



FACULDADES  
**DOM BOSCO**

**JOÃO VICTOR GRAVA DOS SANTOS  
MATHEUS TEÓFILO SASSAKI**

**Controle Estatístico de Processos na Fixação de Vidros Automotivos: Um Estudo de Caso**

Resende - RJ  
2022

**ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DOM BOSCO  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE RESENDE**

**João Victor Grava dos Santos  
Matheus Teófilo Sasaki**

**Controle Estatístico de Processos na Fixação de Vidros Automotivos: Um Estudo de Caso**

Trabalho de Graduação apresentado à  
Associação Educacional Dom Bosco,  
Faculdade de Engenharia de Resende, Curso  
de Engenharia Mecânica, como requisito  
parcial para obtenção do diploma de Bacharel  
em Engenharia Mecânica

Resende - RJ  
2022

Catálogo na fonte  
Biblioteca Central da Associação Educacional Dom Bosco – Resende-RJ

S237 Santos, João Victor Grava dos  
Controle estatístico de processos na fixação dos vidros automotivos /  
João Victor Grava dos Santos; Matheus Teófilo Sasaki - 2022.  
46f.

Orientador: Nilson Rodrigues da Silva

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à  
finalização do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de  
Engenharia de Resende da Associação Educacional Dom Bosco.

1. Engenharia mecânica. 2. Vidros automotivos. 3. CEP. 4. Controle  
Estatístico de Processos. 5. Indústria automotiva. I. Sasaki, Matheus  
Teófilo. II. Silva, Nilson Rodrigues da. III. Faculdade de Engenharia de  
Resende. IV. Associação Educacional Dom Bosco. V. Título.

CDU 629.3.023.26(043)

**JOÃO VICTOR GRAVA DOS SANTOS  
MATHEUS TEÓFILO SASSAKI**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

**BANCA EXAMINADORA:**

**Prof.:** Nilson Rodrigues da Silva  
**Orientador**

Prof.: Haroldo Costa  
Membro da Banca

Profa: Poliana Grandi  
Membro Externo

Novembro 2022

dedicamos este trabalho  
de modo especial, às nossas famílias

## AGRADECIMENTOS

Seria impossível reconhecer a todos que merecem. Como aos que, de certa forma, mesmo que minimamente, estiveram ligados a nós. Ou então, aos que guiaram e incentivaram a seguir em frente, não apenas no desenvolvimento deste projeto, mas sim em todo e qualquer desenvolvimento pessoal e profissional desde o início de nossas vidas que nos trouxeram até aqui.

Portanto, gostaríamos também de deixar uma reflexão: a pandemia nos mostrou que nem sempre podemos nos dar ao luxo do tempo para agradecer a quem merece. Devemos fazê-lo sempre que tivermos a oportunidade, sempre que pudermos. Frases como “obrigado”, “amo você” ou “tenho orgulho de você” podem não ter outra oportunidade de serem ditas.

Para todos aqueles que acreditaram de alguma forma em nós, muito obrigado, em especial às nossas famílias e amigos mais próximos que sempre estiveram conosco.

Especial também ao coordenador do curso de Engenharias, Nilson Rodrigues da Silva, que mediante as nossas dificuldades, mesmo com a sua alta carga de trabalho proveniente das responsabilidades de um coordenador, aceitou tomar nossa orientação na reta final do curso e que, sem dúvidas, foi vital para que pudéssemos concluí-lo.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

Marthin Luther King

## RESUMO

O controle estatístico de processo (CEP) é um método de controle de variáveis ou atributos, muitas vezes aplicados em linhas de produção industrial. Por meio de análise e monitoramento de indicadores do processo de produção, o CEP visa a padronização e otimização dos processos, favorecendo um aumento na qualidade, redução da incidência de falhas e, como consequência, de retrabalhos e custos. O presente estudo tem como objetivo o estudo de caso do fluxo de implementação do CEP através de cartas de controle no processo de aplicação do cordão de cola em vidros de uma montadora de automóveis no interior do Rio de Janeiro. Ao término dos cálculos e geração dos gráficos, avalia-se de forma mais clara o comportamento, tendência e variação dos dados das variáveis escolhidas do processo de colagem, garantindo uma maior eficiência comprovada através da estatística. Como resultado, pode-se concluir que o processo se encontra preparado para receber este tipo de controle da qualidade, aumentando assim a confiabilidade no produto final por intermédio do monitoramento dos dados pelo time de engenharia da empresa em questão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle Estatístico de Processos. Fixação de vidros automotivos. Qualidade. Monitoramento. Processo.

## **ABSTRACT**

Statistical process control (SPC) is defined as the use of statistical techniques to control a process or production method. SPC tools and procedures can help check process behavior, discover issues in internal systems, and find solutions for production issues. This article will study SPC implementation through Control charts and application of a specific task. For this study we will use the process involved for bonding a windscreen to a car on the production line of a car manufacturer in the countryside of Rio de Janeiro. On completion of the calculations and generation of the graphs, the behavior, trend and variation of the data obtained from the chosen variables will be evaluated. If it is proven this method supplies satisfactory results the process could well be implemented at other stages of production. This in turn could result in greater efficiency and lower production costs without compromising safety and or quality.

**KEYWORDS:** Statistical process control. Car windscreen bonding. Quality. Monitoring. Process.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Relação de custos durante a implementação de um programa de melhoria.....	14
Figura 2 – Exemplo de gráfico de controle simples .....	17
Figura 3 – Limites das amplitudes .....	21
Figura 4 – GlazingCell 02 .....	26
Figura 5 – Cordão de cola .....	27
Figura 6 – Gráfico de controle – altura .....	38
Figura 7 – Gráfico de controle – largura .....	39
Figura 8 – Gráfico de controle para amplitude - altura.....	40
Figura 9 – Gráfico de controle para amplitude - largura.....	40
Figura 10 – Gráficos gerados por Tabela 15 .....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de Cp.....	24
Tabela 2 – Valores de $d_2$ .....	29
Tabela 3 – Medições por operador 1 (altura) .....	30
Tabela 4 – Medições por operador 2 (altura) .....	30
Tabela 5 – Medições por operador 3 (altura) .....	31
Tabela 6 – Médias de médias e amplitudes (altura).....	31
Tabela 7 – Valores de $d_2$ .....	32
Tabela 8 – Medições por operador 1 (largura) .....	34
Tabela 9 – Medições por operador 2 (largura) .....	35
Tabela 10 – Medições por operador 3 (largura) .....	35
Tabela 11 – Médias de médias e amplitudes (largura).....	35
Tabela 12 – Amostras em relação a altura.....	37
Tabela 13 – Amostras em relação a largura.....	37
Tabela 14 – Cp e Cpk da carta.....	41
Tabela 15 – Exemplo de tabela (variável altura).....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEP	Controle Estatístico de Processos
SPC	Statistical Process Control
SQC	Statistical Quality Control
LIC	Limite Inferior de Controle
LSC	Limite Superior de Controle
LC	Linha Central
R&R	Repetibilidade e Reprodutibilidade

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{x}$	média
R	amplitude
$\sigma$	desvio padrão
C <sub>p</sub>	capacidade potencial
C <sub>pk</sub>	índice de performance
d <sub>2</sub>	fator de ponderação
$\sigma_{\text{repe}}$	desvio de repetibilidade
$\sigma_{\text{repro}}$	desvio de reprodutibilidade
$\sigma_{\text{med}}$	desvio médio
$\sigma_{\text{proc}}$	desvio do processo
$\sigma_{\text{tot}}$	desvio total
%R&R	porcentagem de tolerância

## SUMÁRIO

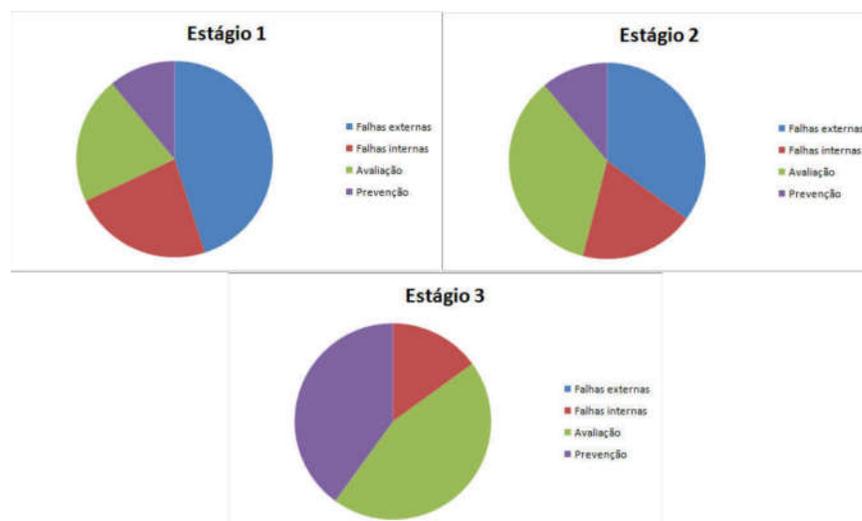
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	16
2.1	QUALIDADE NO PROCESSO PRODUTIVO .....	16
2.2	CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO .....	18
2.2.1	CARTA DE CONTROLE .....	18
2.2.2	ANÁLISE DE CAUSAS – COMUNS E ESPECIAIS .....	20
2.3	ESTABILIDADE E CAPACIDADE DO PROCESSO .....	22
2.4	ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO .....	22
2.4.1	ÍNDICE: CP .....	23
2.4.2	ÍNDICE: CPK.....	24
2.5	REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE .....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	26
3.1	CENÁRIO E INFORMAÇÕES INICIAIS .....	26
3.2	DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO .....	27
3.2.1	ANÁLISE MSA – R&R PARA O PAQUÍMETRO ELETRÔNICO .....	28
3.2.2	DEFINIÇÃO DA AMOSTRA E COLETA DE DADOS.....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
4.1	CÁLCULO E VALIDAÇÃO DOS LIMITES.....	38
4.2	CÁLCULO DOS ÍNDICES – Cp e Cpk.....	40
4.3	APLICAÇÃO DA CARTA GERADA.....	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	43
<b>6</b>	<b>INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45
	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2005), os custos de processos podem ser divididos em quatro categorias, sendo elas o custo com falhas externas, que engloba substituição, assistência técnica e perda de clientes, o custo com falhas internas, que engloba o retrabalho, refugo e ações corretivas, o custo com prevenção, sendo ele o treinamento pessoal e o monitoramento de processos. Por fim, o custo com avaliação, que é todo custo relacionado a avaliar o cumprimento das especificações dos processos.

