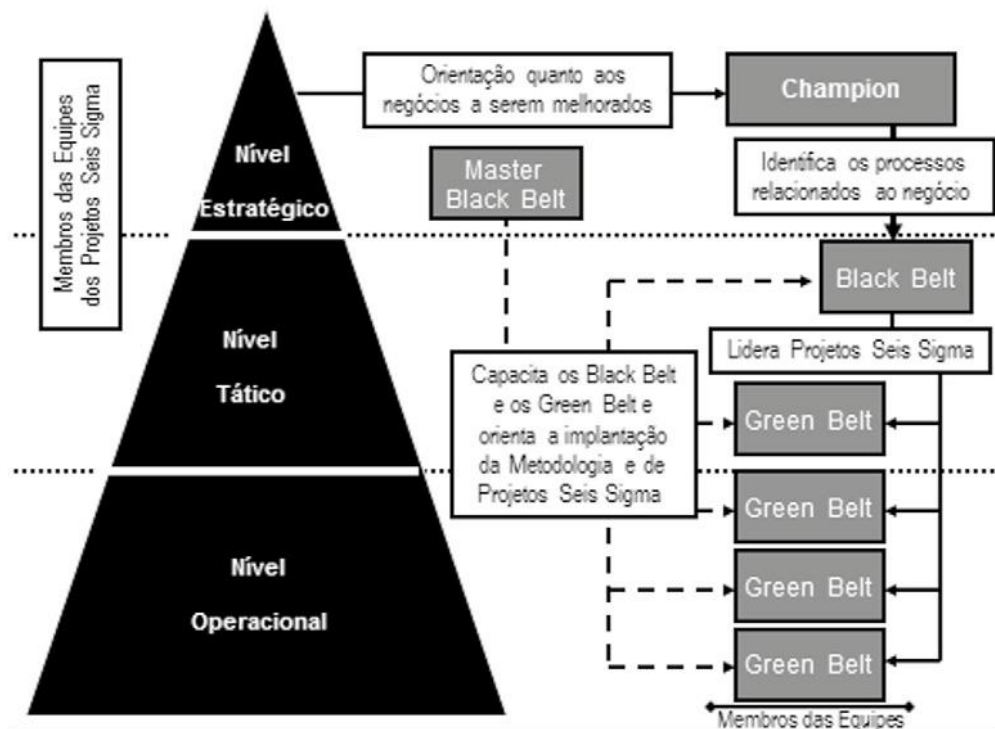
Já na abordagem mais estratégica, Seis Sigma deve ser entendido como um programa estratégico e operacional relacionado à cultura da empresa. Santos e Martins (2008) aponta que como programa operacional o Seis Sigma atua na melhoria contínua nas pautas em que não apareçam as tomadas de decisão. Já como intuito estratégico, está voltado para o posicionamento competitivo, deixando em evidência os pontos de *trade-offs* com apresentação de *feedbacks* relacionados às metas de projetos, fazendo a comunicação estratégica ser aplicada quando os projetos Seis Sigmas são definidos, sendo necessário a definição clara de alguns focos.

Pande *et al.* (2000), definiu seis temas relacionados a metodologia Seis Sigma que são Foco genuíno no cliente; Gerenciamento baseado em dados e fatos; Foco no processo, Gestão e Melhoria; Gestão Proativa; Colaboração sem limites e voltado pela Perfeição e Tolerância para Fracasso. Para o alcance destes temas, se faz necessário a presença de colaboradores que possuem conhecimentos específicos para a execução dos projetos Seis Sigma.

Os profissionais que são responsáveis e capazes de implementar a metodologia são treinados tecnicamente e são transformados nos patrocinadores e especialistas do projeto. De acordo com Pinto Neto (2018) eles são divididos em *Sponsor* (número um, responsável pela promoção e implementação do projeto 6 Sigma); *Sponsor Facilitador* (um dos diretores, assistente do responsável na implementação); *Champions* (gerentes, apoiam o projeto e retiram restrições para o desenvolvimento); *Master Black Belts* (ajudam os *Sponsors* e *Champions* e são mentores de *Black Belts* e *Green Belts*); *Black Belts* (líderes, coordenam a condução dos projetos multifuncionais gerando visibilidade); *Green Belts* (lideram equipes conduzindo projetos funcionais) e *White Belts* (nível operacional, possuem treinamentos sobre 6 Sigma e dão suporte para a implantação dos projetos).

A Figura 3 apresenta uma ilustração da Equipe que forma os projetos Seis Sigma.

**Figura 3 - A Equipe Seis Sigma**



Fonte: Rodrigues, 2014

Para a aplicação do Seis Sigma existem algumas ferramentas capazes de cumprir com os requisitos dos projetos de melhorias que são o DMAIC e o DFSS (Design for Six Sigma) sendo o primeiro voltado para solução de problemas e redução

de falhas nos produtos e serviços e o segundo focado para inovação, lançamento de novos produtos e reprojeto de novos processos. (SANTOS; MARTINS, 2008)

## 2.2 Ciclo DMAIC

Para o desenvolvimento dos projetos Seis Sigma voltados para a melhoria de processos, a ferramenta de base é o DMAIC e esta é dividida por fases que são: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, com as siglas formando-se, portanto, um ciclo.

Werkema (2014) afirma que muitas ferramentas podem ser utilizadas de forma integrada a essas etapas, formando assim um sistema que é baseado no uso de ferramentas estatísticas para o alcance dos resultados estratégicos da empresa. As fases não são totalmente lineares e, portanto, com o decorrer do processo problemas podem ser identificados e os passos podem ser revisados e incorporados nas etapas principalmente na análise. (PINTO NETO, 2018)

A Figura 4 apresenta o ciclo DMAIC de forma simplificada em que é possível observar a sequência de fases.

Figura 4 - Ciclo DMAIC



Fonte: Pande et al., 2000



### 2.2.1 Etapa Definir

Werkema (2012) sintetiza como sendo a fase de definir o escopo do projeto. O escopo do problema ou processo selecionado para aplicação da metodologia deve estar ligado às prioridades da organização e a fase se inicia com a identificação de um problema que requer uma solução com uma compreensão mais clara (Shankar, 2009). Pyzdek (2003) complementa que após ser descrito a situação do problema as ações de mapear o processo, organizar um cronograma e envolver todas as partes necessárias para buscar a solução também estão dentro da primeira fase desta metodologia. É, portanto, a etapa de definir quais são os processos críticos frente as expectativas e necessidades dos clientes. (RODRIGUES, 2014)

Uma das ferramentas que podem ser utilizadas nesta etapa é o *Project Charter* (Carta do Projeto), que é um documento significando um contrato entre líderes do projeto e gestores da empresa, com os objetivos de apresentar o que é esperado da equipe, manter alinhamento da equipe com os objetivos da empresa, formalizar a transição do projeto dos líderes para a equipe envolvida e manter o escopo. (WERKEMA, 2012)

Já Shankar (2009) aponta uma outra ferramenta que ajuda a restringir problemas tanto de falhas interna quanto externas que é o Gráfico de Pareto. Este pode decompor as categorias das causas das falhas e assim apresentar quais causas que aparecem em maior quantidade de repetições pois apresenta de forma clara onde as melhores contribuições podem ser feitas. Este sugere que alguns problemas (causas), em torno de 20% apresentarão mais oportunidade de melhorias, em torno de 80% e também prioriza os problemas para que sejam identificados.

Outras ferramentas são citadas por Rodrigues (2014) e Pinto Neto (2018) como o fluxograma, mapa do processo, lista de verificação, indicadores de desempenho, fator crítico do processo, QFD (desdobramento da função qualidade), análise de valor e matriz SIPOC (*suppliers* – fornecedores, *inputs* – insumos, *process* – processo, *outputs* – produtos, *customers* – consumidores).

### 2.2.2 Etapa Medir

Esta fase é a etapa de coletar informações e obter dados com o intuito de realizar uma quantificação do problema decidido na etapa definir. Esses dados são obtidos de maneira passível e são utilizados para comprovar a melhoria dos resultados no final do ciclo. É necessário que já exista um banco de dados histórico

da organização ou então que se torne necessário a busca e coleta de novos dados. (SHANKAR, 2009)

Rodrigues (2014) sintetiza que é a etapa de medir o desempenho do processo e identificar quais são os problemas e qual a intensidade deles, que vai de encontro com o que Werkema (2014) afirma que é a fase de determinar a localização e qual é o foco do problema. Para isso definir um plano para coleta de dados é importante para garantir que a medição seja eficaz, evitando informações que não se fazem necessárias e ou observando falta delas.

As ferramentas utilizadas na fase Medir do DMAIC são exemplificadas por Rodrigues (2014) como sendo o Histograma, o Gráfico de Controle, a Capacidade do Processo (Cp e Cpk), Diagrama de Pareto e o Gráfico *Box-Plot*.

Os gráficos de controle são ferramentas que monitoram a variabilidade inerente aos dados de todos os processos de fabricação e fazem uma avaliação da estabilidade do processo, permitem a diferenciação dos tipos de causas de variação, como se são comuns ou aleatórias, ou então se são especiais e assinaláveis, podendo-se dizer que o processo está sob controle estatístico (segue uma mesma distribuição de probabilidade) ou não. É formado por uma linha média, 2 linhas de limites de controle (o limite inferior e o superior) e os dados coletados ao longo do tempo, podendo ser de controle para variáveis ou para atributos. (WERKEMA, 2014)

### **2.2.3 Etapa Analisar**

Esta fase do ciclo é a implementação dos itens de ação que foram identificados pela equipe na etapa de medição. Deve-se então filtrar um grande número de fatores de entrada e eliminar aqueles que são insignificantes com o objetivo de compreender melhor quais são as principais causas. (SHANKAR, 2009)

Segundo Pinto Neto (2018), é realizada a análise de dados a partir de ferramentas da qualidade e ferramentas estatísticas. Explicando esta fase Damsiar *et al.* (2018) explica que é o estágio de encontrar uma solução para resolver um problema com base na causa raiz que foi identificada e para isso pode-se utilizar a ferramenta básica da qualidade conhecida como Diagrama de Causa ou Efeito ou Diagrama de Ishikawa (criada pelo especialista em controle de qualidade japonês Kaoru Ishikawa). Ela parte de uma causa raiz e então vai se derivando em outras causas que são compostas por mais um grupo de causas. A ferramenta é conhecida

por grande parte de pessoas nas indústrias de manufatura por conta de os processos de fabricação ter uma grande quantidade de variáveis.

Com isso, Rodrigues (2014) sintetiza que a fase Analisar do Ciclo DMAIC é a etapa de analisar o desempenho e as causas dos problemas e aponta além do diagrama de Ishikawa outras ferramentas que podem ser utilizadas como FMEA (análise de modo e efeito de falha), análise de dispersão, análise de variância e planejamento de experimento.

Por fim desta etapa, como apresenta Coutinho (2011) deve-se estar bem claro e definido quais são as principais variáveis e causas para então ser viável a etapa de execução do plano de melhorias.

#### **2.2.4 Etapa Melhorar**

Depois de realizada as três etapas anteriores, na etapa Melhorar do Ciclo DMAIC, Werkema (2014) define que é a fase de se propor, avaliar e implementar possíveis soluções para todos os problemas que foram identificados. É a etapa de se remover as causas raízes, testar as soluções e padronizar os processos para que as melhorias propostas sejam efetivas. De acordo com Rodrigues (2014), é a fase de se melhorar o processo estudado retirando as causas dos problemas, reduzindo os gastos e custos e principalmente agregar valor ao cliente. As ferramentas que podem ser utilizadas nesta fase são: Programa 5S, *Benchmarking*, Reengenharia, *Brainstorming*.

Coutinho (2011) sugere, a utilização da ferramenta de 5W2H para analisar o planejamento de ações de melhorias levantadas nas etapas anteriores partindo dos seguintes questionamentos (*What* – o que fazer, *Who* – quem irá fazer, *When* – quando será feito, *Where* – onde será feito, *Why* – por qual motivo será feito, *How* – como irá ser feito e *How much* – qual será o custo)

#### **2.2.5 Etapa Controlar**

A etapa controlar é a última fase do ciclo DMAIC e ela é a responsável para que todas as definições, medidas, análises e melhorias sejam executadas e permanecidas a longo prazo (WERKEMA, 2014).

Coutinho (2011) descreve que controlar significa dar ao projeto Seis Sigma a importância de se definir com clareza qual é a responsabilidade de cada um da equipe

e garantir um suporte para que o impacto das mudanças tenha significados duradouros.

