

1ª EDIÇÃO



Sarley de Araújo Silva
Rui Nelson Otoni Magno



APLICAÇÃO DE SOFTWARE ESTATÍSTICO NA PRÁTICA DE ENSINO EM CIÊNCIA DA EDUCAÇÃO

ISBN 978-65-84809-12-3
2022

1ª edição

Sarley de Araújo Silva
Rui Nelson Otoni Magno

**APLICAÇÃO DE SOFTWARE ESTATÍSTICO NA PRÁTICA
DE ENSINO EM CIÊNCIA DA EDUCAÇÃO**

ISBN 978-65-84809-12-3

2022

 <http://periodicorease.pro.br/>

 contato@periodicorease.pro.br

 +55(11) 94920-0020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

Silva, Sarley de Araújo.
586a Aplicação de software estatístico na prática de ensino de ciência da educação [livro eletrônico] / Sarley de Araújo Silva, Rui Nelson Otoni Magno. – São Paulo, SP: Ed. do Autor, 2022.
83 p. : il.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-84809-12-3

1. Educação. 2. Estatística. 3. Minitab (Programa de computador). I. Magno, Rui Nelson Otoni. II. Título.

CDD
519.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

1ª Edição - Copyright© 2022 dos autores.

Direito de Edição reservado à Revista REASE.

O conteúdo de cada capítulo é de inteira e exclusiva responsabilidade do(s) seu(s) respectivo(s) autor(es).

As normas ortográficas, questões gramaticais, sistema de citações e referencial bibliográfico são prerrogativas de cada autor(es).

Editora-Chefe Dra. Patrícia S. Ribeiro

Revisão Os autores

Projeto Gráfico Ana Cláudia Néri Bastos/ Talita Tainá Pereira Batista

Conselho Editorial Alfredo Oliveira Neto, UERJ, RJ

José Faijardo, Fundação Getúlio Vargas

Jussara C. dos Santos, Universidade do Minho

Maria Valeria Albardonado, Universidad Nacional del Comahue, Argentina

Uaiana Prates, Universidade de Lisboa, Portugal

José Benedito R. da Silva, UFSCar, SP

Pablo Guadarrama González, Universidad Central de Las Villas, Cuba

Maritza Montero, Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, autor e consumidor da minha vida nas horas mais difíceis, a minha mãe Leuzina Araújo e Minha esposa Lourdiane Castro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pela força de acordar todos os dias e luta pelos meus objetivos, aos professores pela oportunidade, ensinamentos e exemplos de dedicação ao Programa de Mestrado em Engenharia de processos.

A Deus, acima de todas as coisas presente. A minha esposa pela ajuda na pesquisado histórico. Ao meu orientador pelo acompanhamento durante as pesquisas de aplicação de software estatístico na prática de ensino em ciência da educação, pelo apoio na elaboração desta dissertação. Aos professores e colegas do PPGE.

As causas atribuíveis de variação podem ser encontradas e eliminadas.
Walter Shewhart

RESUMO

O CEP proporciona o controle de qualidade das aplicações de engenharia de uma instituição, ou seja, na escolha de questões e análise de variáveis. Este controle faz uso de ferramentas estatísticas para melhoria contínua do processo. Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo controlar as anormalidades em problemas de probabilidade e estatística através do uso das cartas de controle do Software Minitab, de forma específica buscou-se a implantação dos conceitos das cartas de controle por variáveis e atributos. Para a realização desta temática foi utilizada a metodologia quantitativa e a carta de controle do Software Minitab. Os resultados obtidos nos gráficos apresentados no decorrer deste estudo nos permitiram identificar, corrigir e reduzir variações em problemas de estatística proporcionando soluções claras e precisas para as questões mais complexas. Conclui-se que o uso do software traz melhoria em aplicações das ciências estatísticas torna-se importante para solução de problemas em diversas áreas, pois questões analisadas por esse método reduz-se as variabilidades alcançando resultados com maior precisão. Sendo assim, a ferramenta estatística a partir das cartas e suas ações corretivas é capaz de estabilizar os desvios padrão e melhorar o padrão específico das aplicações propostas no ensino de ciência da educação.

Palavras-Chave: *Software*. Estatística. Ciência da educação.