Considerando estas quatro categorias, é possível traçar gráficos do que se espera da implementação de um programa de melhoria contínua em uma linha de produção em três estágios, como mostrado na Figura 1, que mostra uma redução de custos durante a implementação de um programa de melhoria contínua. No primeiro estágio os custos com falhas internas e externas representam um valor próximo a 70% dos custos totais. No segundo estágio, a empresa responsável investiu na avaliação dos seus processos, resultando em uma diminuição dos custos relacionados a falhas. Por fim, no terceiro estágio, acontece o investimento em prevenção, diminuindo drasticamente as falhas internas e falhas externas desaparecem, como citado por Costa, Epprecht e Carpinetti (2005).

Figura 1 - Relação de custos durante a implementação de um programa de melhoria contínua.



Fonte: Autor

O custo total relacionado ao processo tende a ser reduzidos, visto que os custos com falhas no primeiro estágio superam em muito os custos com avaliação e prevenção no terceiro estágio.

Para o trabalho em questão, será estudado e desenvolvido a aplicação de normas e ferramentas estatísticas necessárias para a validação de um processo ao qual se deseja implementar um controle estatístico através de cartas de controle. O objeto de estudo, será uma indústria automotiva da região sul fluminense. O processo escolhido é a aplicação do cordão de cola triangular nos vidros dos veículos, operação realizada de forma automática por um conjunto de robôs.

O processo foi selecionado como alvo do estudo tendo em vista a sua criticidade tanto no processo produtivo (manufatura) quanto para o cliente final, uma vez que pode afetar a segurança durante a dirigibilidade além de um alto impacto em qualidade percebida caso uma eventual falha seja detectada, como por exemplo, entrada d'água. Além disso, há uma grande variabilidade conhecida por outras plantas que podem afetar a qualidade na própria planta, comprometendo indicadores de desempenho como o score card (qualidade) e também scrap (dinheiro gasto com desperdício de peças e retrabalhos).

O problema do estudo será o desenvolvimento e implementação de uma carta CEP no processo em questão, tendo como objetivo geral melhorar a confiabilidade da qualidade do processo, reduzindo não conformidades na aplicação da cola de fixação dos vidros, e objetivos específicos a geração de gráficos de controle para as variáveis trabalhadas e a implementação do CEP no processo.

Serão utilizados procedimentos, instruções e norma locais, para selecionar e definir quais variáveis deverão ser estudadas para cumprir com o objetivo final de termos um controle estatístico desenvolvido e implementado para este processo, contribuindo para que a planta em questão possa contar com um novo controle de qualidade que auxiliará de forma significativa no monitoramento do comportamento e tendências do processo, características que contribuem diretamente para a redução na taxa de falhas e reparos, que por consequência podem reduzir qualquer eventual gasto com reparos nesse tipo de operação que tendem a serem muito invasivos, demorados e inevitavelmente mais caros.

Serão utilizadas as diretrizes de engenharia, tais como os conceitos e ferramentas do *Lean Manufacturing*, que guiam para um processo que atue na prevenção de falhas e não na correção delas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 QUALIDADE NO PROCESSO PRODUTIVO

Em qualquer empresa que tenha sob responsabilidade um produto que deva atender as expectativas de qualidade desejadas por seus clientes, é fundamental ter o conhecimento das principais variáveis de entrada do produto (*inputs*), o processo de transformação, e a saída do produto (*outputs*). Para Deming (2000), qualidade significa atender e, se possível, exceder as expectativas do consumidor. Além disso, tais conhecimentos e controles acerca das variáveis de seu processo se tornam cada vez mais exigentes a medida com que a expectativa de qualidade percebida dos clientes finais cresce quanto ao produto ou serviço.

Também para Deming (2000), um produto que receba um maior valor agregado de processos e controles da qualidade, deve assim corresponder em qualidade percebida para atingir as expectativas do cliente final, para então fazê-lo confiar na marca e sentir que o produto recebido de fato merece o valor que fora investido.

De acordo com o grupo Werkema (2011), o processo se resume a uma combinação de fatores que cercam as próprias variáveis do processo, sendo elas equipamentos, insumos, procedimentos, condições ambientais, recursos humanos, financeiros e intelectuais, todos organizados da maneira mais robusta e eficiente possível em prol da fabricação de um bem ou fornecimento de um serviço.

Para Taguchi (1999), a produção, o uso e o descarte de um produto sempre acarretam prejuízos (“perdas”) para a sociedade; quanto menor for o prejuízo, melhor será a qualidade do produto. Portanto, para agir de forma preventiva ao invés de reativa no processo produtivo, surgem ferramentas que favorecem o controle dos *inputs* de uma fabricação, e não somente o produto final.

Seguindo os princípios de Graeml e Peinado (2013), o Controle Estatístico do Processo (CEP) é um método que visa atuar no processo de forma preventiva visto que, através de dados obtidos de estudos científicos da variável, é possível identificar variações e tendências antes mesmo que o fator controlado acabe por afetar a qualidade do produto final ao extrapolar os limites estabelecidos como aceitáveis.

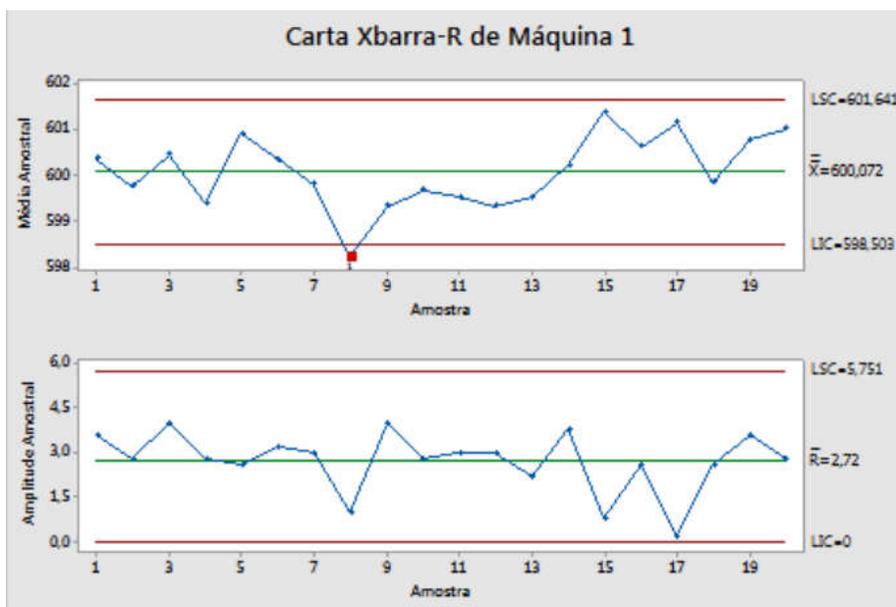
De acordo com Werkema (2011), todo e qualquer processo produtivo está sujeito a variabilidade na sua execução. Ou seja, independente do empenho em tornar o processo o mais robusto possível, mesmo que a característica não precise ser extremamente controlada, sempre estaremos sujeitos a variações que serão traduzidas como dispersões no produto final.

Como enfatizado por Siqueira (1997), os gráficos de controle obtidos através do CEP passam a ser uma ferramenta útil e muito importante utilizada para monitorar e estudar o comportamento de um dado processo. É necessário analisar os dados a fim de entender a origem das variações, ou seja, se são causas comuns de variação, ou se podem ser classificadas como “causas especiais”, que devem ser identificadas por intermédio da análise da carta de controle e então excluídas do processo.

De acordo com Montgomery e Runger (2009), o gráfico de controle pode ser conceituado como sendo “uma disposição gráfica de uma característica de qualidade [...] usada para monitorar um processo” e tem, como seu princípio base, dados estatísticos tais como a média amostral, o desvio padrão e dentre outras. O gráfico de controle mais simples apresenta a linha central, que poderia ser traduzido como o “nominal da variável”, e os limites de controle, superior e inferior (LSC – Limite Superior de Controle e LIC – Limite Inferior de Controle).

Ainda de acordo com Montgomery (2009), as variáveis de controle devem ser características que podem ser expressas em valores numéricos, a exemplo de: diâmetro, massa, volume, dentre outros. Na Figura 2, tem-se um exemplo de gráfico de controle simples, para  $\bar{x}$ (média) e para amplitude (R).

Figura 2 – Exemplo de gráfico de controle simples



Fonte: Minitabsupport (© 2022 Minitab)

## 2.2 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Conforme supracitado, o CEP é uma ferramenta de qualidade essencial no processo produtivo, pois auxilia de forma preventiva as empresas a aumentar a confiabilidade de seu produto ao monitorar as variáveis do processo por meio das cartas de controle. Conforme explicado por Paladini (2009), o CEP tem como princípio básico controlar a variabilidade e produzir indicadores positivos quanto aos indicadores de qualidade visto que melhora a estabilidade do processo e pode gerar alertas prévios de que a variável monitorada tende a não conformidade.

Ao utilizar de dados estatísticos, os colaboradores das organizações que utilizam dessa ferramenta têm a oportunidade de buscar a melhoria contínua da qualidade e produtividade. Após o envolvimento e conscientização da sua aplicação, uma empresa tende a sempre aplicar tal ferramenta em diversos processos a fim de obter a maior eficiência e menor desperdício, também de acordo com Paladini (2000).