Os exemplos de ferramentas utilizadas na fase controlar que Rodrigues (2014) cita são Kaizen, *Poka-Yoke*, Sistema de manutenção e Sistema de medição. O *kaizen* é a filosofia de melhoria contínua. Os *Poka-Yokes* são sistemas simples, funcionais e com baixo custo de implementação que previnem possíveis falhas que o processo pode ter, seja elas falhas humanas ou falhas por máquinas. Alguns exemplos de equipamentos que são utilizados são sensores, interruptores, gabaritos e contadores, assim reduzem o nível de retrabalho e garantem que os processos sejam mais controláveis.

Por fim Shankar (2009) compara o processo DMAIC com o que acontece em uma consulta médica ao hospital, no qual o paciente primeiramente descreve o que está sentindo ao médico ou equipe médica especialista (etapa definir). Em seguida é realizado uma série de exames necessários para identificação de problemas e anomalias de saúde (etapa medir), o médico então prescreve alguns medicamentos e tratamentos para análise de um resultado (etapa análise). Nos retornos, novos testes e exames são feitos para garantia de uma melhoria do quadro clínico e que os medicamentos estão fazendo efeito (etapa melhorar); e por fim os últimos testes e prescrições a longo prazo do dia a dia do paciente são firmados para garantia da manutenção de sua saúde clínica (etapa controlar).

### **2.3 Trabalhos Correlatos**

Na literatura científica existem diversos trabalhos e estudos que descrevem sobre o uso da metodologia DMAIC do Seis Sigma para melhorar processos existentes e então alcançar melhores resultados com níveis de critérios de qualidade elevados e redução de gastos. Em específico sobre processos de pintura é possível encontrar autores que relatam os ganhos obtidos através da aplicação do método em empresas de diversos setores.

Um exemplo é o trabalho de Barbosa, Carvalho e Souza (2014) que descrevem o ciclo DMAIC na melhoria do processo de pintura de aeronaves, a partir da identificação de que o processo utilizado para plotagem de listras era manual com suscetibilidade a erros de operadores e de projetos. Foi medida a variável de dimensões nominais das listras e identificado que as amostras tinham valores que estavam fora da especificação. Após encontrar qual a causa raiz do problema, foi

proposto a utilização de projetores de laser disponíveis no mercado, que demarcam diretamente o produto, facilitando as etapas de preparação para pintura e assim garantem maior precisão para o processo e para a inspeção. Esta melhoria também ajudou a aumentar a produtividade, reduzindo gastos com a utilização de papel e agregam valor ao produto e ao processo com a utilização de tecnologia automatizada.

No segmento de produção de discos de freios Damsiar *et al.* (2018) analisaram o processo de pintura das peças e identificaram muitos refugos e problemas de qualidade. A empresa em estudo utiliza peças fabricadas internamente e peças compradas de fornecedores e todas elas apresentavam problemas. Foi definido a partir da utilização da metodologia DMAIC com o gráfico de Pareto que o principal problema encontrado na maioria das peças era o acúmulo de sujeira por depósito de pequenas partículas, poeira, durante o processo de pintura, que ocasiona não conformidade nos discos de freios. Posteriormente os autores fizeram uma análise com utilização de algumas ferramentas como FMEA e Diagrama de Causa e Efeito e chegaram à conclusão de que é mais vantajoso para a empresa realizar a fabricação interna das peças pois assim garantem maior controle sob o processo e elevação do nível de qualidade, sugerindo um maior cuidado com a limpeza prévia dos discos.

Rahman, Mohiuddin e Hanani (2015) realizaram um estudo do processo de pintura em uma empresa de montagem de veículos na Malásia e identificaram problemas com relação a qualidade, número de retrabalhos e satisfação dos clientes. Entre as não conformidades encontradas estavam materiais estranhos, sujeira, aspecto de casca de laranja, bolhas, escorridos de tinta e o principal deles que é defeito na fibra por conta da pintura (não sendo possível retoque com a necessidade de repintura, gerando gastos excessivos). A abordagem DMAIC foi útil na condução dos projetos de melhoria pois tornou possível identificar qual a causa raiz. Os autores realizaram uma ação de melhoria que continha em reduzir a pressão de ar das pistolas do recomendado de 5 a 5,5 bar para 3,5 bar de pressão e 450 mL/min para fornecimento de fluido; resultando em menores defeitos na pintura, proporcionando o alcance da meta de redução de em média 10 DPU (defeitos por unidade) para 3 DPU retornando economias com os gastos gerais do processo de pintura.

Em sua pesquisa, Coutinho (2011) aplicou o estudo da metodologia DMAIC em uma empresa de produção de ônibus e identificou que o setor de pintura necessitava de melhorias de processo para melhorar as especificações de qualidade e principalmente redução com custos de retrabalho. Este definiu como variável da

qualidade o número de retrabalhos por unidade produzida e identificou as principais causas de não conformidades no setor de pintura, sendo: falta de camada de tinta na superfície, falta de isolamento nos acabamentos de pintura, escorridos de tinta devido a excessos. Após executar as etapas do ciclo DMAIC de medição e análise dos dados coletados, partindo do FMEA fez a aplicação das seguintes melhorias: Treinamento de sensibilização da pintura, com apresentação aos líderes e colaboradores sobre a importância dos padrões de qualidade; Treinamento de sensibilização da montagem, com a equipe responsável pelo processo anterior a pintura sobre a importância da qualidade e cuidados na fabricação; Introdução do controle de qualidade na liberação da pintura, com inspeção de 100% das amostras e garantia de conformidades e um Plano de manutenção e 5S, com planejamento para ações de manutenção preventiva e 5S dos postos de trabalho. Com as ações de melhorias aplicadas o autor entrou na fase de controle do DMAIC e com os gráficos de controle estatístico conseguiu garantir uma redução de falhas por oportunidade de 19% para 6,55% resultando em uma redução de custo anual de R\$494 mil. É possível afirmar que o Seis Sigma pode ser aplicado em qualquer setor de uma empresa e com ambientes diferentes.

Como último exemplo, Pinto Neto (2018) utiliza a metodologia Seis Sigma com o ciclo DMAIC em seu estudo com o objetivo de reduzir falhas no setor de retoques de pintura dos cascos e conveses de um estaleiro náutico. Com a ajuda do gráfico de Pareto o autor identificou que a falha predominante é devido a falhas no gel com espessura fina na lancha. Esta possui o maior número de produção, e que o problema raiz identificado era devido à falta de inspeção com foco nas regiões críticas e o instrumento de medição não ser corretamente armazenado. A ação de melhoria proposta foi elaborar uma folha de inspeção para controle da espessura do gel, com o objetivo de controlar variações de camadas das peças fabricadas. Os resultados obtidos foram diminuição de falhas no setor de pintura, com menos retrabalhos e tempo no setor de retoques, reduzindo o *leadtime* de produção das lanchas e consequentemente reduzindo os custos da empresa.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Quanto à natureza da pesquisa é quantitativa/qualitativa pois existem conceitos que foram medidos através de técnicas estatísticas e a partir dos dados obtidos iniciou-se uma análise mais subjetiva para interpretação e compreensão do contexto da organização mostrando a importância da concepção da realidade atual da empresa com a relação de causa e efeito.

Quanto aos objetivos da pesquisa esta é explicativa, pois fez-se registros, análises, classificações e interpretações sobre as causas e principais problemas para a existência de retrabalhos/desperdícios na empresa e também se identificou quais são os seus fatores determinantes.

Quanto ao método de pesquisa foi feita uma pesquisa ação, pois houve a implementação prática dos conceitos teóricos com aplicação de todas as etapas do ciclo DMAIC no processo de pintura na empresa em estudo. Conforme afirma Engel (2000) a pesquisa ação é um tipo de pesquisa que busca desenvolver o conhecimento a partir da compreensão prática do pesquisador que é capaz de testar hipóteses no cenário real. O instrumento utilizado para coleta de todos os dados foi a medição *in loco*.

#### 3.1 Descrição do Problema

Um dos processos produtivos de toda a empresa é o de pintura nos chassis dos furgões que possui como objetivo, dar acabamento estético para região inferior do produto e principalmente proteger as superfícies metálicas contra o processo de corrosão, assim garantindo maior durabilidade, na pintura a tinta forma uma camada protetora e evita que o metal fique exposto ao ambiente.

Com um posicionamento do setor de qualidade da empresa em ser mais criterioso na avaliação dos produtos nos finais das linhas de fabricação, a inspeção para liberação passou a ser mais rigorosa quanto os quesitos de acabamento e análise visual da região da caixa de carga, como também da região inferior que garante a estrutura do produto que é o chassi.

Com isso, começou a ser observado um alto número de retrabalhos e retoques de pintura a serem feitos nos chassis por conta de divergências nos aspectos visuais, como regiões com aparecimento de pontos de corrosão e regiões com escorrimento de tinta, sendo o primeiro problema por conta de falta de tinta e o segundo por conta do excesso dela nos locais. Com o aparecimento destes retoques o processo de

fabricação obteve um acréscimo de tempo, gerando atrasos na produção e impactos nos resultados por conta do aumento de material consumido e deslocamentos dos pintores até a área de retrabalho. Foi observado também que os produtos que ficavam por um tempo armazenados no pátio da empresa, antes de serem expedidos, apresentavam problemas relacionados a pintura, estes apareciam após um tempo de exposição ao ambiente e que, portanto, não eram identificados na etapa de inspeção final. Em pesquisa realizada junto ao setor de pós-vendas, foi identificado um histórico de notificações de reclamação de alguns clientes que também observavam estes pontos de não conformidade nos chassis, gerando custos e insatisfações.

Devido ao aparecimento destas ocorrências, o setor de qualidade direcionou ações e projetos que teriam que ser desenvolvidos no setor de pintura para aumentar a eficiência, melhorar os parâmetros de qualidade e garantir que o processo seja capaz de entregar produtos dentro dos requisitos e que este esteja sob controle, assim evita reclamações de clientes, diminui gastos com matéria prima e deslocamentos desnecessários, diminui número de retrabalhos e aumenta produtividade melhorando indicadores do setor.

### **3.2 Etapas para Resolução do Problema**

Para a realização deste estudo, com a finalidade de resolver os problemas e obter uma melhora do processo de pintura, foi realizado inicialmente uma pesquisa bibliográfica na literatura nacional e internacional em livros e artigos que trazem como temática o que é e aplicações de um projeto Seis Sigma e o que é, e como pode ser aplicada a metodologia DMAIC para enriquecer o conhecimento sobre os temas abordados.

Na parte inicial do trabalho, em conjunto com a revisão bibliográfica foi iniciada a coleta de dados preliminares da variável definida diretamente na linha de produção, para verificação de como estava o processo antes da aplicação da metodologia. Trabalhar como inspetor de qualidade na empresa facilitou no entendimento de como é todo o processo e quais os pontos poderiam ser modificados, como também ajudou em uma ampla coleta de dados para identificação de como estava o processo antes das aplicações das melhorias.

Com a metodologia de estudo sendo o DMAIC, na primeira parte do trabalho foi relatado as duas primeiras etapas do ciclo que é a etapa definir e medir, na primeira a partir da análise do processo com a identificação dos problemas foi avaliado qual



poderia ser uma causa raiz e qual a variável da qualidade observada, na segunda etapa do ciclo, houve a coleta dos dados e com o auxílio de ferramentas estatísticas foi feita uma avaliação preliminar do processo. Posteriormente na sequência do trabalho as etapas do ciclo avaliadas foram analisar, melhorar e controlar.

O projeto busca encontrar melhorias com resultados significativos no processo de pintura dos chassis para garantir que seja uma etapa eficiente e capaz de atender aos requisitos internos e externos no processo de fabricação geral da empresa, com a obtenção de produtos que atendem os parâmetros de qualidade estabelecidos.

### **3.3 Descrição da Empresa**

A empresa em estudo foi fundada em 1992 e é fabricante de implementos rodoviários como sobrechassis (os conhecidos furgões) e semirreboques (as conhecidas carretas) localizada no norte do estado do Paraná. Possui cerca de 400 colaboradores com uma área de aproximadamente 90 mil m<sup>2</sup>. Com assistência técnica de fábrica e rede de autorizadas em todo o Brasil possui dentro do seu mix de produtos sobrechassis e semirreboques da linha refrigerada isotérmica (paleteira), frigorífica (gancheira), *isoplastic* (painéis modulares), carga seca e *sider*.