ABSTRACT

The CEP provides the quality control of an institution's engineering applications, that is, in the choice of questions and analysis of variables. This control makes use of statistical tools for continuous process improvement. In view of this, the present work aimed to control abnormalities in probability and statistics problems through the use of control charts from the Minitab Software, specifically, the implementation of the concepts of control charts by variables and attributes was sought. To carry out this theme, the quantitative methodology and the control chart of the Minitab Software were used. The results obtained in the graphs presented during this study allowed us to identify, correct and reduce variations in statistical problems, providing clear and precise solutions to the most complex issues. It is concluded that the use of the software brings improvement in applications of the statistical sciences, it becomes important for solving problems in several areas, since the issues analyzed by this method reduce the variability, achieving results with greater precision. Thus, the statistical tool from the charts and their corrective actions is capable of stabilizing the standard deviations and improving the specific standard of the applications proposed in the teaching of educational science.

Keywords: Software. Statistic. Education science.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 - MOTIVAÇÃO | 17 |
| 1.2 - OBJETIVOS | 19 |
| 1.2.1 - OBJETIVO GERAL..... | 19 |
| 1.2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 19 |
| 1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO | 19 |
| 1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO | 21 |
| CAPÍTULO 1 - REVISÃO DA LITERATURA SOBRE CARTAS DE CONTROLE .. | |
| | 22 |
| 2.1 - A ESTATÍSTICA DA QUALIDADE | 22 |
| 2.2- CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO | 24 |
| 2.3 VARIABILIDADE NO PROCESSO ESTATÍSTICO | 26 |
| 2.4 GRÁFICO DE CONTROLE | 27 |
| 2.5 INTERPRETAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE EM SOFTWARE. | 29 |
| 2.6 PONTOS FORA DOS LIMITES DE CONTROLE | 29 |
| 2.7 FERRAMENTAS DE QUALIDADE | 30 |
| 2.8 CARTAS DE CONTROLE | 30 |
| 2.8.1 AS FOLHAS DE VERIFICAÇÃO O..... | 31 |
| 2.8.2 A ESTRATIFICAÇÃO | 32 |
| 2.8.3 O GRÁFICO DE PARETO | 32 |
| 2.8.4 HÍSTOGRAMA. | 32 |
| 2.8.5 DIAGRAMA DE DISPERSÃO..... | 32 |
| 2.8.6 GRÁFICO DE CONTROLE..... | 32 |
| 2.9 CRITÉRIOS PARA IDENTIFICAR CAUSAS ESPECIAIS | 36 |
| 2.10 APLICAÇÃO DA CARTA DE CONTROLE..... | 38 |
| 2.11 GRÁFICOS DE CONTROLE POR ATRIBUTOS E VARIÁVEIS..... | 40 |
| 2.11.1 GRÁFICO DE CONTROLE PARA MÉDIA X-BARRA E AMPLITUDE (R) | |
| | 41 |
| 2.11.2-GRÁFICO DA MÉDIA X-BARRA E DESVIO PADRÃO (S) | |
| | 42 |
| 2.11.3GRÁFICO P PROPORÇÕES NÃO CONFORME | 42 |
| 2.11.4 GRÁFICO C NÚMERO DE NÃO CONFORMIDADE POR UNIDADE.. | 46 |
| 2.12 ANÁLISE DE CAPACIDADE | 44 |
| 2.13REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA..... | 44 |
| CAPÍTULO 2 - MATERIAIS E MÉTODOS..... | 46 |
| 3.1 MATERIAIS | 46 |
| 3.2 MÉTODOS | 46 |
| CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 51 |
| 4.1 A UTILIZAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE DO MINITAB NA | |
| REDUÇÃO DE VARIABILIDADE EM APLICAÇÃO DE PROBLEMAS DA | |
| CIÊNCIA ESTATÍSTICA E PROBABILIDADE..... | 51 |