### 2.2.1 CARTA DE CONTROLE

A carta de controle é a tradução visual dos dados obtidos e plotados das variáveis em análise. Portanto, passa a ser a ferramenta direta para a análise do comportamento de um processo, visto que através dela são analisadas as dispersões, a variabilidade, as não conformidades, a tendência, e dentre outros fatores que contribuem para a aplicação robusta do CEP em um processo produtivo. De acordo com Sander (2021), são necessários 6 passos que devem ser seguidos em ordem a fim de obter-se a carta de controle com veracidade dos limites inferior e superior, sendo eles listados a seguir.

- Passo 1: Inicialmente, deve-se definir a amostra com base na nossa população. Nesse passo, é necessário entender o volume total e definir uma sequência de amostras proporcional e que seja condizente, a fim de garantir a robustez dos dados que serão obtidos, não se deixando influenciar pelo processo que pode estar em tendência em um determinado período de tempo.
- Passo 2: Com base nos dados obtidos, o segundo passo é definir o tipo de carta que será aplicado, mediante a variável que será controlada. Segundo Costa et al. (2012), uma vez que a variável é contínua, é usual que o monitoramento do

processo seja realizado por dois gráficos de controle. Para antecipar a aplicação do estudo que se dará em sequência, trabalhar-se-á com as cartas de controle de variável (valores numéricos), ao contrário de controle de atributos (classificações absolutas como, por exemplo, “OK” ou “NOK”).

- Passo 3: Por se tratar de uma análise amostral menor que 10 fatores (<10 amostras), deve-se calcular os valores de média e amplitude de cada amostra, para definir os valores padrões tido como a tendência central (ou nominal) do processo que deve estar sob controle nessa etapa de execução. Em seguida, deve-se obter a média das médias (ou média geral =  $\bar{x}$ ) e a média das amplitudes ( $\bar{R}$ ) através de média aritmética (somatório de todos os valores divididos pelo total de fatores somados).Atualmente, tem-se softwares que auxiliam na obtenção desses valores, a exemplo do Excel ou Minitab.
- Passo4: O quarto passo, consiste em calcular o desvio padrão, que posteriormente servirá para definir os limites de controle. Tal valor é obtido através da razão entre a média das amplitudes e  $d_2$ , sendo  $d_2$  uma constante estatística tabelada que pode ser obtida através do tamanho do subgrupo e os divisores para estimativa.
- Passo 5: Com os dados calculados até agora, segue-se para o quinto passo, onde pode-se então calcular o LIC, o LSC e também a linha média (LM), por meio de expressões estatísticas, retratadas nas Equações 1, 2, 3, para limites das médias e as Equações 4 e 5 para os limites das amplitudes.

$$LSC_X = \bar{X} + A_2 R \quad (1)$$

$$LM = \frac{\sum X}{n} \quad (2)$$

$$LIC_X = \bar{X} - A_2 R \quad (3)$$

$$LSC_R = R D_4 \quad (4)$$

$$LIC_R = RD_3 \quad (5)$$

- Passo 6: As linhas centrais para o gráfico de média e amplitude são as próprias médias obtidas no passo 3. Em posse dos valores de todas as linhas calculadas estatisticamente, pode-se plotar os gráficos que dará forma ao gráfico de controle de  $\bar{x}$  e  $\bar{R}$ .

Sendo que:  $A_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$ , são constantes tabeladas, a serem obtidas de acordo com o número de elementos da amostra ( $n$ ) que estão contidos nos subgrupos de amostra.

Em casos que o resultado obtido do limite inferior de controle médio da amplitude seja negativo, deve adotar-se este valor como zero, visto que segundo Costa et al. (2012), por definição não há amplitude negativa, portanto, significa que há uma ausência de limite inferior.

Seguindo as diretrizes de Costa et al. (2012), no caso de algum dos valores extrapolar os limites de controle estabelecidos, um trabalho de investigação acerca dos fatores que influenciam na variável de controle deve ser realizado a fim de eliminar este subgrupo amostral, visto que pode se tratar de uma causa especial, tópico que será abordado com mais detalhes em seguida. No caso de muitos subgrupos serem removidos a partir desse critério, uma nova coleta deve ser realizada seguindo as mesmas considerações citadas anteriormente, e uma nova sequência de cálculos de controle e médias amostrais deve ser empreendida.

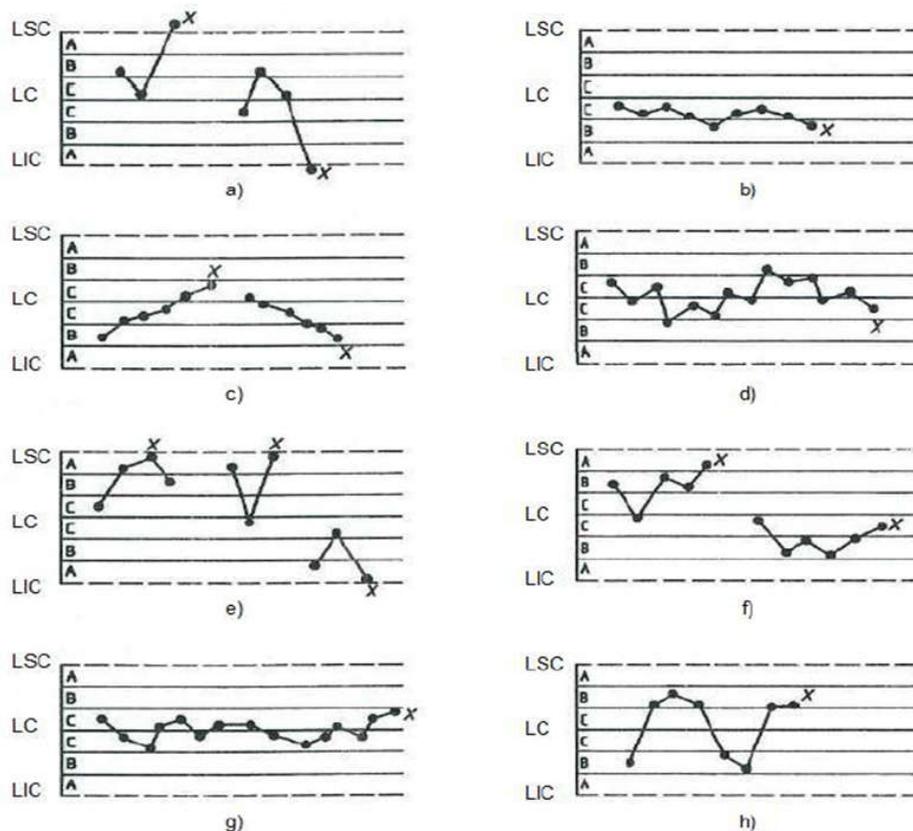
### 2.2.2 ANÁLISE DE CAUSAS – COMUNS E ESPECIAIS

Com base nas constatações de Montgomery (2009), causas comuns são as variáveis que sempre estarão inerentes ao processo. Em outras palavras, são as variáveis ao qual o processo sempre estará submetido, portanto são consideradas “causas comuns”. Naturalmente, ocorrer por perturbações de menor escala e não serão responsáveis por retirar o processo do seu estado dito como “controlado”. Já as causas especiais, são variações que podem ocorrer em ordem de maior grandeza do que as causas comuns e, por consequência disso, tendem a tornar o processo analisado fora de controle.

Pode-se assumir que um processo está “sob controle” para aquele que apresenta conformidade na distribuição das amostras ao decorrer da carta de controle, ou seja, apresenta valores dentro dos limites de controle calculados com padrões de aleatoriedade, demonstrando que o processo varia (devido as causas comuns), porém não o suficiente para extrapolar alguns dos limites estabelecidos.

A norma ISO 8258, de 2001, nos apresenta situações as quais o processo não é tido como sob controle. Dentro delas, há diversas possibilidades além de somente “uma amostra extrapolar os limites”, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Limites das amplitudes



Fonte: NBR:ISO 8258 (2001).

A norma ISO 8258 (2001) trata como causas especiais as seguintes ocorrências: um ponto que exceda os limites de controle (Figura 3 a), nove pontos consecutivos do mesmo lado da linha central (Figura 3 b), seis pontos consecutivos apresentando uma mesma tendência, somente para cima ou para baixo, como está apresentado na Figura 3 c, catorze pontos em sequência crescendo e descendo de modo alternado em referência a linha central (Figura 3 d), dois de três pontos consecutivos na zona A do mesmo lado da linha central (Figura 3 e), quatro de cinco pontos consecutivos na zona A ou B do mesmo lado da linha central, quinze pontos consecutivos na zona C (Figura 3f) ou então oito pontos de ambos os lados da linha central com nenhum na zona C (Figura 3g e Figura 3h).

Apesar de contra-intuitivo, isto mostra que nem sempre os valores das médias estarem

dispostas entre os limites bastam para definir tal processo como “sob controle”, isso porque diversos comportamentos diferentes podem estar ligados a fatores externos influenciando na acuracidade do gráfico de controle. A exemplo, Vieira (2012) comenta que a periodicidade ou a tendência são fatores que podem acender um alerta quanto a necessidade de ter um olhar crítico ao processo e aos valores que estão sendo inseridos, como por exemplo: a característica de periodicidade pode ser atribuída devido a diversos pontos ascendentes ou descendentes na carta em intervalos regulares de tempo, que podem estar ligadas a fatores externos como trocas de matéria-prima, máquinas e operadores, ou então em condições de funcionamento externas como pressão, temperatura e volume.

Portanto, é fundamental a plena ciência das características apresentadas em causas especiais, além de sempre manter o olhar crítico a tendência que se seguem os dados que estão sendo inseridos. Tais cuidados se mostram necessários na manutenção de um processo robusto e confiável sob a óptica de um gráfico de controle.