Todo o processo de fabricação é realizado na empresa, desde a fabricação de peças em sua metalúrgica, montagem das estruturas soldadas, injetamento de poliuretano (isolante térmico), pintura e acabamento, encarroçamento, instalação dos aparelhos de refrigeração e engate dos produtos para os clientes, que podem começar as cargas logo após saírem da fábrica.

A empresa possui o selo Anfir de conformidade da Associação Nacional dos Fabricantes de Implementos Rodoviários e é homologada para atender as principais indústrias do ramo alimentício.

## 4. PESQUISA AÇÃO

Para início da execução do projeto Seis Sigma de melhorias no processo de pintura, a partir do DMAIC construiu-se a etapa definir, com a utilização de ferramentas de Voz do Cliente e Diagrama SIPOC.

### 4.1 Etapa Definir

Na presente etapa foram utilizadas ferramentas voltadas ao objetivo de se definir qual a causa raiz dos problemas e qual a variável da qualidade em que se analisa os dados.

Partindo da voz do cliente e considerando tanto clientes externos (finais) como clientes internos (etapas seguintes da produção), e qual a influência de tempo, qualidade e custo que os retrabalhos existentes podem gerar foi montada a Figura 5, para explicitar os principais pontos.

**Figura 5 - Voz do Cliente do Projeto**

TEMPO	QUALIDADE	CUSTO
Ocorrências de retrabalho Baixa confiabilidade do processo Alto tempo de produção Tempo com o caminhão parado para retrabalho	Ocorrências de retrabalho Fornecimento de tintas Falta de treinamento e técnica para os pintores Dúvidas quanto a confiabilidade e durabilidade do produto	Ocorrências de retrabalho Alto gasto com materiais Alto tempo de produção Maior valor para retrabalhos realizados em terceiros

**Fonte: autoria própria, 2021**

Depois de identificado que as ocorrências de retrabalhos afetam os clientes nos 3 quesitos em análise, ou seja, no tempo de produção, na qualidade do produto e também no custo de fabricação, o principal foco do projeto DMAIC é reduzir este indicador da empresa e com isso identificar uma possível causa para o número ser elevado, então retornar um processo que seja mais confiável. Para uma análise macro do processo de pintura criou-se o diagrama SIPOC que identifica os fornecedores (*suppliers*), as entradas (*inputs*), o processo em si (*process*), as saídas (*outputs*) e os clientes (*customers*) e então certificar um esclarecimento de todos os pontos que podem afetar a pintura.

**Figura 6 - Diagrama SIPOC**

FORNECEDORES	ENTRADAS	PROCESSO	SAÍDAS	CLIENTES
Setor de solda dos chassis (montagem da estrutura)	Chassi soldado Lixas Thinner	Lixamento de rebarbas e superfícies irregulares	Chassi lixado sem rebarbas	Cabine de Jato Granalha
Cabine de Jato	Mangueiras Granalha	Jateamento na cabine especializada	Chassi jateado	Cabine de Pintura Pressurizada
Cabine de Pintura	Pistolas de tinta a ar Tinta	Pintura na cabine especializada	Chassi pintado	Estufa de Secagem
Estufa de Secagem		Secagem na estufa de secagem	Chassi finalizado	Linhas de Montagem (início da montagem da caixa de carga)

Fonte: autoria própria, 2021

Após a montagem da estrutura e solda de todas as travessas e emendas do chassi, que é considerado o setor fornecedor, é dado início ao processo de pintura que é dividido em preparação, jateamento ou limpeza da superfície, deposição de tinta e secagem. A etapa de preparação inclui o jateamento com granalha, no qual os chassis são movimentados para a cabine fechada e dois operadores são responsáveis pelo processo em que realiza-se o preparo da superfície e uma limpeza profunda, com o intuito de se remover gorduras, graxas, óleos, texturas e respingos de solda e assim deixar todo o chassi pronto para receber as camadas de tinta para assim garantir maior adesão e absorção por estar em contato direto com o substrato, conforme Figura 7.

**Figura 7 - Chassi Jateado**

Fonte: autoria própria, 2021

Quando a demanda é superior a capacidade e a cabine de jateamento não consegue atender ao volume de produção e inícios das linhas de montagem, não é possível realizar o jateamento, e então os chassis passam, como preparação, pelo processo de limpeza em que dois pintores utilizam um produto solvente/desengraxante para limpeza da superfície e retirada de poeira e oleosidade que o processo de solda acaba deixando, utilizando-se panos secos e realizado de forma manual, por toda a superfície do chassi.

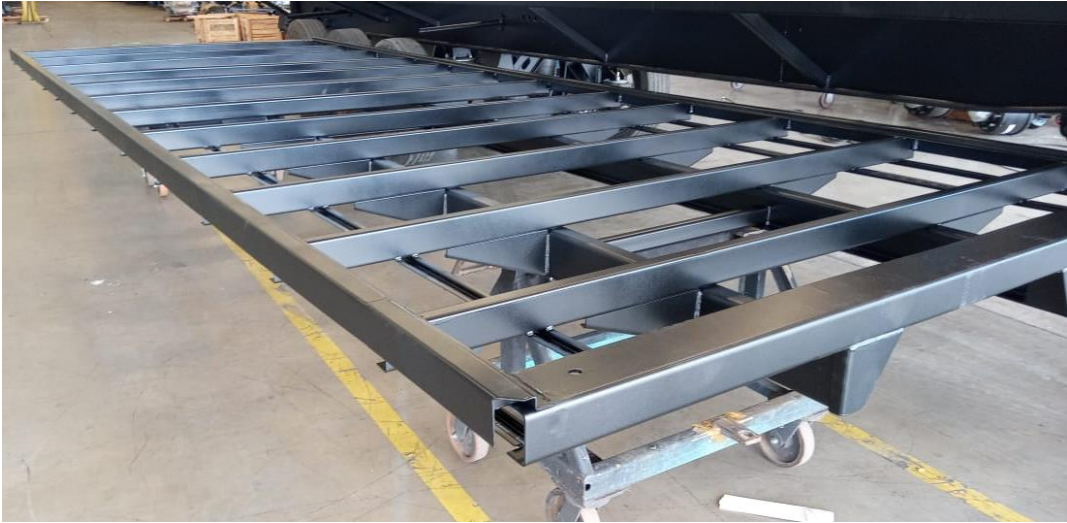
Após a preparação o chassi é colocado dentro de uma cabine de pintura pressurizada (Figura 8) para a realização do processo de pintura em si, com a deposição de tinta em toda a superfície.

**Figura 8 - Processo de Pintura na Cabine**



**Fonte: autoria própria, 2021**

Todos os chassis são pintados com tinta tipo esmalte sintético, na cor preta semibrilho, por dois pintores responsáveis pela etapa na cabine de pintura com a utilização de pistolas a ar. Cada pintor é responsável por um lado do chassi e devem pulverizar todas as superfícies, sejam as mais visíveis e também as menos visíveis como pontos inferiores e partes internas das travessas que possuem maior dificuldade de acesso. Após pintado, os chassis seguem para a estufa de secagem, em que por um período permanecem até ocorrer a cura da tinta (Figura 9)

**Figura 9 - Chassi Finalizado**

Fonte: autoria própria, 2021

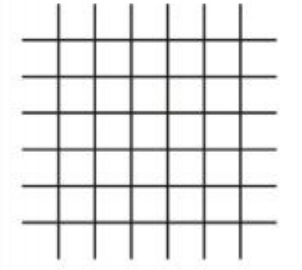
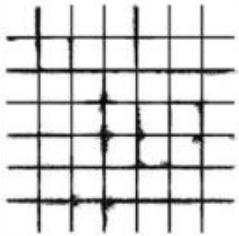

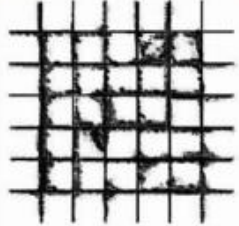
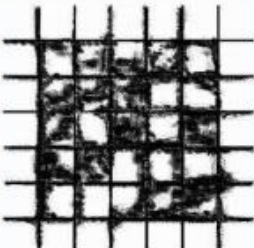
As inspeções possíveis para o processo de pintura após o produto ser finalizado são a análise visual e aspectos estéticos da pintura geral, teste de aderência que analisa o grau de fixação da tinta ao substrato e a avaliação da camada de tinta seca capaz de medir qual a espessura da camada de tinta que foi depositada.

As análises de aspectos visuais são mais subjetivas e pontos de não conformidades são facilmente identificados com a inspeção geral dos produtos. Para os testes de aderência é utilizado o medidor de aderência (Figura 10) que realiza o teste em grade e em acordo com a ABNT NBR 11003 (2009), pode-se classificar o grau de deslocamento da tinta de Gr0 (nenhum deslocamento), até Gr4 (deslocamento de 65%) conforme a Figura 11.

**Figura 10 - Teste de Aderência em Grade**

Fonte: Medtec, 2021

**Figura 11 - Destacamento da Área Quadriculada**

Código	Figura
<p>Gr<sub>0</sub> Nenhuma área da película destacada</p>	
<p>Gr<sub>1</sub> Área da película destacada, cerca de 5 % da área quadriculada</p>	
<p>Gr<sub>2</sub> Área da película destacada, cerca de 15 % da área quadriculada</p>	
<p>Gr<sub>3</sub> Área da película destacada, cerca de 35 % da área quadriculada</p>	
<p>Gr<sub>4</sub> Área da película destacada, cerca de 65 % da área quadriculada</p>	

Com os testes de aderência é possível identificar uma relação entre qualidade e classificação de adesão com os produtos que passam pela etapa de preparação por jato granalha ou não.

Para os testes de verificação de camadas de tinta seca é utilizado o medidor de camadas (Figura 12) calibrado para medição em superfícies ferrosas, a unidade dos dados verificados é em  $\mu\text{m}$  (micrometro) e o aparelho confere a espessura da camada de tinta depositada no local medido. Com isso é possível verificar pontos com baixa deposição de tinta, passíveis de oxidação, e também pontos com alta deposição de tinta, passíveis de deslocamento de tinta.

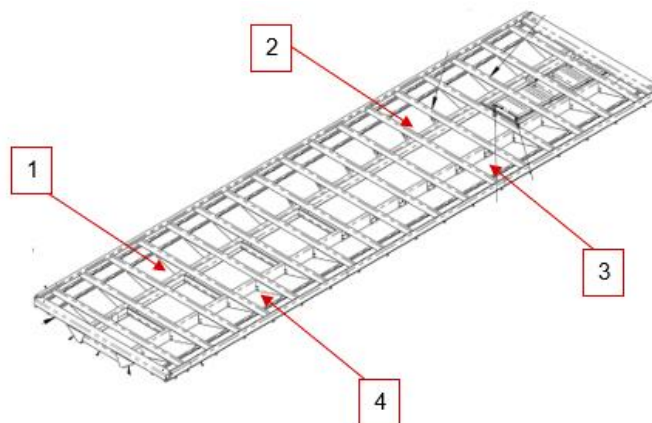
**Figura 12 - Medidor de Camadas de Tinta Seca**



Fonte: autoria própria, 2021

Os pontos para medição dos chassis estão explícitos na Figura 13 e cada produto foi medido em 4 pontos, sendo eles dois em cada longarina, os pontos são os mais aparentes depois que os produtos são finalizados.

**Figura 13 - Pontos de Medição dos Chassis**



Fonte: autoria própria, 2021

Por ser testes de fáceis execução e que não demandam tempo, e também por resultar em dados mais quantitativos a variável da qualidade escolhida para estudo e avaliação da metodologia DMAIC é a espessura de camada de tinta seca.

#### **4.2 Etapa Medir**

Na segunda etapa do ciclo, a fase medir retornou como estava o processo antes que as melhorias fossem implementadas, para identificação de como estavam as variáveis em estudo. Também nesta etapa construiu-se gráficos de controle para verificação do processo estar sob controle estatístico ou não, ou seja, se é estável ou instável. Os gráficos de controle utilizados foram o XBarra-R (*range* – amplitude), que verifica as médias e as amplitudes com análise dos dados dentro de uma mesma amostra e o Gráfico X-MR (*moving range* – amplitude móvel), que verifica as médias e as amplitudes móveis com análise dos dados entre as amostras medidas, considerando que um produto retorna valores de uma batelada de produção.