| | |
|--|----|
| 4.2. E APLICAÇÕES DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA NA ENGENHARIA POR CARTA DE CONTROLE EM SOFTWARE MINITAB NA REDUÇÃO DE VARIABILIDADE. | 51 |
| CONCLUSÕES E SUGESTÕES..... | 73 |
| SUGESTÕES | 76 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 77 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 2.1 | Modelo de gráfico com ponto fora do limite LSC..... | 34 |
| Figura 2.2 | Gráfico sob de controle. | 34 |
| Figura 2.3 | Sob controle com limites LC, LIC e LSC | 35 |
| Figura 2.4 | 1° regra seis pontos abaixo da linha central..... | 36 |
| Figura 2.5 | 2° regra encontrar sete pontos subindo ou descendo | 37 |
| Figura 2.6 | 3° regra média em deslocamento..... | 37 |
| Figura 2.7 | 4° regra limites fora de controle..... | 38 |
| Figura 2.8 | 5° regra pode-se observar que apresenta uma convergência para cima e para baixo nos intervalos de tempo com aproximadamente a mesma amplitude isso se denota uma periodicidade..... | 38 |
| Figura 2.9 | Pontos amostrais acima do LSC e abaixo do limite LIC | 39 |
| Figura 2.10 | Carta sem os pontos fora dos limites de controle | 39 |
| Figura 3.1 | Fluxograma do processo de aplicação do CEP nas cartas de controle | 48 |
| Figura 3.2 | Melhoria do processo com o uso de cartas de controle | 49 |
| Figura 4.1 | Carta de controle com peças defeituosas fora de controle | 53 |
| Figura 4.2 | Carta de controle com os limites ajustados. | 53 |
| Figura 4.3 | Cartas de controle individuais fora de controle. | 55 |
| Figura 4.4 | Gráfico de controle amplitudes com pontos fora de controle | 56 |
| Figura 4.5 | Gráfico sob controle individuais | 56 |
| Figura 4.6 | Gráfico sob controle | 57 |
| Figura 4.7 | Amostra de peças. | 58 |
| Figura 4.8 | Dados mensal de vendas e pedidos | 59 |
| Figura 4.9 | Números de peças defeituosas. | 61 |
| Figura 4.10 | Números de peças defeituosas processo fora de controle..... | 61 |
| Figura 4.11 | Números de peças defeituosas processo sob controle. | 61 |
| Figura 4.12 | Amostras de hastes fora de controle..... | 63 |
| Figura 4.13 | Amostras de hastes sob controle. | 63 |
| Figura 4.14 | Capacidade de processo amostras de hastes. | 64 |
| Figura 4.15 | Percentual de defeitos | 65 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 4.16 | Amostra da espessura do óxido..... | 66 |
| Figura 4.17 | Amostra da espessura do óxido sob controle. | 67 |
| Figura 4.18 | Gráfico de histograma..... | 68 |
| Figura 4.19 | Total de manchas por área sob controle. | 69 |
| Figura 4.20 | Diâmetro externo..... | 71 |
| Figura 4.21 | Diâmetro externo sob controle | 72 |
| Figura 5.1 | Da questão 01 fora de controle..... | 74 |
| Figura 5.2 | Da questão 01 sob controle. | 75 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 4.1 | Dados dos circuitos impressos. | 52 |
| Tabela 4.2 | Controle para medidas individuais e amplitude | 54 |
| Tabela 4.3 | Amostra de peças de máquinas industrial. | 58 |
| Tabela 4.4 | Dados mensal de vendas e pedidos | 59 |
| Tabela 4.5 | Peças com defeitos. | 60 |
| Tabela 4.6 | Amostras de hastes. | 62 |
| Tabela 4.7 | Observações da espessura do óxido. | 66 |
| Tabela 4.8 | Material de construção. | 67 |
| Tabela 4.9 | Manchas por área de papel produzido. | 68 |
| Tabela 4.10 | Controle da distância entre dentes de uma engrenagem do câmbio ... | 70 |

NOMENCLATURA

| | |
|-----|---|
| CP | ÍNDICE DE CAPACIDADE POTENCIAL DO PROCESSO CEP CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO |
| CPK | ÍNDICE DE CAPACIDADE NOMINAL DO PROCESSO DPP DESVIO PADRÃO |
| LC | LIMITE CENTRAL |
| LIC | LIMITE INFERIOR DE CONTROLE LSC LIMITE SUPERIOR DE CONTROLE MA MÉDIA ARITMÉTICA |
| MP | MÉDIA POPULACIONAL |
| R | CORRELAÇÃO |
| RL | REGRESSÃO LINEAR |

1.1 - Motivação

A estatística é uma ciência que se apropria das teorias probabilísticas que fornecem métodos para coleta, análise e interpretação das cartas de controle em aplicações de estatísticas. Os métodos estatísticos referem-se a dados obtidos de observações na forma de medidas ou contagem, a partir de informações é possível estudar problemas de estatística referente ao controle de variabilidade aplicada nas ciências em engenharia, química, física, matemática, geografia e etc. A utilização do Software estatístico é uma importante ferramenta para estudos e aplicabilidades no controle de variações em problemas de probabilidade e estatística.