### 2.3 ESTABILIDADE E CAPACIDADE DO PROCESSO

De acordo com Rotondaro (2002), todo método de controle estatístico tem como objetivo determinar e avaliar a estabilidade do processo estudado, monitorando seus parâmetros e variações ao longo do tempo. Essa questão é trazida de forma mais específica no estudo que descreve a capacidade do processo.

Contudo, seria possível determinar com precisão que um processo cujo comportamento é conhecido deve sempre gerar itens ou produzir serviços atendendo as especificações determinadas pelos clientes? Segundo Werkema (1995) é possível que um processo cuja variabilidade é controlada e previsível produzir itens defeituosos, tornando-se necessário avaliar a capacidade do processo em atender as especificações determinadas.

Ainda para Werkema (1995), mediante a essa necessidade, surge o termo “Capacidade”. A capacidade pode ser definida como a medida de variabilidade de um processo estável em relação às especificações de projeto. Ou seja, tal conceito está relacionado com a aptidão de um processo de produzir seus produtos de maneira a atender as devidas especificações de engenharia.

### 2.4 ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO

Os índices de capacidade do processo são os responsáveis por mostrar de forma mais clara e objetiva qual é a situação em que o processo monitorado se encontra. Através deles, é possível avaliar se um processo é capaz de atender as especificações determinadas pelos clientes internos e externos. Como citado por Montgomery (1997) e Deleryd (1999), é possível determinar e monitorar 4 índices de capacidade do processo, sendo eles:  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{pm}$  e  $C_{pmk}$ . Para o presente estudo, com objetivo de manter a funcionalidade prática destes índices, serão calculados os índices de  $C_p$  e  $C_{pk}$ .

#### 2.4.1 ÍNDICE: $C_p$

Chamado de índice de capacidade potencial do processo, ele considera que o processo em análise está apresentando resultados centrados no valor nominal da especificação. Para a determinação do valor de  $C_p$ , tendo em vista a presença da característica de qualidade com distribuição bilateral, podemos utilizar a Equação 6, em que LSE representa o limite superior da especificação, o LIE o limite inferior de especificação e  $\sigma$  é o desvio-padrão do processo.

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

Uma das funções deste índice é estabelecer uma relação entre a variabilidade que seria aceita ao processo (tendo tais valores sendo definidos no projeto) e a variabilidade natural inerente do processo. Portanto, em uma análise simples, pode-se concluir que quanto maior for o valor calculado para  $C_p$ , maior será a capacidade do processo de corresponder às expectativas determinadas de projeto, contando que a meda tenda a estar centralizada no valor nominal especificado. Conforme citado em Montgomery (2004), foi possível estabelecer uma regra estatística prática para analisar o índice gerado conforme os valores obtidos, podendo identificar a robustez do processo através de 3 intervalos definidos e apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de Cp

Cp	Itens não conformes (PPM)	Interpretação
$Cp < 1$	Acima de 2700	Processo incapaz
$1 \leq Cp \leq 1,33$	64 a 2700	Processo aceitável
$Cp \geq 1,33$	Abaixo de 64	Processo potencialmente capaz

Fonte: Montgomery (2004)

Entretanto, o índice Cp não leva em conta a localização e o deslocamento dos valores obtidos, em outras palavras, por estar embasado somente na relação entre a amplitude e o intervalo de especificação e da variabilidade inerente do processo durante o cálculo, é possível que para um determinado valor obtido para Cp, apesar de os resultados parecerem confiáveis, possua um determinado percentual de itens não conformes a especificação. Em resumo, o índice Cp nos passa a idéia de capacidade de processo com referência a precisão, porém não a exatidão.

#### 2.4.2 ÍNDICE: Cpk

Mediante as possíveis inconsistências e interpretação subjetiva do índice Cp, Kane (1986) propõe um novo índice de desempenho: o Cpk. Neste índice, é levada também em consideração a distância da média do processo com relação aos limites especificados, o que por sua vez retira a subjetividade e a possibilidade de se deparar com resultados que apresentem boas precisas, porém estão deslocados dos limites e conseqüentemente não trazem de fato a exatidão necessária para o processo. Para a obtenção do resultado deste índice é possível utilizar a Equação 7 apresentada a seguir, que mais uma vez apresenta os valores de limites de especificação (LIE e LSE) e também o desvio padrão, representado por  $\sigma$ :

$$C_{pk} = \text{MIN} \left( \frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right) \quad (7)$$

Agora com o Cpk pode-se chegar a diferentes conclusões quanto a estabilidade do processo, como por exemplo: se o processo estiver centrado no valor nominal de especificação, tem-se que  $C_p = C_{pk}$ . Porém, caso  $C_p$  seja diferente de  $C_{pk}$ , pode-se concluir que o processo está descentralizado, ou seja, apesar dos valores serem traduzidos em uma boa precisão (boa repetibilidade estatística), não arremete uma exatidão robusta que cumpra com as especificações de projeto. De qualquer forma, a análise da robustez do Cpk pode ser realizada com a mesma tabela utilizada para os valores obtidos de  $C_p$ , visto que a análise da capacidade do processo é feita usando-se estes dois índices de forma conjunta.

## 2.5 REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE

De acordo com a AIAG (2010), as organizações cada vez mais demonstram sua preocupação com a qualidade e acuracidade da medição e coleta de dados. A análise estatística dos dados muitas vezes é utilizada no controle estatístico da qualidade, com o objetivo de garantir que os processos realizados pela empresa estão conforme os padrões estabelecidos e esperados, ou até mesmo se entre si as variáveis apresentam correlação.

A qualidade dos dados obtidos é fundamental para garantir uma boa robustez no sistema de coleta de dados e também nos controles que serão inseridos para garantir determinadas características de um processo em meio produtivo, portanto, fez-se necessária o desenvolvimento de ferramentas que sirvam como suporte para verificar a acuracidade e robustez dos dados e ferramentas que estarão sendo trabalhados mediante ao processo escolhido.

A análise do sistema de medição (MSA), segundo Peruchi et al. (2014) e Al-Refaie e Bata (2010), foi a ferramenta desenvolvida que possibilita o controle estatístico da qualidade, visto que permite avaliar a influência do erro de medição nas variáveis dos processos de fabricação, para quantificar a exatidão, precisão e a estabilidade de um sistema de medição (SAIKAEW, 2018)

Seguindo os princípios ditados pela AIAG (2010), o erro do sistema de mediação pode ser caracterizado de acordo com algumas características específicas, sendo eles: Erro Sistemático (Bias e Linearidade) e Erro Aleatório (Repetibilidade e Reprodutibilidade).

Existem múltiplas alternativas para a análise e identificação do erro inferido por variáveis externas ou internas ao processo. Para o trabalho em questão, visto a necessidade de uma aferição manual com dispositivo mecânico que será utilizado para a coleta dos dados que serão trabalhados, será explorado principalmente a característica de análise de Erro Aleatório

(Repetibilidade e Reprodutibilidade – R&R), por meio das análises de Média e Amplitude, visto que abrangerá a característica do dispositivo mecânico utilizado, com a característica de aferição humana que está sujeita a variações naturais.

O exercício para análise de R&R consiste basicamente em um teste amostral com múltiplos operadores realizando múltiplas aferições no produto ou processo que se deseja controlar, utilizando o mesmo dispositivo. Com os valores obtidos e fórmulas estatísticas, é possível correlacionar o erro influenciado pelo dispositivo e também por cada operador, afim de obter-se uma razão que será utilizada como comparação para os dados entre si. Após isso, de acordo com Montgomery (2001), uma análise da porcentagem de erro deve ser realizada para validar se o método de medição escolhido para aquela variável está apto e é robusto para seguir.

### 3 MATERIAIS E METODOS

#### 3.1 CENÁRIO E INFORMAÇÕES INICIAIS

A empresa alvo do estudo de caso possui duas células responsáveis pela aplicação da cola nos vidros de seus veículos, sendo a *Glazingcell 01* responsável pela aplicação do cordão de cola nos vidros panorâmicos e *tailgateglass*, e a *Glazingcell02* responsável pela aplicação nos vidros para-brisas e *rearquarterglass* (vidros fixos nas laterais traseiras). Para a atividade em questão, abordaremos a *Glazingcell 02*, ilustrada na Figura 4.

Figura 4 – GlazingCell 02

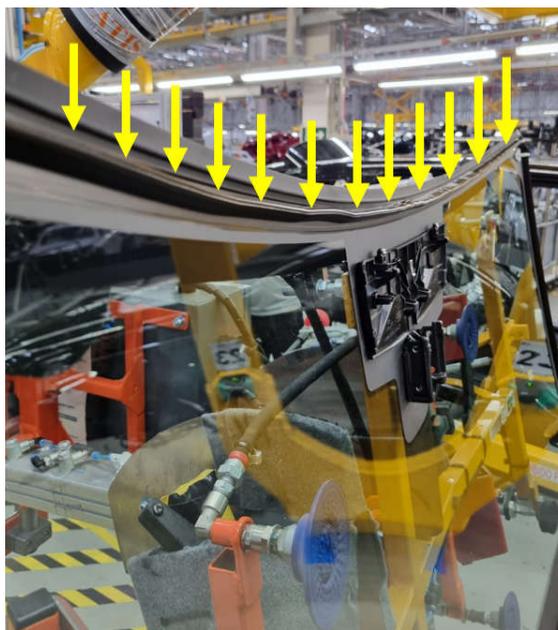


Fonte: Autor

O objetivo é implementar o controle de qualidade apresentado (CEP) nas variáveis de altura e largura do cordão de cola (Figura 4) durante a sua aplicação. Apesar de serem vidros diferentes e em modelos distintos, o bico de aplicação do cordão e a pressão aplicada são padronizados, portanto podem-se utilizar os dados de ambos os vidros para gerar os gráficos de controle nas variáveis escolhidas.