Os dados coletados foram organizados em uma tabela representada de acordo com a Figura 14, que apresenta uma parcial de 20 amostras analisadas de um total de 150 coletas que é a produção mensal, os demais dados estão disponíveis no Apêndice A. A tabela contém na primeira coluna o número de série de fabricação do produto, na segunda coluna qual linha de produção será destinado para sequência de montagem, na coluna jateamento é possível identificar se o produto passou pelo processo de jateamento, na quarta qual o nível de aderência classificado de acordo com NBR 11003 e por fim qual o valor de camada de tinta em cada um dos quatro pontos e a média destes valores.



**Figura 14 - Parcial dos Dados Coletados**

	SÉRIE	LINHA	JATEAMENTO	ADERÊNCIA	CAMADAS				média
					PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	
1	24881	C	Sim	GR0	43	66	51	51	53
2	24816	C	Sim	GR1	60	60	65	75	65
3	24847	I	Sim	GR0	68	55	52	50	56
4	24848	H	Sim	GR1	36	50	75	82	61
5	25203	H	Sim	GR0	53	57	56	60	57
6	24974	I	Sim	GR0	61	65	77	41	61
7	25204	C	Sim	GR0	65	72	61	66	66
8	24858	H	Sim	GR0	75	69	51	77	68
9	24914	C	Sim	GR1	76	71	73	59	70
10	24949	I	Sim	GR0	88	66	59	45	64
11	24901	C	Sim	GR0	52	74	37	56	55
12	24859	H	Sim	GR0	85	67	85	72	77
13	24920	C	Sim	GR0	62	70	56	75	66
14	24795	H	Sim	GR0	67	51	75	61	64
15	24945	C	Não	GR3	70	53	56	54	58
16	24943	C	Não	Desplacamento total	56	76	74	75	70
17	24953	I	Sim	GR0	63	77	46	48	59
18	24944	C	Sim	GR0	83	69	53	66	68
19	25022	H	Sim	GR0	44	51	88	51	58
20	24882	C	Sim	GR0	55	67	57	45	56

Fonte: autoria própria, 2021

Para os gráficos XBarra-R os parâmetros são calculados a partir das Equações 1 a 5 e para o gráfico X-MR os parâmetros são calculados de acordo com as Equações 6 a 10. A partir dos cálculos os dados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (d_2 = 2,059) \quad (1)$$

$$LSCx = \bar{x} + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

$$LICx = \bar{x} - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

$$LSCr = \bar{R} + 3 * d_3 * \sigma \quad (d_3=0,88) \quad (4)$$

$$LICr = \bar{R} - 3 * d_3 * \sigma \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (d_2=1,128) \quad (6)$$

$$LSCx = \bar{x} + 3\sigma \quad (7)$$

$$LICx = \bar{x} - 3\sigma \quad (8)$$

$$LSCmr = \overline{MR} + 3 * d3 * \sigma \quad (d3=0,853) \quad (9)$$

$$LICmr = \overline{MR} - 3 * d3 * \sigma \quad (10)$$

Em que:  $\sigma$  – desvio padrão

R (range) – amplitude

LSC – limite superior de controle

LIC – limite inferior de controle

$d_2$  e  $d_3$  – constantes

MR (moving range) – amplitude móvel

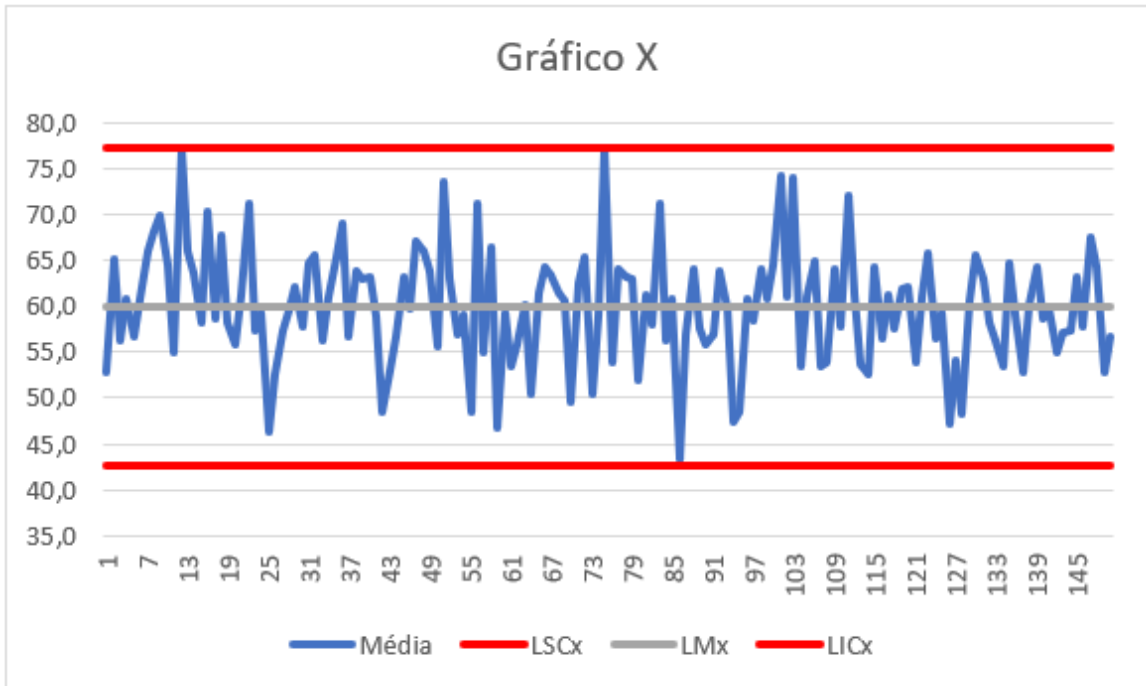
**Tabela 1 - Parâmetros do Processo e Limites de Controle**

	Gráfico XBarra-R	Gráfico X-MR
Média Geral	59,9	59,9
R / MR Barra	23,8	7,2
DesvPad $\sigma$	11,6	6,4
LSCx	77,3	79,1
LMx	59,9	59,9
LICx	42,6	40,8
LSC	54,4	23,5
LM	23,8	7,2
LIC	0,0	0,0

Fonte: autoria própria, 2021

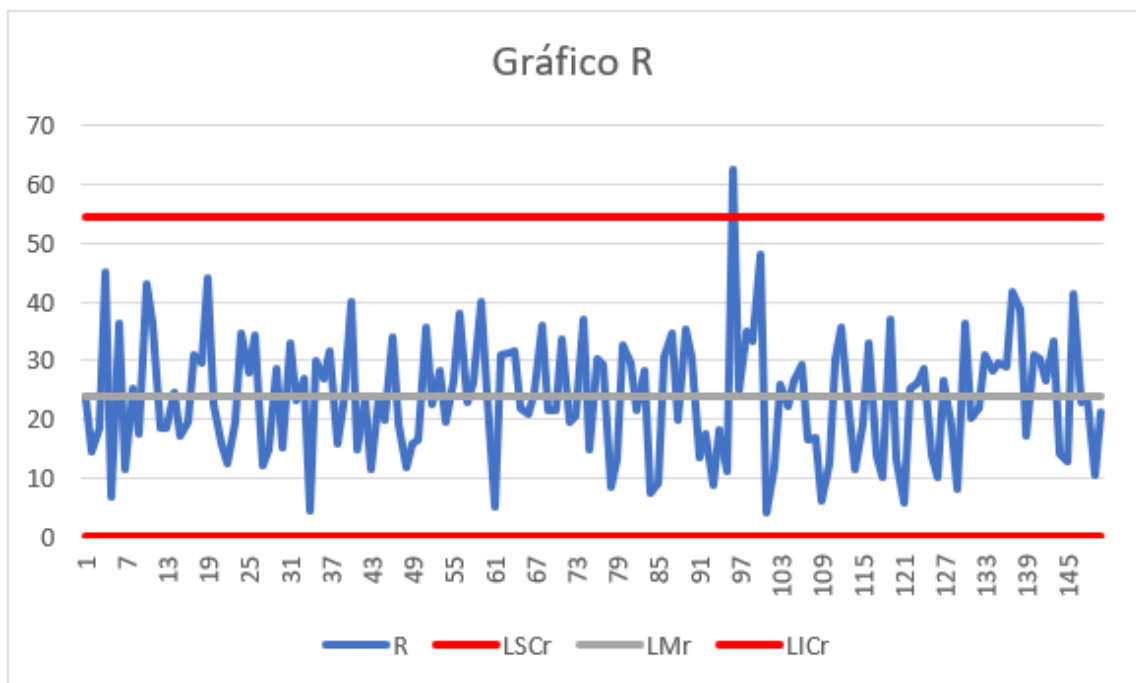
A partir dos valores calculados para os parâmetros e tendo-se os limites de controle os gráficos XBarra e R estão apresentados nas Figuras 15 e Figura 16 respectivamente.

Figura 15 - Gráfico XBarra



Fonte: autoria própria, 2021

Figura 16 - Gráfico R



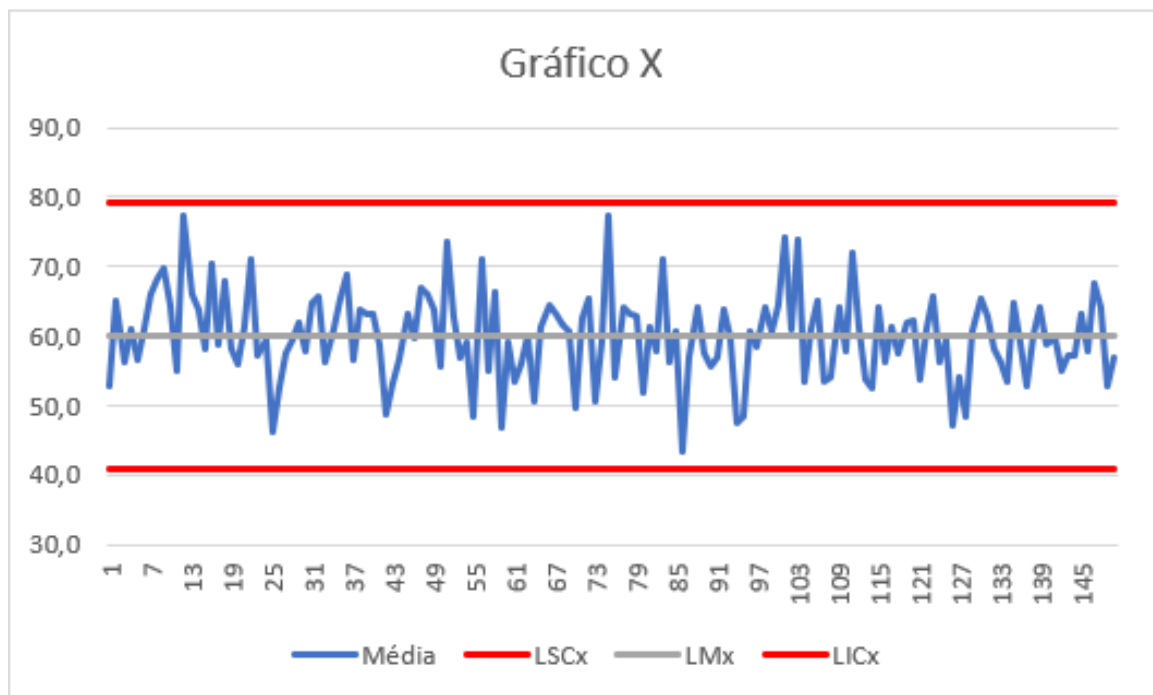
Fonte: autoria própria, 2021

Após calculado os parâmetros para a análise é viável a construção dos gráficos de controle para a verificação dos dados. Com os dois gráficos em conjunto pode-se observar que o processo de pintura, analisando a quantidade de tinta depositada,

possui variação e instabilidade com amplitude dos pontos com altos valores, como praticamente todos os dados ficaram dentro dos limites de controle, este é um indício de que o processo esteve a maior parte do tempo sob controle porém com alguns momentos em que causas especiais podem ter ocorrido, como nos casos em que os pontos ultrapassaram os limites calculados, contudo a alta variação influencia na alta quantidade de retrabalhos encontrados. No caso da região do ponto 97 do gráfico R estar ultrapassando o limite superior de controle pode se assumir que seja um erro do tipo 1, e para isso o ponto em questão pode ser removido, mas não é descartado a ocorrência de um erro do tipo 2 no qual os parâmetros como a média e o desvio padrão do processo são mudados.