As cartas permitem o monitoramento da média, assim como da variabilidade dos dados inerentes às características de qualidade avaliadas em qualquer produto ou processo realizado. Tendo em vista que o processo estatístico é uma ferramenta da qualidade utilizada nos processos produtivos com a finalidade de fornecer informações para um diagnóstico mais eficaz na prevenção e detecção. A pesquisa começou por meio do controle de variabilidade em aplicações de engenharia realizado pelo software, com o intuito de melhorar a qualidade das aplicações de estatística. Portanto, o presente estudo teve como objetivo aplicar as ferramentas do controle estatístico de processos para reduzir variabilidade e melhorar o desempenho das aplicações analisadas.

A estatística tem contribuído nas soluções de problemas nas diversas áreas das ciências onde, desenvolve estratégias na melhoria da qualidade de questões estudadas sendo a ciência que examina a ocorrência dos fatos entre uma população sob forma de amostra, permitindo realizar estudos sobre o comportamento de uma população em relação a um determinado aspecto. O trabalho utiliza-se do emprego das cartas do software Minitab no diagnóstico de prevenção e detecção de anormalidade em aplicações contribuindo na redução de variações que alteram a qualidade das aplicações onde, as informações serão apresentadas em tabelas e gráficos construídos a partir das variáveis de interesse plotados na planilha da ferramenta estatística.

A função do CEP nas cartas do Software Minitab é evidenciar as modulações ocorridas durante o processamento e desenvolver gráficos estatísticos que possam fornecer um parâmetro mais preciso auxiliando nas práticas que possam melhorar os pontos predominantes da manufatura além de reconhecer, corrigir, eliminar ou adequar os processos com anormalidade, dando um parâmetro mais preciso de forma que possam ser aplicadas melhorias na linha de produção (OLIVEIRA, 2015). As cartas de controle do Software estatístico possibilitam encontrar as variabilidades demonstradas através das representações de gráficos, possibilitando uma melhor

visualização dos problemas em estatística com intuito de demonstrar possíveis variações para aplicação de correções, maseficientes na busca da melhoria contínua.

O controle das variáveis quantitativas envolvidas no processo de produção é fundamental para atender os requisitos dos clientes e aumentar a eficiência operacional. Muitas vezes os desperdícios nos sistemas produtivos não são identificados facilmente, necessitando de acompanhamento e controle de produção para aumentar a estabilidade, conforme (JURAN e GRZYNA, 1992). Mesmo com o avanço no processo por meio do controle de qualidade, ainda assim existe causas da variabilidade no processo, ou seja, quando há uma oscilação em torno da média ou do ponto ideal da especificação, precisa-se de um monitoramento constante do comportamento da produção. Por meio de análises dos dados coletados e caracterização da causa da instabilidade ou variabilidade do sistema utilizado nas cartas de controle, ferramentas do controle estatístico do processo como resultado para obter melhoria contínua do processo. Todos os processos exibem variabilidade, ou seja, quanto maior for à variabilidade, maior será o descontrole em relação aos resultados produzidos e os resultados desejados (MONTGOMERY, 2004).

Em um ambiente competitivo, a melhoria contínua possibilita monitorar, controlar e melhorar os processos produtivos, sempre que for detectado alguma anormalidade. Se houver um caráter preventivo, estas ações contribuem para minimizar as perdas e aumentar a produtividade (BORTOLOTTI, 2009). As técnicas estatísticas proporcionam analisar a distribuição amostral no decorrer dos intervalos identificando as causas de anormalidades dos problemas analisados, servindo de base para decisões, ações corretivas de variabilidade e estabilidade de problemas, evitando desperdícios e elevando eficiência na aplicação.