Na Figura 5 está apresentado o cordão de cola.

Figura 5 – Cordão de cola



Fonte: Autor

A especificação de engenharia dessas variáveis pode ser consultada no material de suporte da engenharia de processos (*Bill of process*). Diante dos valores estipulados de engenharia (12mm para altura e 8mm para largura com tolerância de +/- 2.0mm). Estes dados permitirão definir os limites de controle a serem monitorados pelo gráfico.

### 3.2 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO

Visto que as variáveis escolhidas (altura e largura) são classificadas como “dados variáveis”, ou seja, possuem atributos mensuráveis de forma numérica e não absoluta, será estudada a aplicação dos gráficos de controle de média ( $\bar{x}$ ) e da amplitude (R). Desta forma, será possível, monitorar a centralidade e dispersão das aplicações.

### 3.2.1 ANÁLISE MSA – R&R PARA O PAQUÍMETRO ELETRÔNICO

Qualquer dispositivo de medição apresenta uma variação e uma incerteza ao ser utilizado. Para isto existe o estudo de R&R, que calcula esta variação de forma a melhor avaliar se o instrumento de medição em questão é apropriado para a medição. Para isto, divide-se a variação em repetibilidade, entendida como a variação devido ao equipamento de medição, e a reprodutibilidade, entendida como a variação devido ao método de medição.

Um estudo de R&R requer, no mínimo:

- 5 como o número de peças estudadas;
- 2 operadores que executam as medições;
- 2 repetições em cada uma das medições.

Para a avaliação de R&R das medições feitas com o paquímetro eletrônico no estudo de caso proposto, foram utilizadas 10 peças, 3 operadores e 2 repetições. As medições foram feitas em relação a altura e a largura do cordão de cola. A variável inicial escolhidas foi a largura do cordão de cola.

Após as medições, serão calculadas as médias, a média das médias, as amplitudes e a média das amplitudes.

Em seguida serão realizados os cálculos de cálculo da repetibilidade  $\sigma_{repe}$ , com a Equação 8 e de reprodutibilidade  $\sigma_{repro}$ , com a Equação 9.

$$\sigma_{repe} = \frac{R}{d_2} \quad (8)$$

$$\sigma_{repro} = \sqrt{\left(\frac{R_x}{d_2}\right)^2 - \frac{(\sigma_{repe})^2}{nr}} \quad (9)$$

Em que  $d_2$  pode ser consultado na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Valores de  $d_2$ 

k	Subgroup size, n													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.414	1.912	2.239	2.481	2.673	2.830	2.963	3.078	3.179	3.269	3.350	3.424	3.491	3.553
2	1.279	1.805	2.151	2.405	2.604	2.768	2.906	3.025	3.129	3.221	3.305	3.380	3.449	3.513
3	1.231	1.769	2.120	2.379	2.581	2.747	2.886	3.006	3.112	3.205	3.289	3.366	3.435	3.499
4	1.206	1.750	2.105	2.366	2.570	2.736	2.877	2.997	3.103	3.197	3.282	3.358	3.428	3.492
5	1.191	1.739	2.096	2.358	2.563	2.730	2.871	2.992	3.098	3.192	3.277	3.354	3.424	3.488
6	1.181	1.731	2.090	2.353	2.558	2.726	2.867	2.988	3.095	3.189	3.274	3.351	3.421	3.486
7	1.173	1.726	2.085	2.349	2.555	2.723	2.864	2.986	3.092	3.187	3.272	3.349	3.419	3.484
8	1.168	1.721	2.082	2.346	2.552	2.720	2.862	2.984	3.090	3.185	3.270	3.347	3.417	3.482
9	1.164	1.718	2.080	2.344	2.550	2.719	2.860	2.982	3.089	3.184	3.269	3.346	3.416	3.481
10	1.160	1.716	2.077	2.342	2.549	2.717	2.859	2.981	3.088	3.183	3.268	3.345	3.415	3.480
11	1.157	1.714	2.076	2.340	2.547	2.716	2.858	2.980	3.087	3.182	3.267	3.344	3.415	3.479
12	1.155	1.712	2.074	2.3439	2.546	2.715	2.857	2.979	3.086	3.181	3.266	3.343	3.414	3.479
13	1.153	1.710	2.073	2.338	2.545	2.714	2.856	2.978	3.085	3.180	3.266	3.343	3.413	3.478
14	1.151	1.709	2.072	2.337	2.545	2.714	2.856	2.978	3.085	3.180	3.265	3.342	3.413	3.478
15	1.150	1.708	2.071	2.337	2.544	2.713	2.855	2.977	3.084	3.179	3.265	3.342	3.412	3.477

$d_2$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078	3.173	3.259	3.336	3.407	3.472	

Fonte: Andrew Milivojevic (2015)

As próximas etapas serão:

- Calcular e validar os Limites de Controle das médias e das amplitudes
- Plotar os Gráficos de controle das médias e das amplitudes
- Calcular os índices Cp e Cpk
- Aplicar as cartas de controle das médias e das amplitudes

### 3.2.2 DEFINIÇÃO DA AMOSTRA E COLETA DE DADOS

De acordo com Oliveira (2015), caso haja uma variação no processo que ocorra por razões de causas especiais, esta provavelmente não ocorrerá durante a formação dos subgrupos. Logo, mediante a produção diária de 13 veículos, serão coletadas amostras em 4 pontos do cordão de cola em cada vidro (4 laterais), e a média desses 4 pontos serão utilizados como valor de amostra de 1 único vidro. Portanto, para os cálculos dos subgrupos amostrais, ter-se-á um total de 88 amostras, sendo 4 veículos por dia em horários distintos para aumentar a mesclagem dos dados.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidas as tabelas a seguir, sendo a Tabela 3 para o primeiro operador, a Tabela 4 para o segundo operador e a Tabela 5 para o terceiro operador, já incluindo a média entre as medições de cada operador e a Amplitude (R).

Tabela 3 – Medições por operador 1 (altura)

Peças	1	2	média	R
1	11,97	11,97	11,97	0,00
2	12,18	12,19	12,19	0,01
3	12,10	12,10	12,10	0,00
4	12,22	12,23	12,23	0,01
5	12,00	12,00	12,00	0,00
6	12,26	12,25	12,26	0,01
7	12,30	12,31	12,31	0,01
8	12,23	12,23	12,23	0,00
9	12,13	12,12	12,13	0,01
10	12,33	12,34	12,34	0,01

Fonte: Autor

Tabela 4 – Medições por operador 2 (altura)

Peças	1	2	média	R
1	11,98	11,97	11,98	0,01
2	12,19	12,18	12,19	0,01
3	12,10	12,11	12,11	0,01
4	12,23	12,22	12,23	0,01
5	12,00	12,00	12,00	0,00
6	12,25	12,26	12,26	0,01
7	12,30	12,30	12,30	0,00
8	12,24	12,23	12,24	0,01
9	12,12	12,13	12,13	0,01
10	12,33	12,33	12,33	0,00

Fonte: Autor

Tabela 5 – Medições por operador 3 (altura)

Peças	1	2	média	R
1	12,11	12,10	12,11	0,01
2	11,97	11,98	11,98	0,01
3	12,00	12,00	12,00	0,00
4	12,22	12,22	12,22	0,00
5	12,25	12,26	12,26	0,01
6	12,30	12,30	12,30	0,00
7	12,18	12,19	12,19	0,01
8	12,13	12,12	12,13	0,01
9	12,23	12,24	12,24	0,01
10	12,33	12,34	12,34	0,01

Fonte: Autor

Após obtidos os dados, calcula-se a média das médias e a média das amplitudes, indicadas na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 – Médias de médias e amplitudes (altura)

	x	R
1	12,1730	0,0060
2	12,1735	0,0070
3	12,1735	0,0070

Fonte: Autor

Para o cálculo da repetibilidade  $\sigma_{repe}$ , utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\sigma_{repe} = \frac{R}{d_2}$$

Em que  $d_2$  pode ser consultado na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7 – Valores de  $d_2$ 

k	Subgroup size, n													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.414	1.912	2.239	2.481	2.673	2.830	2.963	3.078	3.179	3.269	3.350	3.424	3.491	3.553
2	1.279	1.805	2.151	2.405	2.604	2.768	2.906	3.025	3.129	3.221	3.305	3.380	3.449	3.513
3	1.231	1.769	2.120	2.379	2.581	2.747	2.886	3.006	3.112	3.205	3.289	3.366	3.435	3.499
4	1.206	1.750	2.105	2.366	2.570	2.736	2.877	2.997	3.103	3.197	3.282	3.358	3.428	3.492
5	1.191	1.739	2.096	2.358	2.563	2.730	2.871	2.992	3.098	3.192	3.277	3.354	3.424	3.488
6	1.181	1.731	2.090	2.353	2.558	2.726	2.867	2.988	3.095	3.189	3.274	3.351	3.421	3.486
7	1.173	1.726	2.085	2.349	2.555	2.723	2.864	2.986	3.092	3.187	3.272	3.349	3.419	3.484
8	1.168	1.721	2.082	2.346	2.552	2.720	2.862	2.984	3.090	3.185	3.270	3.347	3.417	3.482
9	1.164	1.718	2.080	2.344	2.550	2.719	2.860	2.982	3.089	3.184	3.269	3.346	3.416	3.481
10	1.160	1.716	2.077	2.342	2.549	2.717	2.859	2.981	3.088	3.183	3.268	3.345	3.415	3.480
11	1.157	1.714	2.076	2.340	2.547	2.716	2.858	2.980	3.087	3.182	3.267	3.344	3.415	3.479
12	1.155	1.712	2.074	2.3439	2.546	2.715	2.857	2.979	3.086	3.181	3.266	3.343	3.414	3.479
13	1.153	1.710	2.073	2.338	2.545	2.714	2.856	2.978	3.085	3.180	3.266	3.343	3.413	3.478
14	1.151	1.709	2.072	2.337	2.545	2.714	2.856	2.978	3.085	3.180	3.265	3.342	3.413	3.478
15	1.150	1.708	2.071	2.337	2.544	2.713	2.855	2.977	3.084	3.179	3.265	3.342	3.412	3.477

$d_2$	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078	3.173	3.259	3.336	3.407	3.472
k	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Subgroup size, n													

Fonte: Andrew Milivojevic (2015)

Utilizando  $d_2$  como 1,128, pode-se obter  $\sigma_{repe} = 0,0059$ .