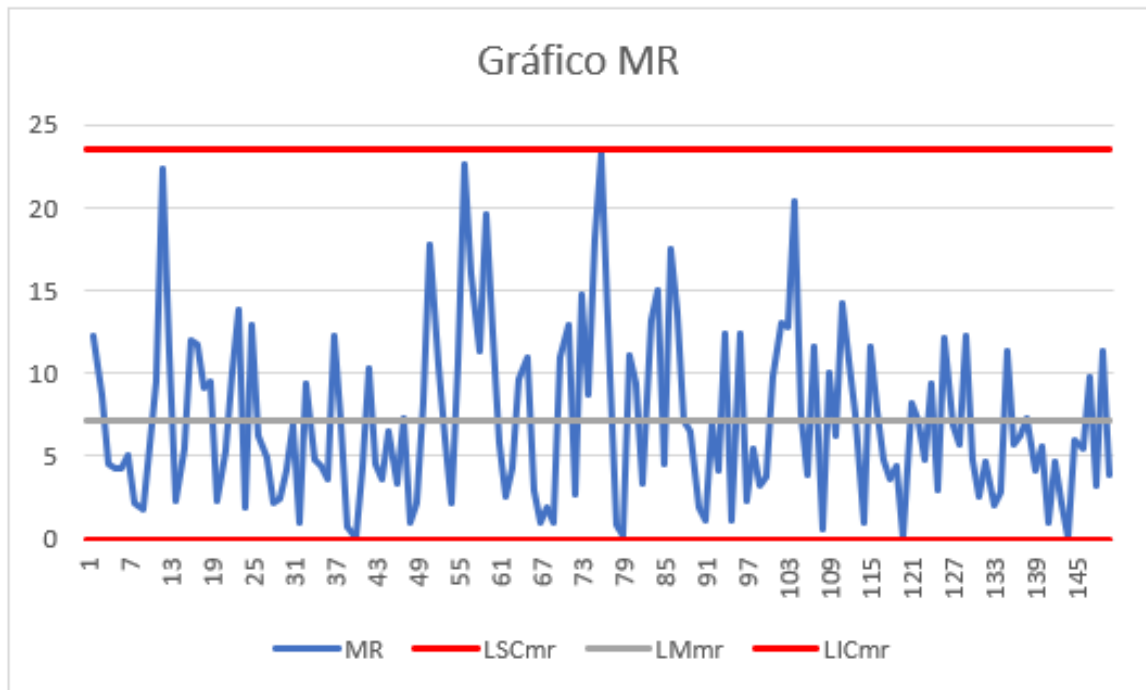
Na Figura 17 está apresentado o Gráfico X e na Figura 18 o Gráfico MR das amplitudes móveis.

**Figura 17 - Gráfico X**



Fonte: autoria própria, 2021

**Figura 18 - Gráfico MR**



**Fonte: autoria própria, 2021**

Semelhante a análise realizada nos gráficos anteriores, a partir dos parâmetros encontrados pode-se realizar a construção dos gráficos de controle para análise da variabilidade a partir da média móvel dos dados, ou seja, foi analisado a variação dos pontos medidos dentro da mesma amostra e também a variação entre as amostras, para o segundo caso é possível notar que os dados permanecem dentro dos limites de controle calculados, com a observação de que, no gráfico MR para amplitudes móveis a média está deslocada para o limite inferior e existem picos com aumento dos valores chegando perto do limite superior, toda esta variação impacta diretamente na média dos valores reais com a possibilidade de ocorrências de variações na média ao longo da coleta de dados que não são detectadas pelos gráficos. Com a análise dos gráficos, nota-se que o Gráfico X-MR encaixa-se mais com os dados por conta de sua aplicabilidade e correspondência dos dados, sendo este modelo mais interessante de ser analisado.

Juntamente com esta avaliação, a análise dos índices de capacidade são os métodos de verificação para atribuir se um processo é capaz de retornar resultados que estejam dentro das especificações definidas ao longo do tempo. Estes índices de acordo com Ramos *et al.* (2013) e Montgomery; Runger, (2009), são:

**Cp (capacidade de processo)**

Que analisa o potencial do processo a partir da relação entre as especificações e o desvio padrão, calculado conforme Equação 1:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (11)$$

**Cpk (índice de capacidade de processo)**

Que analisa a relação das especificações com a média dos dados do processo e o desvio padrão. Usado para quando a média calculada se difere do valor alvo especificado, pois quando a média equivale ao valor alvo Cp e Cpk possuem o mesmo valor, conforme a média se distancia menor fica o valor de Cpk, para seu cálculo utiliza-se a Equação 2:

$$Cpk = \min \left( \frac{\mu - LIE}{3\sigma} ; \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \right) \quad (12)$$

**PFE Total (pontos fora de especificação)**

Que calcula a probabilidade de os dados não atenderem as especificações do processo, a partir dos pontos faz-se uma normalização dos limites de especificação seguindo a distribuição normal para assim resultar na porcentagem de dados que podem cair fora dos limites de especificação, seja para mais ou para menos, calculado conforme Equação 3.

$$PFE = P \{x > LSE + x < LIE\} \quad (13)$$

**PPM (partes por milhão)**

A partir do PFE relaciona este índice para uma produção de 1 milhão de unidades, seguindo a Equação 4.

$$PPM = PFE * 1.000.000 \quad (14)$$

**Pp e Ppk**

São analisados a partir do desvio padrão global, ou seja, quando não há interferência com o passar do tempo e demonstram o processo no passado. Portanto são calculados semelhantes os índices Cp e Cpk. Quando os valores de Cp e Pp são bem próximos, pode-se dizer que o processo está ocorrendo de maneira estável, já quando se diferem caracteriza um processo fora de controle ou imprevisível. Os resultados para os índices de capacidade estão organizados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Resultados dos Índices de Capabilidade**

	Gráfico Xbarra-R	Gráfico X-MR
<b>Cp</b>	0,288	0,523
<b>Cpk</b>	0,286	0,519
<b>PFEt</b>	38,79%	11,69%
<b>Pp</b>	0,281	0,281
<b>Ppk</b>	0,280	0,280

Fonte: autoria própria, 2021

Para os dados resultantes do gráfico XBarra R, os valores de Cp e Cpk deram bem abaixo do mínimo considerável para um processo ser considerado capaz que por definição conforme aponta Ramos *et al.* (2013) é 1,00, portanto 0,288 e 0,286 são índices que demonstram a incapacidade do processo em atender as especificações. Com 38,79% de PFEt significa dizer que a porcentagem de produtos fora da especificação é elevada, por exemplo com a média de produção mensal da empresa que é em torno de 120 unidades 47 provavelmente terão algum retrabalho. A partir do resultado dos índices de Pp e Ppk também abaixo de 1,0, pode-se dizer que o processo não é capaz de produzir dados que fiquem dentro dos limites estabelecidos.

Semelhante a esta análise, os valores resultantes para a capacidade do gráfico X-MR encontram-se melhores quando comparados ao XBarra-R, porém ainda sim induzem dizer que o processo está fora de controle, pois os valores de Cp e Cpk comparados a Pp e Ppk se diferem e estão abaixo de 1,0 e a cada 120 unidades produzidas (média de produção mensal) aproximadamente 14 unidades estarão fora de especificação.

Portanto com a análise das medições verificou-se que possuem grande variação para a camada de tinta seca entre os chassis, ou seja, os valores se diferem de um chassi para o outro, e também possuem variação nas medições realizadas dos pontos pertencentes ao mesmo chassi. Com esta instabilidade comprova-se o elevado número de retrabalhos e não conformidades que devem ser melhor analisados para a identificação das principais causas para a existência destas variações.

### 4.3 Etapa Analisar

A partir dos resultados encontrados na etapa medir, concluiu-se que o gráfico que mais se adequou ao processo em análise é o gráfico X-MR que retorna a

variabilidade dos dados comparando-se as amostras, sendo possível identificar qual a diferença na pintura analisando as camadas de tinta seca entre um chassi e outro. Para este modelo de gráfico têm-se que o nível sigma do processo resulta em  $1,5\sigma$ , portanto bem distante do valor ideal da metodologia que é de  $6\sigma$ .

Com a finalidade de buscar a redução do desvio padrão do processo houve a construção do Diagrama de Pareto e do Diagrama de Ishikawa e com o auxílio destas ferramentas, buscou-se encontrar qual o melhor caminho para se ter um desvio padrão reduzido de 6,4 (valor calculado) para 1,68 que é o valor ideal do  $6\sigma$ . Entende-se que para o alcance do nível sigma ideal as transformações não ocorrem rapidamente e sim a partir de vários projetos de melhoria contínua com a identificação de todos os pontos passíveis de progresso.

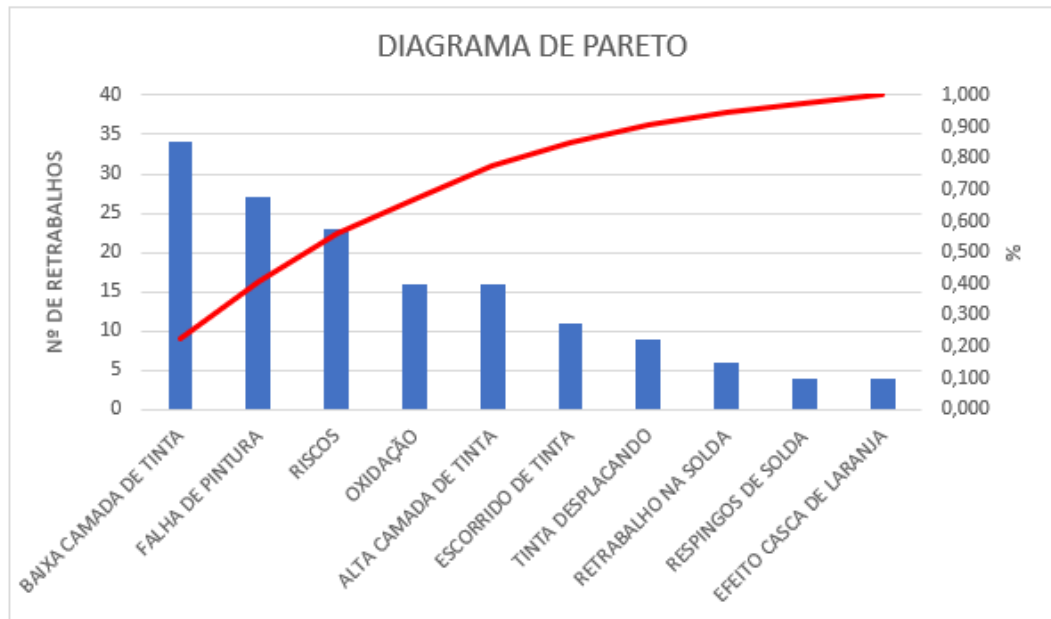
#### **4.3.1 Diagrama de Pareto**

O diagrama de Pareto é um gráfico construído com barras verticais que analisa quais são as principais causas/motivos do aparecimento de determinado evento, por exemplo, demonstra quais são as principais causas para o acontecimento de não conformidades em um processo a partir do número de ocorrências, com Pareto é possível priorizar pela relação 20/80 quais são as causas que mais impactam na redução de problemas no processo analisado, ou seja, 20% das causas impactam em 80% dos problemas (Rodrigues, 2014)

O Diagrama de Pareto para as ocorrências de retrabalhos no processo de pintura dos chassis está apresentado na Figura 19 em que foi listada as 10 principais causas com dados de registros da empresa.