Um dos resultados principais do estudo da qualidade foi o uso difundido de métodos para eliminar causas de anomalias em processos e reduzir causas especiais de variação (MONTGOMERY, 2004). Nesse contexto, o controle estatístico apresenta-se como uma ferramenta extremamente importante para aplicações das técnicas estatísticas na redução de variação. O CEP pode ser definido como um conjunto de sete ferramentas de resolução de problemas para obter estabilidade de processos, além da melhoria de sua capacidade, segundo (FERREIRA *et al.*, 2008). É uma poderosa coleção de ferramentas para a coleta, análise e interpretação de dados com o objetivo de melhorar a qualidade através da eliminação de causas especiais de variação, podendo ser utilizado para a maioria dos processos (MONTGOMERY, 2004). O estudo com o software estatístico contribui na identificação, correção, comparação de resultados, cálculos, estudos da dispersão e interpretação dos dados pelas tabelas e gráficos.

1.2 - Objetivos

1.2.1 - Objetivo Geral

Aplicar o controle de processos, por meio das cartas de controle em Software Minitab como ferramenta na análise estatística em redução de variabilidade nas aplicações propostas.

1.2.2 - Objetivos Específicos

- Propor soluções em anomalias nas aplicações das estatísticas descritivas, utilizando Minitab;
- Selecionar as cartas de controle que melhor se aplicam à característica da qualidade a ser monitorada;
- Explorar o Minitab estatístico e suas ferramentas na redução de variabilidade;
- Analisar as cartas de controle e identificar os fatores das causas especiais.

1.3 - Contribuições da Dissertação

O estudo veio para contribuir na melhoria da qualidade das aplicações de engenharia onde foi possível através do Minitab identificar e reduzir variabilidade, a partir da análise de variáveis entre os limites de controle. As cartas de controle é uma ferramenta relevante para auxiliar nas análises dos dados, ações corretivas e redução de anormalidades. O gráfico fornece informações sobre o valor de importantes parâmetros do processo e sua estabilidade ao longo do tempo, sendo um instrumento capaz de:

- I. Contribuir na escolha correta das cartas de controle para detectar variações em aplicações;
- II. Proporcionar informações claras e precisas sobre os procedimentos que devem ser seguidos para a implantação do controle estatístico;
- III. Estimular o uso desta ferramenta em aplicações problemas da ciência estatística, tendo como, consequência para engenharia redução da variabilidade, alcançada com a implementação dos gráficos da carta de controle.

As cartas de controle auxiliam a evitar ajustes desnecessários, além de auxiliarem no diagnóstico do processo e a mensurar a capacidade produtiva da empresa ou equipamento em análise, segundo (PEDRINI e CATEN, 2008).

O controle de processo estatístico traz uma proposta para auxiliar as ferramentas da qualidade, buscando monitorar causas especiais em aplicações problemas de estatística. O desenvolvimento de uma análise nos processos que possa fornecer um parâmetro geral do sistema de produção, está primeiramente relacionado à apresentação de métodos que permita a

determinação dos pontos de inconsistência que define um problema a ser solucionado (EDQUIST, 2011).

A utilização correta de um gráfico para controle de um processo depende de uma série de fatores, dos quais os principais seriam: visão sistêmica, habilidade de planejamento, processo mais eficiente, análise estatística eficaz da variabilidade e a utilização correta das ferramentas da qualidade. Os progressos produtivos têm gerado a necessidade de pesquisas que se traduzem em desenvolvimento de novas tecnologias e de novos processos que passam a produzir em escalas maiores e com mais qualidade, surgindo assim a necessidade de efetivamente ter-se, por parte das organizações, um maior controle das variações oriundas dos processos produtivos, segundo (CUNHA e VASCONCELOS, 2014).

O uso do controle estatístico como auxiliar da gestão da qualidade, tem tornado um método eficaz, por trazer uma visualização mais efetiva e pontual das variabilidades (MUNIR, 2009). É um método que permite conhecer o andamento da produção, dando um parâmetro da variabilidade ocorrida no decorrer do processo produtivo, através de tabelas e gráficos. Proporcionando assim, possibilidades de aplicações de métodos auxiliares na redução de problemas (PALLADINI, 2010).