Para o cálculo da reprodutibilidade  $\sigma_{repro}$ , utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\sigma_{repro} = \sqrt{\left(\frac{R_x}{d_2}\right)^2 - \frac{(\sigma_{repe})^2}{nr}}$$

Em que:

- $R_x$  a variação entre as leituras médias, no caso 0,0005
- $d_2$  igual a 1,91, de acordo com a tabela anterior
- $n$  o número de peças
- $r$  o número de vezes que cada peça é medida

Desta forma, pode-se calcular  $\sigma_{repro}$  como 0,0013mm.

Para o cálculo de R&R, utiliza-se a Equação:

$$R\&R = 6 \times \sigma_{med}$$

Em que:

$$\sigma_{med} = \sqrt{(\sigma_{repe})^2 + (\sigma_{repro})^2}$$

Logo,  $\sigma_{med} = 0,006\text{mm}$  e  $R\&R = 0,0363\text{mm}$ .

Para estimar a variabilidade do processo, entre as peças, é necessário calcular a amplitude de variação entre o menor e o maior resultado da amostra de 10 peças, para cada um dos três operadores. Adotando  $R_{op1}$ ,  $R_{op2}$  e  $R_{op3}$  como estas amplitudes para os operadores 1, 2 e 3 respectivamente, obtêm-se:

$$R_{op1} = 0,37\text{mm}$$

$$R_{op2} = 0,36\text{mm}$$

$$R_{op3} = 0,35\text{mm}$$

De forma a melhor estimar essa variação, calcula-se a média destes resultados ( $R_{op}$ )

$$R_{op} = 0,36\text{mm}$$

Com isso, pode-se calcular a variabilidade do processo  $\sigma_{proc}$  com a seguinte fórmula:

$$\sigma_{proc} = \frac{R_{op}}{d_2}$$

Em que, de acordo com a tabela anterior,  $d_2 = 3,18$ .

Logo,  $\sigma_{proc} = 0,1132\text{mm}$

A estimativa de variabilidade total é dada pela seguinte fórmula:

$$\sigma_{tot} = \sqrt{(\sigma_{proc}^2 + \sigma_{med}^2)}$$

Utilizando os dados previamente obtidos pode-se obter  $\sigma_{tot} = 0,1134\text{mm}$

Um processo de medição com variação geral observada aceitável deve ter seu %R&R. ou

porcentagem de tolerância inferior a 10%. Para o cálculo de %R&R utiliza-se a Equação

$$\%R\&R = 100 \times \frac{\sigma_{med}}{\sigma_{tot}}$$

Logo, o %R&R do processo observado é igual a 5,33%.

Com o %R&R inferior a 10%, o processo de medição com paquímetro eletrônico pode ser considerado apropriado para as medições da largura do cordão de cola.

Em seguida o mesmo estudo foi realizado em relação as medidas de altura do cordão de cola.

Novamente, foram obtidas as tabelas a seguir, sendo a Tabela 8 para o primeiro operador, a Tabela 9 para o segundo operador e a Tabela 10 para o terceiro operador, já incluindo a média entre as medições de cada operador e a amplitude (R).

Tabela 8 – Medições por operador 1 (largura)

Peças	1	2	média	R
1	8,12	8,13	8,13	0,01
2	7,98	7,98	7,98	0,00
3	8,30	8,29	8,30	0,01
4	7,95	7,94	7,95	0,01
5	8,10	8,10	8,10	0,00
6	8,30	8,30	8,30	0,00
7	7,95	7,96	7,96	0,01
8	8,30	8,30	8,30	0,00
9	7,95	7,96	7,96	0,01
10	8,10	8,10	8,10	0,00

Fonte: Autor

Tabela 9 – Medições por operador 2 (largura)

Peças	1	2	média	R
7	7,95	7,95	7,95	0,00
4	7,95	7,96	7,96	0,01
9	7,96	7,95	7,96	0,01
2	7,99	7,98	7,99	0,01
5	8,11	8,10	8,11	0,01
10	8,11	8,10	8,11	0,01
1	8,13	8,12	8,13	0,01
3	8,30	8,30	8,30	0,00
6	8,30	8,30	8,30	0,00
8	8,30	8,31	8,31	0,01

Fonte: Autor

Tabela 10 – Medições por operador 3 (largura)

Peças	1	2	média	R
1	8,31	8,30	8,31	0,01
2	8,12	8,12	8,12	0,00
3	8,10	8,10	8,10	0,00
4	7,95	7,96	7,96	0,01
5	8,30	8,30	8,30	0,00
6	7,96	7,95	7,96	0,01
7	7,98	7,99	7,99	0,01
8	7,95	7,96	7,96	0,01
9	8,30	8,30	8,30	0,00
10	8,10	8,10	8,10	0,00

Fonte: Autor

Após obtidos os dados, calcula-se a média das médias e a média das amplitudes, indicadas na Tabela 11 a seguir:

Tabela 11 – Médias de médias e amplitudes (largura)

	x	R
1	8,1055	0,0050
2	8,1085	0,0070
3	8,1075	0,0050

Fonte: Autor

Segundo o mesmo processo do estudo em relação a largura, os seguintes resultados foram alcançados:

$$\sigma_{\text{repe}} = 0,0050\text{mm}$$

$$\sigma_{\text{repro}} = 0,0011\text{mm}$$

$$\sigma_{\text{med}} = 0,0051\text{mm}$$

$$\text{R\&R} = 0,0309\text{mm}$$

$$\sigma_{\text{proc}} = 0,1111\text{mm}$$

$$\sigma_{\text{tot}} = 0,1112\text{mm}$$

$$\%\text{R\&R} = 4,62\%$$

Por convenção, sendo %R&R inferior a 10%, o processo de medição com paquímetro eletrônico pode ser considerado apropriado para as medições tanto largura quanto de altura do cordão de cola, possibilitando a continuidade do estudo de caso proposto.

Portanto, na Tabela 12 (para altura) e Tabela 13 (para largura), pode-se observar a distribuição das amostras em 22 subgrupos com 4 valores cada, sendo então  $m = 22$  e  $n = 4$ . Como resultado, temos os valores de  $\bar{x}_e$  de cada subgrupo para cada variável.

Tabela 12 – Amostras em relação a altura

Amostra (n) - Altura (mm)								
Subgrupo amostral (m)	1	2	3	4	Média subgrupo (X)	Máx	Mín	R (Amplitude)
1	12,23	12,24	12,33	12,26	12,26	12,33	12,23	0,108
2	12,10	12,28	12,36	12,19	12,23	12,36	12,10	0,265
3	12,19	12,32	12,18	12,05	12,18	12,32	12,05	0,262
4	12,12	12,32	12,02	12,30	12,19	12,32	12,02	0,303
5	12,21	12,16	12,21	12,06	12,16	12,21	12,06	0,155
6	12,11	12,19	12,26	12,08	12,16	12,26	12,08	0,175
7	12,06	12,23	12,32	12,21	12,21	12,32	12,06	0,265
8	11,97	12,35	12,29	12,11	12,18	12,35	11,97	0,378
9	12,19	12,06	12,28	12,08	12,15	12,28	12,06	0,225
10	12,11	12,05	12,21	12,09	12,12	12,21	12,05	0,163
11	12,23	12,24	12,44	12,22	12,28	12,44	12,22	0,222
12	12,00	12,36	12,13	12,07	12,14	12,36	12,00	0,362
13	12,26	12,10	12,00	12,18	12,13	12,26	12,00	0,258
14	12,30	12,22	12,22	12,32	12,26	12,32	12,22	0,098
15	12,24	11,98	12,24	12,24	12,18	12,24	11,98	0,260
16	12,12	12,26	12,16	12,05	12,15	12,26	12,05	0,213
17	12,34	12,23	12,27	12,03	12,21	12,34	12,03	0,310
18	12,21	12,30	11,94	12,21	12,16	12,30	11,94	0,360
19	12,08	12,11	12,10	12,22	12,12	12,22	12,08	0,140
20	12,21	12,04	12,21	12,17	12,16	12,21	12,04	0,172
21	12,06	12,12	12,28	12,34	12,20	12,34	12,06	0,285
22	12,26	12,20	12,10	12,18	12,18	12,26	12,10	0,155
Média das médias (x)					12,18			
Média da amplitude *					0,233			