**Figura 19 - Diagrama de Pareto**



Fonte: autoria própria, 2021

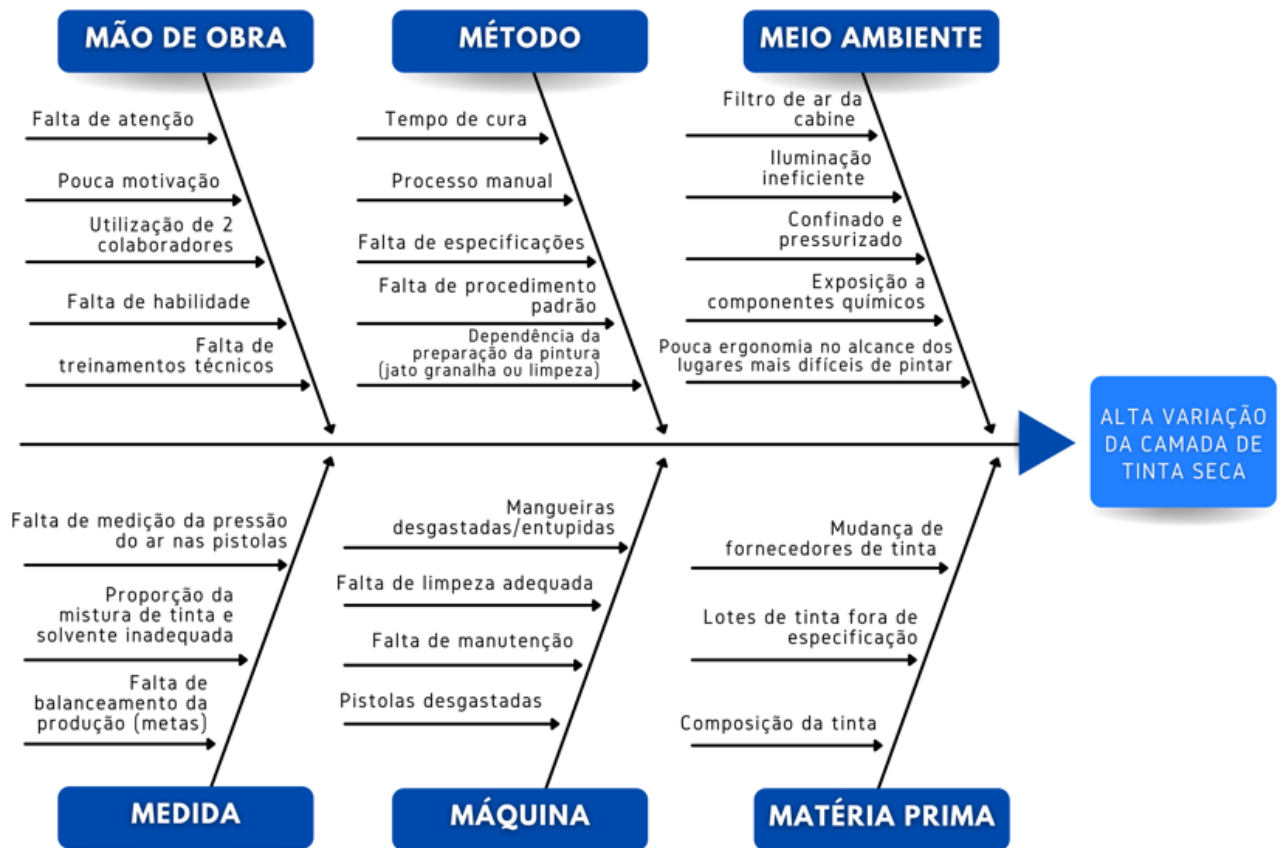
A partir do gráfico verifica-se que as principais causas para ocorrências de retrabalhos no setor de pintura estão relacionadas justamente à medição de camada de tinta, sendo a baixa camada como a principal, seguida dos problemas de falha de pintura, oxidação e excesso de tinta com altas camadas, com isso na maioria dos casos os pintores precisam repassar e refazer o processo pelo motivo da deposição de tinta ser abaixo do que o especificado. Assim pela proporção de Pareto, atacando-se 20% das causas ocorre a redução de 80% dos problemas.

Posterior a análise do Pareto, toda a equipe envolvida na pintura foi reunida para a construção do Diagrama de Ishikawa (Figura 20), considerando apenas as principais causas.

#### 4.3.2 Diagrama de Ishikawa

Também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito possui este nome pois foi criado por Kaoru Ishikawa em 1943, é uma das ferramentas mais utilizadas nas práticas de gestão para determinação das causas raízes de um problema definido. A finalidade é determinar, por meio da organização e priorização, quais são os principais motivos que levam ao aparecimento da não conformidade, estes motivos são divididos em 6 categorias que são: mão de obra, método, meio ambiente, medida, máquina e matéria prima.

Figura 20 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: autoria própria, 2021

Com a análise do Diagrama foi possível identificar alguns dos motivos causadores para a alta variação da camada de tinta seca, para cada categoria apontada propõem-se ações com o objetivo de se obter melhorias no processo, essas ações encontram-se na quarta etapa do ciclo DMAIC.

#### 4.4 Etapa Melhorar

A etapa Melhorar é a fase da metodologia em que as ações de melhorias a serem tomadas são propostas, com o principal objetivo de se eliminar os problemas e atacar as causas raízes identificadas, portanto para este estudo de caso as ações são voltadas para diminuição da variação do processo de pintura partindo das causas e itens apontados no Diagrama de Ishikawa (Figura 20). A ferramenta utilizada para construção do Plano de Ação é o 5W2H.

##### 4.4.1 5W2H

Conforme cita Werkema (2014), esta ferramenta tem como objetivo definir um planejamento para as ações a serem tomadas seguindo e definindo os seguintes

itens: (*What*) o que será feito, (*When*) quando será feito, (*Who*) por quem será feito, (*Where*) onde será feito, (*Why*) por que será feito, (*How*) como será feito e (*How much*) quanto irá custar. A partir da definição destes itens é possível obter um mapa das atividades e assim tornar a execução mais clara e objetiva para todos os colaboradores envolvidos no projeto.

A ferramenta 5W2H para o estudo do processo de pintura é apresentada na Tabela 3 contemplando as causas e problemas já listados. Como não houve o levantamento de custos para a execução do projeto, além destas informações serem restritas à empresa o último item (*How much*) não está aplicado ficando, portanto, como 5W1H.

**Tabela 3 - Plano de Ação (5W1H)**

	<b>Why</b> Por que fazer <b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>What</b> O que fazer <b>ATIVIDADE</b>	<b>Where</b> Onde	<b>How</b> Como fazer	<b>Who</b> Quem	<b>When</b> Quando o <b>PRAZO</b>
<b>MÃO DE OBRA</b>	Falta de treinamentos técnicos e habilidade	Realizar treinamentos específicos para pintura automotiva	Auditório empresa / Escola profissionalizante	Treinamentos com aulas teóricas e práticas	Pintores responsáveis pela cabine	set/21
<b>MÉTODO</b>	Falta de especificações e procedimento padrão	Definir procedimento e padrão operativo	Cabine de pintura	Acompanhamento <i>in loco</i>	Setor de processos e fornecedores de insumos	out/21
	Problemas na preparação da pintura	Jateamento de 100% dos chassis	Cabine de jato granalha	Programação de produção e disponibilidade da cabine	Produção e PCP	out/21
<b>MEIO AMBIENTE</b>	Filtro de ar da cabine ineficiente	Troca regular do filtro	Cabine de pintura	Troca do filtro nos intervalos de pintura (definir período)	Setor de manutenção e pintores da cabine	out/21
	Falta de iluminação	Aumentar a quantidade de lâmpadas e trocar as queimadas	Cabine de pintura	Aumentar os pontos de iluminação e verificação constante	Setor de manutenção	set/21
<b>MEDIDA</b>	Pressão desregulada das pistolas de ar	Instalação de manômetros próprios para pistolas de pintura	Cabine de pintura	Troca e instalação nas pistolas	Setor de manutenção	out/21

	Desbalanceamento da produção	Definir metas e volume de produção coerentes	Cabine de pintura	Definição de metas de acordo com a capacidade da cabine	PCP e Produção	out/21
<b>MÁQUINA</b>	Pistolas e mangueiras desgastadas	Troca das ferramentas (Pistola e mangueiras de ar)	Cabine de pintura	Troca para ferramental mais novo/moderno e mangueiras mais resistentes	Setor de manutenção	out/21
<b>MATÉRIA PRIMA</b>	Não conformidades com a tinta utilizada	Mudança do fornecedor e composição base da tinta	Cabine de pintura / Almojarifado	Testes e avaliação técnica de novas tintas	Qualidade e Compras	out/21

**Fonte: autoria própria, 2021**

A partir do Plano de Ação, os tópicos foram voltados para a adequação aos problemas listados e assim uma série de alterações e mudanças foram colocadas em prática, como no item para mão de obra em que se determinou um cronograma para treinamento dos colaboradores responsáveis pela pintura da cabine, em que foi passado a teoria sobre o processo ideal de pintura e todos os parâmetros e técnicas destinadas ao atendimento dos requisitos e padrão de qualidade. Houve a contratação de mais dois profissionais voltados especialmente para os processos de pintura sendo um líder de produção que possui conhecimento técnico e prático sobre pintura automotiva e também um inspetor de qualidade designado para atuar de maneira especial na verificação da pintura e atendimento aos requisitos.

Para o tópico de métodos, houve a construção do padrão operativo para o processo e a definição de que todos os chassis produzidos terão que passar pelo jateamento para a preparação da pintura ser a ideal, assim os casos de má aderência seriam evitados. Com a definição de especificações e procedimentos seguidos corretamente, a probabilidade de sucesso nos resultados é mais garantido, pois definiu-se a mistura e proporção ideal da tinta com diluente, calibração correta das pistolas à ar com o fluxo da nuvem homogêneo, técnica de espalhamento da pigmentação e tempo de cura correto.

Para as soluções de problemas relacionadas ao meio ambiente definiu-se um cronograma ideal de manutenção para troca do filtro de ar da cabine, assim ocorre maior exaustão das nuvens de poeira melhorando a concentração de tóxicos para a respiração dos operadores e aperfeiçoando a visão deles por conta da instalação e substituição dos pontos de iluminação que estavam ineficientes.

Com relação as máquinas o 5W1H foi designado a substituição das pistolas e mangueiras que estavam desgastadas, ressecadas e furadas por modelos novos com controladores de fluxo de ar e produzidas com materiais mais resistentes, aumentando a durabilidade e vida útil das mesmas.

Uma das principais e mais perceptíveis ações propostas foi a troca da matéria prima que no caso do estudo é a tinta, na qual a partir de estudos e testes realizados definiu-se a mudança da composição base de esmalte sintético para tinta PU à base acrílica que além de proporcionar melhor acabamento estético visual produz menor quantidade de nevoeiro dentro da cabine, otimizando a ergonomia e melhorando a qualidade de vida dos pintores, a tinta com esta composição não é solúvel em água portanto o contato com o ambiente externo em dias chuvosos não influenciam tanto como as outras tintas.

Definindo-se as ações com o objetivo de reduzir a alta variabilidade no processo em estudo, e com isso atingir melhorias significativas para que estas ações sejam permanentes e permaneçam a longo prazo, tornando o processo padrão, deve-se existir um controle acirrado para que os progressos não sejam em vão, para isso a última etapa do Ciclo DMAIC aborda como garantir as melhorias.

#### **4.5 Etapa Controlar**

Para controlar o processo algumas mudanças e implementação de ações foram definidas, como a utilização de ferramentas de medições para os pintores, que passaram a utilizar o viscosímetro, que retorna a viscosidade ideal entre a mistura de tinta e solvente e o medidor de camada úmida, que após finalizada a pintura é possível verificar e espessura da camada de tinta úmida que atenderá aos requisitos de camada seca após a cura da tinta, com isso uma medição fora de parâmetro pode ser rapidamente corrigida com o chassi ainda com a tinta fresca. Uma outra ferramenta destinada ao controle do processo é o rugosímetro que com sua utilização mede-se a rugosidade ideal da superfície pós jateamento, para que a aderência de tinta seja adequada, com a utilização destas ferramentas as inspeções se tornam mais técnicas e os parâmetros definidos com maior clareza.

Como outra medida para controle das mudanças estabelecidas definiu-se uma ficha de inspeção para o processo (Figura 21), na qual o novo inspetor de qualidade



**Figura 22 - Dados coletados pós Plano de Ação aplicado**

	SÉRIE	LINHA	JATEAMENTO	ADERÊNCIA	CAMADAS				média
					PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	
1	26013	C	Sim	GR0	74	59	60	62	64,0
2	26208	H	Sim	GR1	57	59	68	59	60,5
3	26209	H	Sim	GR0	64	53	64	54	58,7
4	26210	H	Sim	GR1	65	66	65	61	64,3
5	26258	I	Sim	GR0	58	55	58	63	58,4
6	26280	C	Sim	GR0	56	53	50	66	56,2
7	26283	I	Sim	GR0	58	54	62	48	55,5
8	26284	H	Sim	GR0	60	62	58	57	59,1
9	26291	H	Sim	GR1	57	55	70	60	60,6
10	26300	I	Sim	GR0	67	61	64	67	64,8
11	26303	C	Sim	GR0	63	59	66	61	62,4
12	26310	I	Sim	GR0	57	65	55	59	59,1
13	26311	I	Sim	GR0	64	59	55	60	59,4
14	26328	C	Sim	GR0	65	62	59	58	61,0
15	26330	H	Sim	GR0	64	56	60	59	59,7
16	26351	C	Sim	GR0	53	54	59	51	54,1
17	26352	C	Sim	GR0	64	58	64	66	63,0
18	26353	C	Sim	GR0	68	59	67	58	63,1
19	26367	H	Sim	GR0	66	59	64	64	63,2
20	26378	I	Sim	GR0	65	58	55	60	59,6

Fonte: autoria própria, 2021

Pela coleta de dados já foi possível identificar que com todos os produtos jateados a classificação para aderência retornou apenas níveis aprovados entre GR0 e GR1, portanto a comprovação da eficácia da ação proposta.