Os gráficos de controle são métodos utilizados para monitorar e diagnosticar o desempenho de um processo estatístico em um determinado tempo, que possibilita detectar possíveis mudanças de magnitude nos valores nominais dos principais parâmetros; tais como desvio médio padrão ou de um desempenho variável descritivo (RYAN, 2011). Faz-se necessário ressaltar a importância da habilidade dos gráficos estatísticos na eficácia em controle para detectar deslocamentos de desvio padrão e assim verificar quantas amostras são necessárias para se detectar um deslocamento na média do processo, por meio da carta de controle do Software Minitab, haja visto que, a qualidade em uma instituição está inevitavelmente sujeita a forma de como é trabalhada a variabilidade dos processos produtivos (AMORIM, 2015). Existem vários motivos que causam tais variações. Elas podem ser classificadas:

- a) Causa Casual: São alterações ocorridas devidas aos meios naturais que ocorrem no processo, mesmo que a operação venha a ser executada com o uso de métodos padronizados.
- b) Causa Atribuída: A variabilidade ocorre devido à causa não inerente ao processo, isso, significa que, existem fatores relevantes a serem investigados. Sem falar dos casos gerados por padrões inadequados, segundo (MONTGOMERY e RUNGER, 2009).

O estudo no controle das variações em problemas da ciência estatística e probabilidade contribui na estabilidade dos padrões específicos dos produtos das questões analisadas.

1.4 - Organização Do Trabalho

O Capítulo 1 Neste Capítulo apresenta a motivação, os objetivos, as contribuições da dissertação e a forma de organização do trabalho.

O Capítulo 2 Neste capítulo é apresentado uma revisão de literatura sobre o tema abordado, enfatizando sua importância nas análises das cartas de controle do Minitab, bem como se faz uma revisão bibliográfica das etapas do CEP, principalmente abordando as melhorias contínuas e argumentando sobre suas aplicações de estatística.

No Capítulo 3 Apresenta-se descrição das etapas na elaboração do trabalho e as atividades aplicadas em questões de estatísticas no desenvolvimento das metodologias sugeridas.

No Capítulo 4 Comparamos os resultados obtidos em aplicações de estatísticas e probabilidades por meio da redução de variabilidade em CEP através do Minitab.

Capítulo 5 São apresentadas as conclusões e sugestões da utilização do controle estatístico de processo para continuação do trabalho em etapas posteriores.

REVISÃO DA LITERATURA SOBRE CARTAS DE CONTROLE**2.1 - A Estatística da Qualidade**

A capacidade de um dado processo fabricar produtos dentro da faixa especificada surgiu do estudo sobre o controle estatístico do processo na década de 20 nos Estados Unidos, especificamente na empresa Telefone da campainha, onde um grupo de pesquisadores estavam empenhados em solucionar problemas de equipamentos eletrônicos, com elevada qualidade. Em 1924 o americano Walter Shewhart, autor de “Controle econômico do produto de fabricação de qualidade” desenvolveu os primeiros gráficos de controle para identificar pontos de variação fora de controle no sentido de aprimorar e controlar o processo produtivo e assim, assegurar produtos com qualidade. Este é considerado o início do Controle Estatístico da Qualidade e Shewhart foi considerado o pai do controle estatístico do processo. Criou os conceitos das causas assinaláveis, que fundamenta a teoria do controle das variações dos processos produtivos.

Em 1960, Kaoru Ishikawa montou o primeiro círculo de controle estatístico, onde os trabalhadores aprenderam e aplicaram técnicas em práticas problemas de controle de qualidade. Uma de suas principais contribuições foi a ideia dos sete instrumentos do controle de qualidade: folha de verificação, estratificação, diagrama de Pareto, histograma, diagrama de dispersão, gráfico de controle de processos ou de Shewhart, diagrama de causa e efeito (MAGALHÃES, 2012). O Controle estatístico é um processo usado para manter certo fenômeno dentro de padrões pré-estabelecidos. Os produtos, resultantes de um processo industrial, possuem requisitos de qualidade, que serão cumpridos se certas características ou variáveis estiverem de acordo com o que foi planejado. Desta forma, o controle da qualidade pode ser entendido como um processo que nos permite medir o nível de qualidade de um produto comparando com um padrão desejado para corrigir os desvios. O controle de qualidade é dito como estatístico se ele utiliza a estatística para a análise das medidas de qualidade efetuadas. Dizemos que um processo está sob controle se os produtos resultantes se mantêm dentro da qualidade desejável, ou, dentro da faixa desejável de qualidade (MOREIRA, 2000).