Fonte: Autor

Tabela 13 – Amostras em relação a largura

Amostra (n) - Largura (mm)								
Subgrupo amostral (m)	1	2	3	4	Média subgrupo (X)	Máx	Mín	R (Amplitude)
1	8,12	8,19	8,50	8,30	8,28	8,50	8,12	0,380
2	7,98	8,10	8,12	7,90	8,03	8,12	7,90	0,220
3	8,30	8,15	8,20	8,10	8,19	8,30	8,10	0,200
4	7,95	8,00	8,12	8,05	8,03	8,12	7,95	0,170
5	8,10	8,20	8,25	8,12	8,17	8,25	8,10	0,150
6	8,30	8,00	8,20	8,10	8,15	8,30	8,00	0,300
7	7,95	8,20	8,12	8,05	8,08	8,20	7,95	0,250
8	8,30	7,95	8,00	8,12	8,09	8,30	7,95	0,350
9	7,95	8,10	8,20	8,25	8,13	8,25	7,95	0,300
10	8,10	8,30	8,00	8,19	8,15	8,30	8,00	0,300
11	7,95	7,95	8,20	8,10	8,05	8,20	7,95	0,250
12	8,20	8,12	7,95	8,00	8,07	8,20	7,95	0,250
13	7,95	8,00	8,10	8,20	8,06	8,20	7,95	0,250
14	7,95	7,95	8,30	8,00	8,05	8,30	7,95	0,350
15	8,10	8,12	8,10	8,20	8,13	8,20	8,10	0,100
16	8,00	8,20	8,30	8,00	8,13	8,30	8,00	0,300
17	8,20	7,95	8,20	8,25	8,15	8,25	7,95	0,300
18	8,10	8,30	8,00	8,20	8,15	8,30	8,00	0,300
19	7,95	7,95	8,20	8,10	8,05	8,20	7,95	0,250
20	8,10	8,12	8,00	8,12	8,09	8,12	8,00	0,120
21	8,00	8,30	8,20	8,25	8,19	8,30	8,00	0,300
22	8,15	7,95	8,20	8,12	8,11	8,20	7,95	0,250
Média das médias (x)					8,11			
Média da amplitude *					0,256			

Fonte: Autor

#### 4.1 CÁLCULO E VALIDAÇÃO DOS LIMITES

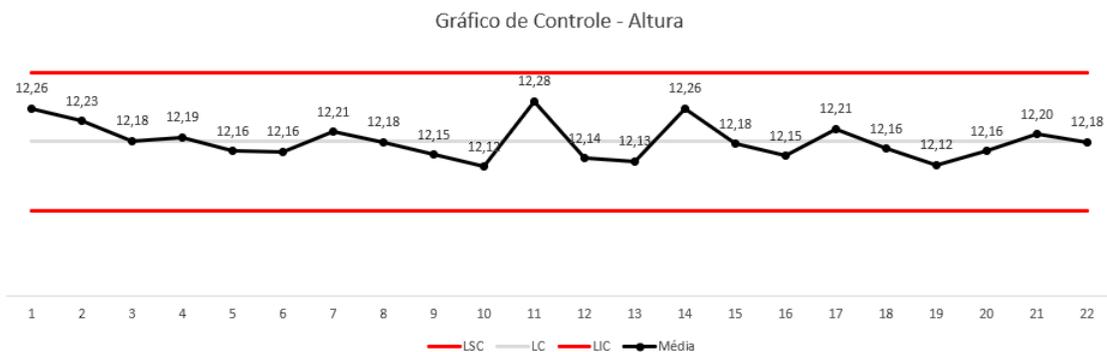
Com base nos valores de médias obtidos, e utilizando as devidas constantes estatísticas, é possível obter-se os valores de LIC e LSC para as médias e amplitudes. Para obtenção dos limites das médias foram realizadas as seguintes operações:

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \rightarrow LSC_{\bar{X}} = 12,18 + 0,729 * 0,233 \rightarrow LSC_{\bar{X}} = 12,35 \text{ mm}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \rightarrow LIC_{\bar{X}} = 12,18 - 0,729 * 0,233 \rightarrow LIC_{\bar{X}} = 12,01 \text{ mm}$$

Sabendo que a LC será a própria média das médias, devemos analisar então se um dos dados amostrais extrapolou os limites estabelecidos. No caso, para altura, todos os valores listados estão dentro dos limites. Portanto, podemos gerar os gráficos de controle. Neste caso, utilizando os próprios valores analisados, temos o gráfico de controle da Figura 6:

Figura 6 – Gráfico de controle – altura



Fonte: Autor

Repetiu-se o mesmo procedimento para obter os limites de largura:

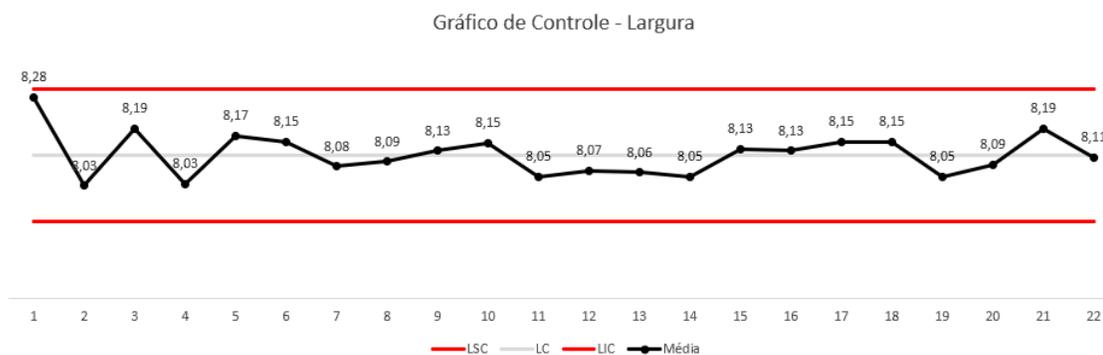
$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \rightarrow LSC_{\bar{X}} = 8,11 + 0,729 * 0,256 \rightarrow LSC_{\bar{X}} = 8,30 \text{ mm}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \rightarrow LIC_{\bar{X}} = 8,11 - 0,729 * 0,256 \rightarrow LIC_{\bar{X}} = 7,92 \text{ mm}$$

O mesmo exercício de validação é válido. Neste caso, assim como o de altura, não

foram observados valores das médias das amostras que extrapolam os limites obtidos. Portanto, é possível gerar o Gráfico de controle, que pode ser analisado na Figura 7:

Figura 7 – Gráfico de controle - largura



Para os gráficos de amplitude, o objetivo é o mesmo. Utiliza-se da função estatística para obter os valores dos limites de controle. Para a largura e altura, respectivamente, temos que:

$$LSC_{\bar{R}} = \bar{R}D_4 \rightarrow LSC_{\bar{R}} = 0,233 * 2,282 \rightarrow LSC_{\bar{R}} = 0,53$$

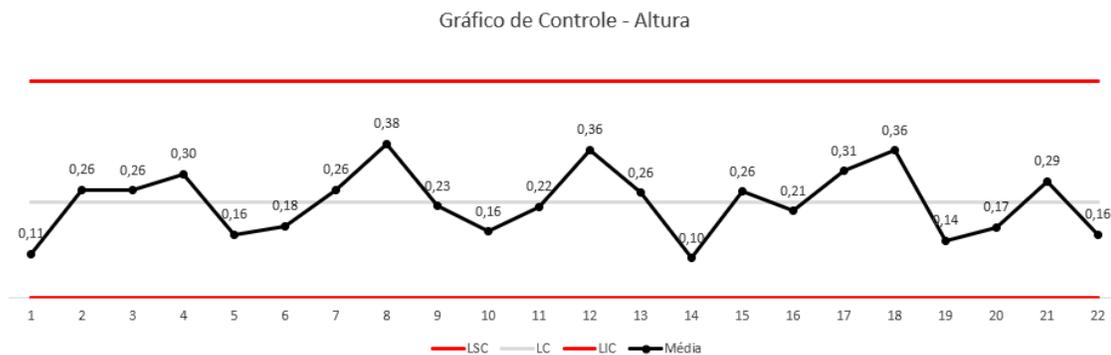
$$LIC_{\bar{R}} = \bar{R}D_3 \rightarrow LIC_{\bar{R}} = 0,233 * 0 \rightarrow LIC_{\bar{R}} = 0$$

$$LSC_{\bar{R}} = \bar{R}D_4 \rightarrow LSC_{\bar{R}} = 0,256 * 2,282 \rightarrow LSC_{\bar{R}} = 0,58$$

$$LIC_{\bar{R}} = \bar{R}D_3 \rightarrow LIC_{\bar{R}} = 0,256 * 0 \rightarrow LIC_{\bar{R}} = 0$$

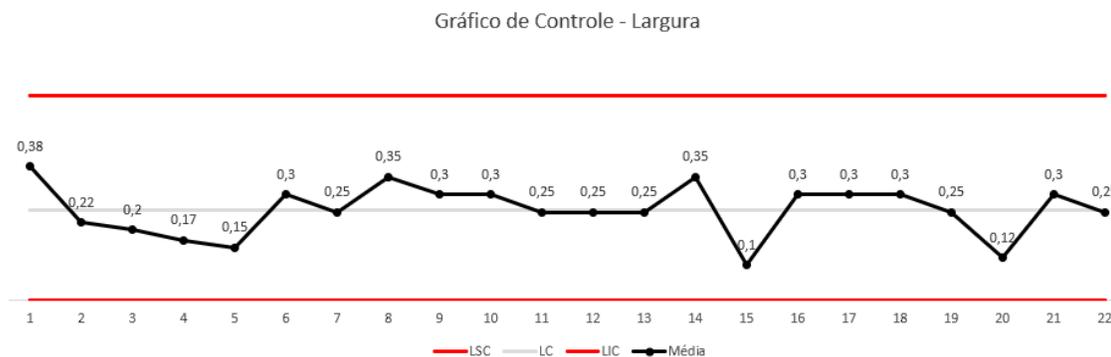
Com os valores obtidos temos os gráficos para a amplitude, exibidos na Figura 8 para em relação a altura e na Figura 9 em relação a largura.

Figura 8 – Gráfico de controle para amplitude - altura



Fonte: Autor

Figura 9 – Gráfico de controle para amplitude - largura



Fonte: Autor

Com os limites definidos e validados, pode-se então construir a carta final que será utilizada pela engenharia local como monitoramento dos parâmetros de altura e largura dos cordões de cola, monitorando as médias e amplitudes das amostras coletadas.