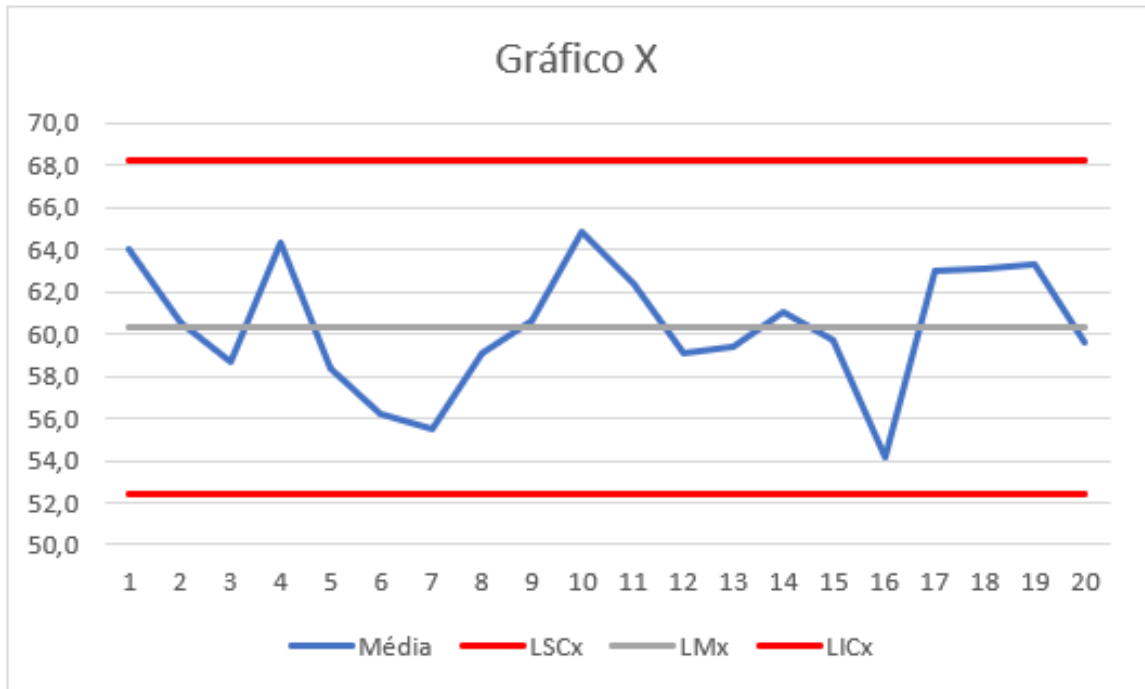
A partir dos dados calculou-se os parâmetros (Tabela 4) e construiu-se os gráficos X-MR, representados na Figura 23 e Figura 24 respectivamente.

**Tabela 4 - Parâmetros do Processo e Limites de Controle pós Plano de Ação**

Gráfico X-MR	
Média Geral	60,3
R / MR Barra	3,0
DesvPad	2,6
LSCx	68,2
LMx	60,3
LICx	52,4
LSCmr	9,7
LMmr	3,0
LICmr	0,0

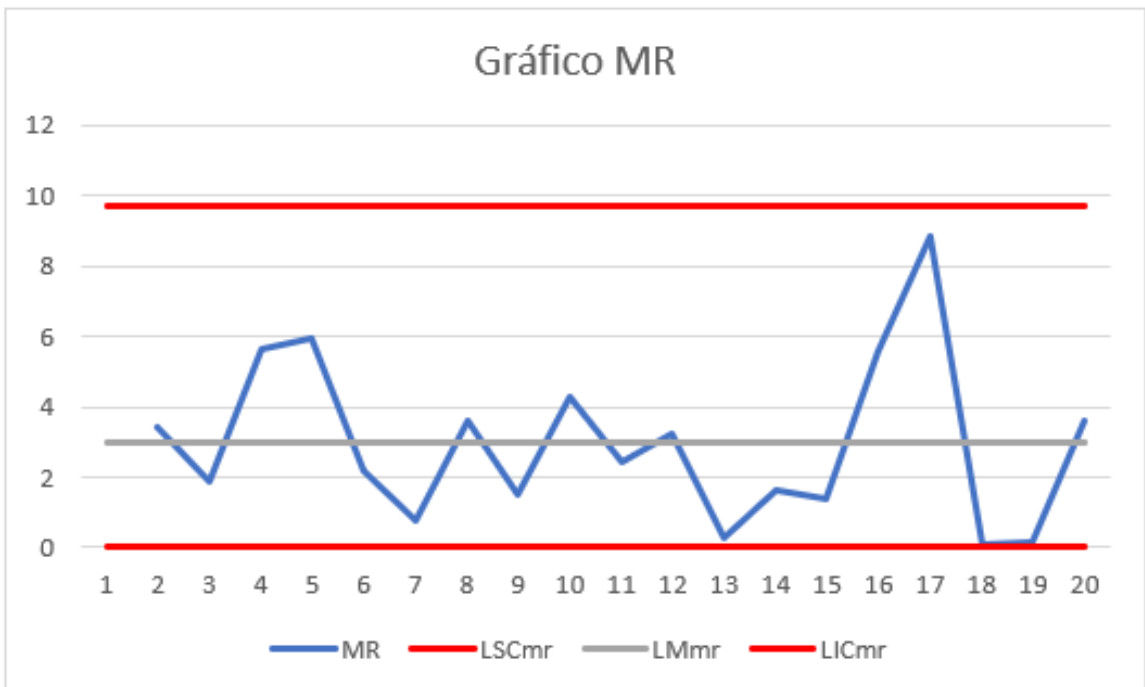
Fonte: autoria própria, 2021

Figura 23 - Gráfico X



Fonte: autoria própria, 2021

Figura 24 - Gráfico MR



Fonte: autoria própria, 2021

Pela análise das 20 amostras coletadas, verificou-se que todos os dados estão dentro dos limites de controle para os dois gráficos, sendo, portanto, um indício de



que o processo está sob controle estatístico e assim atende aos requisitos de qualidade definidos. Nota-se também que o valor para o desvio padrão reduziu de 6,4 anteriormente calculado, para 2,6 indo de encontro aos objetivos definidos para o alcance do nível  $6\sigma$ . Quanto aos índices de capacidade calculados conforme as equações listadas no Tópico 4.2 os resultados estão organizados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Índices de Capacidade**

	Gráfico X-MR
<b>Cp</b>	1,266
<b>Cpk</b>	1,224
<b>PFEt</b>	0,02%
<b>Pp</b>	0,684
<b>Ppk</b>	0,661

Fonte: autoria própria, 2021

Com os valores de Cp e Cpk em 1,266 e 1,224, classifica-se o processo como razoavelmente capaz pois está no intervalo entre 1,0 e 1,33, assim entende-se que consegue ao longo do tempo produzir chassis que atendem as especificações, dados estes diferentes quando comparados aos do mesmo tipo de gráfico antes das ações de melhorias serem implementadas, outros fatores que indicam uma melhoria do processo é a PFEt (proporção de pontos fora da especificação) em 0,02%, que como comparação a partir de 120 unidades produzidas no mês, antes das alterações eram estimadas 14 unidades fora de especificação e após as melhorias 0,024 unidades, ou seja, praticamente nenhuma; além dos índices Pp e Ppk serem maiores.

É importante salientar que a quantidade de dados analisados foi reduzida apenas como efeito de rápida checagem, porém é evidente que os resultados obtidos já foram satisfatórios para o alcance dos objetivos e evidenciação da eficácia da metodologia DMAIC.

## 5. CONCLUSÃO

O estudo fundamentou-se na aplicação da Metodologia Seis Sigma que possui como objetivo a redução de falhas e melhorias nos resultados a partir da análise de um processo definido. A ferramenta base utilizada foi o Ciclo DMAIC que possui etapas capazes de estruturar todo um projeto de melhoria desde a identificação até a solução de problemas para os processos que apresentam irregularidades.

O estudo de caso abordado neste trabalho foi a aplicação do DMAIC para redução da variabilidade e conseqüentemente número de retrabalhos no processo de pintura de chassis em uma empresa de implementos rodoviários. A variável definida e analisada foi a camada de tinta seca que influencia diretamente na qualidade da pintura, que quando fora de especificação gera oxidação ou deslocamento de tinta.

Com a aplicação do ciclo foi possível identificar pela primeira etapa a definição de qual seria o objeto de estudo capaz de ser estudado e sua viabilidade na medição e análise para o alcance dos objetivos, na segunda etapa foi realizada a medição de como estava atualmente o processo com a comprovação da necessidade de aplicação de mudanças para a redução dos retrabalhos pela utilização dos gráficos de controle XBarra-R e X-MR, sendo que o segundo foi o que mais se adequou aos dados, após identificado, com a etapa analisar foi possível definir quais poderiam ser as principais causas e motivos da alta variabilidade, na sequência com a fase melhorar foi proposto e implementado as ações baseadas nas principais causas, para por fim, ser definido quais seriam os métodos para controle a longo prazo da manutenção dos resultados obtidos, definindo-se como a utilização de ferramentas de medições como o medidor de camada úmida (com grande importância para a melhoria dos resultados) o viscosímetro e o rugosímetro além da ficha de inspeção para controle e rastreabilidade dos parâmetros de pintura.

Após a medição e construção dos gráficos pós aplicação das ações, comprovou-se a melhoria dos resultados pois ocorreu a estabilidade do processo pelos gráficos de controle, a redução do desvio padrão calculado de 6,4 para 2,3 e o aumento dos valores para os índices de capacidade  $C_p$  (0,523 → 1,266),  $C_{pk}$  (0,519 → 1,224),  $P_p$  (0,281 → 0,684) e  $P_{pk}$  (0,280 → 0,661), sendo assim fortes indicadores.

Pela utilização do DMAIC como um ciclo e a metodologia Seis Sigma ser a busca para o zero defeito, para trabalhos futuros recomenda-se a reavaliação do processo na possibilidade de serem identificadas e propostas outras causas e ações que não foram visualizadas em uma primeira análise. Contudo comprovou-se a

eficácia da aplicabilidade das teorias em um processo real contribuindo para os resultados positivos da empresa em estudo, gerando oportunidades para ser aplicados em outro setor e também criando uma base de fundamentação teórica para outros trabalhos e estudos com os temas correlacionados.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11003**: Tintas - Determinação da Aderência. Rio de Janeiro: Abnt, 2009.

BARBOSA, Gustavo F.; CARVALHO, Jonas de; SOUZA, Carlos H. P; Deployment of a laser projection solution for stripes plotting based on six sigma DMAIC methodology applied to aircraft painting shop. **Production & Manufacturing Research**, [S.L], v. 2, n. 1, p. 697-711, jan. 2014.

COUTINHO, M. N. S. **Aplicação do método dmaic no processo de pintura de uma linha de montagem de ônibus**. Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis, SC, UFSC, 2011.

DAMSIAR *et al.* Reduce reject painting process using six sigma method with dmaic Approach and Experiments on Brake Disc Products (1 Rc Hub) (Case Study in Pt. Xyz). **International Journal Of Innovative Science And Research Technology**. Meruya, p. 327-337. out. 2018.

ENGEL, Guido Irineu. Pesquisa-ação. **Educar**, Curitiba, v. 16, p. 181-191, jan. 2000. Disponível em: [http://www.educaremrevista.ufpr.br/arquivos\\_16/irineu\\_engel.pdf](http://www.educaremrevista.ufpr.br/arquivos_16/irineu_engel.pdf). Acesso em: 06 dez. 2021.

GOLDENSTEIN, Marcelo; ALVES, Marcelo de Figueiredo; AZEVEDO, Rodrigo Luiz Sias de. **A indústria de implementos rodoviários e sua importância para o aumento da eficiência do transporte de cargas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 24, p. 241-260, set. 2006.