#### 4.2 CÁLCULO DOS ÍNDICES – Cp e Cpk

A carta final para as médias conta com os limites de controle calculados, mas, além disso, para monitorar de forma direta a eficiência e robustez do processo, adicionou-se também o cálculo dos índices de Cp e Cpk, variáveis muito importantes para garantir o correto monitoramento da precisão e exatidão do processo. Conforme citado anteriormente (tópicos 2.4.1 e 2.4.2), é possível a obtenção desses índices através de equações que correlacionam os limites superiores e inferiores com o desvio padrão das amostras. Para um processo tido como aceitável, de acordo com a Tabela referenciada por Montgomery (2004),

pede-se que os valores de Cp e Cpk estejam entre 1 e 1.33. Para os valores obtidos como amostra para obtenção da carta, teremos os valores a seguir, indicados na Tabela 14:

Tabela 14 – Cp e Cpk da carta

Altura		Largura	
Desvio Padrão	0,04568	Desvio Padrão	0,061921
Limite Superior	12,35	Limite Superior	8,3
Limite Inferior	12,01	Limite Inferior	7,92
<b>Cp</b>	<b>1,24052</b>	<b>Cp</b>	<b>1,02280</b>
<b>Cpk</b>	<b>1,22415</b>	<b>Cpk</b>	<b>1,00445</b>

Fonte: Autor

Em ambos os casos (altura e largura), tendo em vista o processo atual com as mesmas amostras que foram utilizadas para obterem-se os limites de controle, o valor de Cp e Cpk está dentro dos parâmetros aceitáveis. Esses valores flutuarão de acordo com o preenchimento diário da carta de controle na linha de produção. Qualquer variação que altere a conformidade dos dados deve ser investigada pelo time de engenharia a fim de desenvolver e aplicar um plano de ação que haja na recuperação do indicador.

#### 4.3 APLICAÇÃO DA CARTA GERADA

Tendo então os limites de controle estabelecidos e validados juntamente aos indicadores de Cp e Cpk, a etapa final é realizar o *handover* da atividade para o time de engenharia de processos juntamente ao time de manufatura, visto que ambos terão papéis fundamentais na execução e monitoramento dessa atividade. O time de manufatura será responsável pelas coletas diárias e preenchimento do arquivo em Excel ao qual a carta será atribuída. Tal arquivo estará no sistema compartilhado da companhia para que todos tenham acesso e para que a informação seja visualizada em tempo real, além de evitar problemas com a possível perda do arquivo. Já o time de engenharia, será responsável por monitorar diariamente o preenchimento da carta e intervir caso uma causa especial seja identificada.

Na Tabela 15, está apresentado o exemplo de uma das tabelas (variável altura) e os respectivos gráficos de controle (cartas) que foram gerados (Figura 10) e passados para o time de engenharia e manufatura iniciar o processo de preenchimento e acompanhamento:

Tabela 15 – Exemplo de tabela (variável altura)

		Cp	#DIV/0!
		Cpk	#DIV/0!

		Dia	02/jan	03/jan	04/jan	05/jan	06/jan	07/jan	08/jan	09/jan	10/jan	11/jan	12/jan	13/jan	14/jan	15/jan	16/jan
MÉDIA	LSC	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35	12,35
	LC	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18	12,18
	LIC	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01	12,01
	Média	#DIV/0!															
AMPLITUDE	Maior	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Menor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Amplitude Máx	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
	Amplitude Central	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
	Amplitude Mínima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Amplitude	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Amostra 1																
Amostra 2																	
Amostra 3																	
Amostra 4																	

Fonte: Autor

Figura 10– Gráficos gerados por Tabela 14



Fonte: Autor

Na planilha, todos os campos necessários são calculados automaticamente trazendo o resultado para o gráfico abaixo, de média e amplitude respectivamente, além do cálculo de Cp e Cpk.

Através dos resultados obtidos, foi possível verificar que os processos se encontram preparados para receber este tipo de controle de qualidade, visto que em ambos os gráficos, de ambas as variáveis, não foram apresentadas causas especiais que comprometeriam a amostra. Portanto, assume-se que os limites encontrados são verdadeiros para este processo produtivo.

A escolha da quantidade das amostras e subgrupos amostrais, além de dispersar a coleta ao longo do dia (4 veículos em 4 horários diferentes) se mostrou fundamental para garantir valores coerentes e que não apresentassem uma tendência que poderia ser prejudicial para a definição dos limites de controle.

Com a implementação destes controles no processo produtivo corrente, além de aumentar a quantidade total de controles estatísticos do processo da empresa com quatro novos gráficos de controle, aumentando assim a sua confiabilidade no produto final, almeja-se por consequência diminuir os custos com desperdícios provenientes de retrabalhos. No processo abordado, a má aplicação do cordão de cola pode acarretar infiltrações que podem ou não ser detectadas na planta, ou seja, além do gasto com o material desperdiçado nos casos em que a infiltração é detectada na planta, há o gasto com garantia caso esse veículo chegue as mãos do cliente, comprometendo assim a sua satisfação com a marca, o que ao contrário dos vidros, pode não ser recuperada.

## **5 CONCLUSÃO**

O estudo demonstrou que, tanto a altura, quanto a largura, a Média e a Amplitude, com os resultados e cálculos realizados, podem ser controlados por Controle Estatístico de Processo (CEP).

Com os cálculos, criação e implementação dos gráficos, foi possível avaliar de forma mais clara o comportamento e variação dos parâmetros controlados, que estão com causas comuns de variabilidade e que de acordo norma ISO 8258, estão com acuracidade, com qualidade nos valores observados e sem causas especiais de variação que poderiam comprometer a qualidade dos produtos.

Com o desenvolvimento do trabalho, além da oportunidade de ter mais contato com a indústria e sua crescente demanda por qualidade, aprofundamos o conhecimento a respeito da estatística, que se provou uma ferramenta poderosa nas mãos dos engenheiros.

## **6 INDICAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Apesar da efetividade do dispositivo de medição (paquímetro eletrônico) poder ser avaliada e comprovada através do sistema MSA na análise de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R), é inevitável uma grande questão da variável humana que requer certa destreza e manutenção periódica do treinamento para os trabalhadores, o que pode

acarretar em variações nos dados, tanto na coleta das amostras como no transbordo da informação para a planilha de controle. Portanto, uma possível solução a ser trabalhada em um trabalho futuro é a substituição do método de medição e obtenção dos dados, sendo este passado para um dispositivo automático de medição, que traria mais acuracidade e confiabilidade nos dados, principalmente se sincronizasse as medições com o abastecimento automático da carta de controle, retirando qualquer variável humana dessa etapa de coleta e preenchimento, restando somente a interpretação para os engenheiros. Porém, pensando mais adiante, tomando princípios da indústria 4.0, é possível também avaliar a possibilidade de implementar pontos de tomada de decisão no próprio robô, em que, dependendo dos valores constatados, correções automáticas programadas fossem tomadas, evitando qualquer influência do ser humano neste processo de controle de qualidade.

## REFERÊNCIAS

AL-REFAIE, A.; BATA, N. **Evaluating measurement and process capabilities by GR&R with four quality measures**, Amsterdã: Elsevier Science, 2010. 851 p.

CALDAS, R. F., **Implementação do Controle Estatístico do Processo na Aplicação de cola nos vidros frontais dos veículos montados em indústria Automobilística**. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia de Produção - Associação Educacional Dom Bosco. 2020.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Processos: estática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005. 334 p.

CROSBY, P. B. **Quality Without Tears**: 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1995. 205 p.

DELERYD, M. **International Journal of Applied Quality Management**, v. 2, Amsterdã: Elsevier Science, 1999. 151 p.

DEMING, W. E. **Out of Cris**: Reprint Edition. Cambridge: MIT Press, 2000. 524 p.

KANE, V. E., **Process Capability Indices**. Journal of Quality Technology. 1986.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**: 7. ed. New York: John Wiley & Sons, 2001. 754 p.

PALADINI, E. **Gestão da Qualidade: Teoria e Prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

PERUCHI, R. S. et al. **Weighted approach for multivariate analysis of variance in measurement system analysis**. Precision Engineering, v. 38, n. 3, p. 658, 2014.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma**: 1. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 376 p.

SAIKAEW, C. **An implementation of measurement system analysis for assessment of machine and part variations in turning operation**. Journal of the International Measurement Confederation, 2018, 252 p.

SANDER, C. **Lean Seis Sigma: O guia básico da metodologia**: 1. ed. São Paulo: CAE, 2021. 120 p.

SIQUEIRA, L. G. P. **Controle Estatístico do Processo**. 1. ed, São Paulo: Editora Pioneira, 1997. 129 p.

TAGUCHI, G.; TAGUCHI, S.; CHOWDHURY, S. **Robust Engineering**: 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1999. 241 p.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma**: 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011. 120 p.

**BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

LEONI, R. C., COSTA, A. O Ambiente R Como Proposta de Apoio ao Ensino no Monitoramento de Processos. Pesquisa Operacional Para O Desenvolvimento, 4(1), 83-96. Disponível em: <https://podesenvolvimento.org.br/podesenvolvimento/article/view/122>.

OLIVEIRA, J. B., SOUTO, R.R., MAIA, F. D. A., MEIRA, J. A., LIMA, V. S. P. Análise da capacidade de um processo: um estudo de caso caseado nos indicadores Cp e Cpk Disponível em: [https://www2.unifap.br/furtado/files/2017/04/enegep2011\\_tn\\_sto\\_136\\_863\\_19320.pdf](https://www2.unifap.br/furtado/files/2017/04/enegep2011_tn_sto_136_863_19320.pdf)

PERUCHI, R. S., SOARES, W. O. S., MELO, N. N., MORIOKA, S. N., PINTO, M. G.O estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade em Sistemas de Medição: Revisão Sistemática da Literatura Disponível em: [https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/09272020\\_170940\\_5f70f904cca5a.pdf](https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/09272020_170940_5f70f904cca5a.pdf)

SILVA, L., COLIN, G., ALMEIDA, V., ABRANTES, L. Avaliação da repetibilidade e reprodutibilidade dos ensaios referentes à norma EN12004 para cimentos-cola Disponível em: <https://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2034.pdf>