MEDTEC INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO. **Teste de aderência em grade 2mm**. Disponível em: <https://medtec.com.br/produto/teste-de-aderencia-em-grade-2mm/>. Acesso em: 09 maio 2021

MODAL Rodoviário, História do Transporte rodoviário no Brasil. **CNTTL**, Confederação Nacional dos Trabalhadores em Transportes e Logística. Disponível em: <https://cnttl.org.br/modal-rodoviario>. Acesso em: 15/05/2021

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVANAGH, Roland R. **The Six Sigma Way**: how ge, motorola, and other top companies are honing their performance. New York: McGraw-Hill, 2000.

PINTO NETO, Gilberto Rodrigues. **Desenvolvimento de projeto piloto a partir da metodologia seis sigma e método DMAIC para redução de falhas no setor de pintura de estaleiro náutico**. 2018. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

POR QUE o Brasil depende tanto do transporte rodoviário? **G1**, 24 mai. 2018. Economia. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/por-que-o-brasil-depende-tanto-do-transporte-rodoviario.ghtml>. Acesso em: 15 mai. 2021.

PYZDEK, Thomas. **The Six Sigma Project Planner: a step-by-step guide to leading a six sigma project through dmaic**. New York: McGraw-Hill, 2003.

RAHMAN, M. A.; A.K.M., Mohiuddin; HANANI, Abdullah. PAINTING PROCESS IMPROVEMENT THROUGH SIX SIGMA APPROACH IN A MALAYSIAN VEHICLE ASSEMBLY COMPANY. **Trans Tech Publications: Advanced Materials**

RAMOS, Edson M. L. S., ALMEIDA, Silvia dos Santos de, ARAÚJO, Adrylaine dos Reis. **Controle Estatístico da Qualidade**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

**Research**. Switzerland, p. 596-600. jul. 2015. Disponível em: <https://www.scientific.net/AMR.1115.596>. Acesso em: 03/05/2021

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo qualidade padrão seis sigma**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SANTOS, Adriana Barbosa; MARTINS, Manoel Fernando. Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 43-56, jan. 2008.

SHANKAR, Rama. **Process Improvement Using Six Sigma: a dmaic guide**. Milwaukee, Wisconsin: Asq Quality Press, 2009.

TRAD, Samir; MAXIMIANO, Antonio Cesar Amaru. Seis Sigma: Fatores Críticos de Sucesso para sua Implantação. **Rac: Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 13, n. 4, p. 647-662, out. 2009. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/rac>. Acesso em: 21 abr. 2021.

WERKEMA, Cristina. **Criando a Cultura Lean Seis Sigma**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. (Série Werkema de Excelência Empresarial). Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595158184/cfi/6/12!/4/2/28@0:0>. Acesso em: 21 abr. 2021.

WERKEMA, Cristina. **Ferramentas estatísticas básicas do lean seis sigma integradas ao PDCA e DMAIC**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595152311/cfi/6/8!/4/2/4@0:0>. Acesso em: 21 abr. 2021.

## **APÊNDICE A - Total de dados coletados para a etapa Medir**

	SÉRIE	LINHA	JATEAMENTO	ADERÊNCIA	CAMADAS				média
					PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	
1	24881	C	Sim	GR0.	43	66	51	51	53
2	24816	C	Sim	GR1.	60	60	65	75	65
3	24847	I	Sim	GR0.	68	55	52	50	56
4	24848	H	Sim	GR1.	36	50	75	82	61
5	25203	H	Sim	GR0.	53	57	56	60	57
6	24974	I	Sim	GR0.	61	65	77	41	61
7	25204	C	Sim	GR0.	65	72	61	66	66
8	24858	H	Sim	GR0.	75	69	51	77	68
9	24914	C	Sim	GR1.	76	71	73	59	70
10	24949	I	Sim	GR0.	88	66	59	45	64
11	24901	C	Sim	GR0.	52	74	37	56	55
12	24859	H	Sim	GR0.	85	67	85	72	77
13	24920	C	Sim	GR0.	62	70	56	75	66
14	24795	H	Sim	GR0.	67	51	75	61	64
15	24945	C	Não	GR3.	70	53	56	54	58
16	24943	C	Não	Desplacamento total	56	76	74	75	70
17	24953	I	Sim	GR0.	63	77	46	48	59
18	24944	C	Sim	GR0.	83	69	53	66	68
19	25022	H	Sim	GR0.	44	51	88	51	58
20	24882	C	Sim	GR0.	55	67	57	45	56
21	24906	H	Sim	GR0.	66	69	57	53	61
22	24733	C	Sim	GR2.	78	71	65	70	71
23	24907	H	Sim	GR2.	46	59	66	59	57
24	25067	H	Sim	GR1.	79	44	54	60	59
25	24902	C	Sim	GR0.	61	33	50	42	46
26	24899	H	Sim	GR0.	59	33	67	51	53
27	24956	I	Sim	GR0.	65	56	56	53	57
28	25123	H	Sim	GR0.	67	63	56	52	60
29	24930	H	Sim	GR0.	55	61	80	52	62
30	25078	H	Sim	GR0.	64	49	58	60	58
31	25052	C	Sim	GR0.	73	45	62	78	65
32	24946	C	Sim	GR0.	52	65	75	70	66
33	24998	I	Sim	GR0.	64	61	37	63	56
34	25264	I	Sim	GR0.	59	62	63	60	61
35	24860	C	Sim	GR0.	78	68	48	68	65
36	24721	C	Sim	GR0.	70	62	58	85	69
37	24783	H	Sim	GR0.	67	66	57	35	57
38	24955	I	Sim	GR0.	57	73	64	61	64
39	24481	C	Sim	GR0.	67	55	76	54	63
40	24723	C	Sim	GR0.	85	69	54	45	63
41	25053	C	Não	GR3.	57	54	55	69	59
42	24958	H	Não	Desplacamento total	42	58	35	59	49
43	24976	C	Não	Desplacamento total	56	48	49	60	53
44	24724	H	Não	GR0.	54	70	57	46	57
45	24957	I	Sim	GR0.	62	55	75	60	63
46	24905	H	Não	GR1.	71	56	39	73	60
47	24725	H	Sim	GR0.	77	66	58	67	67
48	24646	H	Sim	GR0.	72	62	61	69	66
49	25320	H	Sim	GR0.	72	63	65	56	64
50	24619	H	Não	GR0.	56	64	56	47	56
51	25011	C	Sim	GR0.	84	72	51	87	73
52	24958	H	Não	GR0.	77	55	54	66	63
53	25066	I	Sim	GR0.	48	76	54	51	57
54	24926	C	Sim	GR0.	60	46	66	65	59
55	24883	H	Sim	GR0.	52	42	63	37	48
56	25050	C	Sim	GR0.	63	96	67	58	71
57	24923	H	Não	GR3.	58	43	52	66	55
58	25023	C	Sim	GR0.	60	81	54	70	66
59	25037	I	Sim	GR0.	54	58	18	57	47
60	25319	C	Sim	GR0.	58	46	63	70	59
61	24866	H	Sim	GR0.	52	51	54	56	53
62	24935	H	Não	GR0.	42	58	73	51	56

63	24925	C	Não	GR0.	39	70	65	67	60
64	25006	I	Não	GR0.	37	38	58	69	51
65	25009	I	Sim	GR0.	54	69	50	72	61
66	25122	H	Sim	GR0.	64	51	71	72	64
67	25038	H	Sim	GR0.	58	79	54	63	63
68	25054	H	Sim	GR0.	65	38	74	69	61
69	25322	I	Sim	GR1.	51	63	56	73	61
70	25221	I	Sim	GR1.	51	60	49	39	50
71	25142	C	Sim	GR2.	44	64	64	78	63
72	25210	H	Sim	GR0.	78	59	58	66	65
73	25068	I	Sim	GR1.	38	48	56	59	50
74	25222	H	Sim	GR0.	80	43	45	69	59
75	25070	C	Sim	GR0.	79	71	73	86	77
76	24915	H	Sim	GR0.	57	73	42	44	54
77	25093	C	Sim	GR0.	76	65	68	47	64
78	25146	C	Não	GR3.	66	59	60	67	63
79	24916	H	Sim	GR0.	69	67	56	59	63
80	25082	I	Sim	GR0.	47	38	71	52	52
81	25147	C	Sim	GR0.	67	46	57	75	61
82	25148	C	Sim	GR0.	65	45	66	56	58
83	24994	C	Sim	GR0.	84	77	56	67	71
84	24917	H	Sim	GR0.	60	52	57	56	56
85	25177	C	Sim	GR0.	67	60	59	57	61
86	24940	H	Sim	GR0.	48	56	25	44	43
87	24941	H	Sim	GR0.	36	63	58	71	57
88	25084	I	Sim	GR0.	61	56	76	63	64
89	25077	I	Sim	GR0.	41	76	66	48	58
90	25085	I	Sim	GR0.	39	70	57	58	56
91	25267	H	Sim	GR0.	50	60	54	64	57
92	24149	C	Sim	GR0.	73	72	55	55	64
93	24919	H	Sim	GR0.	61	63	54	60	60
94	24918	H	Sim	GR0.	58	46	45	40	47
95	25196	C	Sim	GR0.	51	50	52	40	48
96	24971	H	Sim	GR0.	39	101	55	48	61
97	25185	C	Sim	GR0.	50	51	59	75	58
98	25290	C	Sim	GR0.	56	61	52	87	64
99	25197	C	Sim	GR0.	71	50	78	44	61
100	25289	C	Sim	GR0.	57	43	66	92	64
101	25178	I	Sim	GR0.	73	72	76	75	74
102	24936	H	Sim	GR0.	55	63	60	66	61
103	25008	H	Sim	GR0.	56	80	77	82	74
104	25102	I	Sim	GR0.	62	56	40	56	54
105	25116	I	Sim	GR0.	74	47	65	57	61
106	25141	I	Sim	GR0.	81	63	65	51	65
107	25103	I	Sim	GR0.	62	45	54	52	53
108	25115	I	Sim	GR0.	43	56	60	57	54
109	25111	H	Sim	GR0.	65	61	64	67	64
110	25095	H	Sim	GR0.	65	61	52	54	58
111	25294	H	Sim	GR0.	81	63	57	88	72
112	25396	C	Não	Deslocamento total	43	73	50	78	61
113	25143	I	Não	GR3.	56	49	44	65	54
114	25184	I	Não	GR2.	48	51	52	60	53
115	25292	C	Sim	GR0.	65	66	53	72	64
116	25401	C	Sim	GR0.	73	41	42	69	56
117	25420	C	Sim	GR0.	59	55	62	69	61
118	25293	H	Sim	GR0.	53	62	63	53	58
119	25291	C	Não	GR1.	87	53	58	50	62
120	25102	I	Não	GR1.	62	67	54	66	62
121	25117	I	Sim	GR1.	57	52	52	54	54
122	25256	C	Sim	GR0.	56	61	76	51	61
123	25099	C	Sim	GR0.	80	71	58	53	66
124	25055	H	Sim	GR0.	69	54	41	62	56
125	25962	H	Sim	GR0.	53	57	67	60	59
126	25179	C	Sim	GR0.	44	54	44	48	47



127	24867	H	Sim	GR0.	37	63	61	55	54
128	25118	I	Sim	GR0.	45	43	43	62	48
129	25192	I	Sim	GR0.	55	64	60	63	61
130	25180	C	Sim	GR0.	82	60	74	46	65
131	25119	I	Sim	GR0.	67	70	50	65	63
132	25181	C	Sim	GR0.	74	52	55	53	58
133	25060	H	Sim	GR0.	67	50	69	38	56
134	24997	H	Sim	GR0.	37	48	63	65	53
135	25114	I	Sim	GR0.	48	62	78	70	65
136	25394	C	Sim	GR0.	67	39	63	68	59
137	25132	I	Sim	GR0.	36	38	78	60	53
138	25131	I	Sim	GR0.	58	40	64	79	60
139	25182	C	Sim	GR0.	71	54	67	65	64
140	24981	H	Sim	GR0.	50	75	44	65	59
141	25227	C	Sim	GR0.	76	66	51	46	60
142	25194	C	Sim	GR0.	40	62	51	67	55
143	25133	I	Sim	GR0.	34	62	68	65	57
144	25040	H	Sim	GR0.	59	62	48	60	57
145	25136	I	Sim	GR0.	70	63	57	62	63
146	25135	I	Sim	GR0.	50	37	79	65	58
147	25134	I	Sim	GR0.	64	58	81	67	67
148	25071	C	Sim	GR0.	74	50	70	62	64
149	25041	H	Sim	GR0.	59	48	56	49	53
150	25195	C	Sim	GR0.	47	68	57	54	57