A estatística da qualidade é uma preocupação constante para as instituições que desejam se manter ativas dentro dos parâmetros de produção. Sendo a estatística o ramo

da matemática que envolve coleta, classificação e interpretação de dados numéricos aplica-se ferramentas estatísticas fazendo uso de gráficos para o controle de anormalidades. São utilizados dados de séries de amostras chamadas grupos racionais para estimar onde o processo está centralizado e quanto ele está variando em torno desse centro. Os dados são obtidos a partir desses grupos são plotados em gráficos de controle para dar uma ideia de como o processo está se comportando. Assim, duas estatísticas que devem ser entendidas são aquelas que medem o centro da média e a variabilidade do processo (HRADESKY, 1989). Variabilidade é um fenômeno comum nos itens provenientes de um processo de fabricação. Ela ocorre tanto em indicadores de desempenho de operações do processo, como seu rendimento, quanto nos indicadores de qualidade dos itens produzidos, mesmo estando sob controle. A estatística dispõe de técnicas que viabilizam a coleta, o processamento da análise, a disposição dos dados, além daquelas inferenciais que auxiliam na tomada de decisão.

O CEP envolve o uso de técnicas estatísticas e ferramentas da qualidade para medir e avaliar sistematicamente um processo. Caso um determinado processo apresente uma situação indicativa de um estado de descontrole estatístico, ações corretivas devem ser determinadas e executadas de forma a restabelecer a estabilidade do processo estatístico. Após o restabelecimento do estado de estabilidade, é possível determinar a capacidade do processo de satisfazer as especificações ou requisitos dos clientes e, ainda, conduzir o processo a níveis de qualidade desejáveis, conforme (ARAÚJO e RIBEIRO, 1999). O controle estatístico de processo é um método para monitoramento de qualquer processo produtivo com o objetivo de controlar a qualidade dos produtos ou serviços no momento em que estão produzidos, em vez de confiar numa inspeção após estarem prontos (NUNES, 2008). A carta de controle tem o propósito de monitorar a estabilidade do processo ao longo do tempo para que seja possível identificar e corrigir as instabilidades, segundo (MONTGOMERY, 2004 e MINITAB, 2018).

As representações gráficas são ferramentas de grande utilidade em controle estatístico de processo. São muito importantes nas aplicações de métodos estatísticos para o estabelecimento e monitoramento de pesos e volumes líquidos em embalagens unitárias provenientes de dosadores automáticos. É o estudo e determinação de capacidade de processos em termos de produção de qualidade (CHAVES, 1997). Esses recursos estão disponíveis nas cartas de controle no Minitab onde possibilitam o controle de variabilidade na engenharia, matemática, química, probabilidade e estatística dentre outras fazendo uso nas construções dos gráficos, correções de variações, operações matemáticas, análises estatísticas e lógicas. Esse método controla a qualidade através de técnicas estatísticas como coleta, análises de gráficos, interpretação de dados, qualidade dos produtos e serviços cuja finalidade é controlar a variabilidade e analisar a instabilidade do processo.

2.2 - Controle Estatístico de Processo

O controle estatístico permite que ações corretivas sejam realizadas antes que não-conformidades ocorram, responde à pergunta se o processo está funcionando como deveria ou se está fora das especificações de qualidade. Executa ações apropriadas para obter e manter um estado de controle estatístico, conforme (HEIZER e RENDER, 2001). É uma técnica estatística amplamente usada para assegurar que os processos atendam aos padrões específicos. Todos os processos são sujeitos a um certo grau de variações. Considera-se uma ferramenta eficaz no diagnóstico de variabilidade, que além de demonstrar as variâncias, traz também à causa raiz (OAKLAND, 2008). Faz-se inspeção por amostragem, operando ao longo do processo, com a finalidade de verificar a presença de causas especiais, ou seja, causas que não são naturais ao processo e que podem prejudicar a qualidade do produto manufaturado. Uma vez identificadas as causas especiais, podemos atuar sobre elas, melhorando continuamente os processos de produção, por conseguinte, a qualidade do produto final. Tem como objetivo melhorar o processo de produção, deixando os problemas com menos variabilidade, propiciando melhores níveis de qualidade nos resultados da produção, segundo (MARTINS e LAUGENI, 2005). Não há dois produtos exatamente iguais, já que os processos que os geram podem apresentar inúmeras fontes de variação. A estatística é utilizada no sentido de conhecer as características de determinado processo, através de seus resultados mensuráveis e retornar esses resultados para o processo na forma de parâmetros de comportamento e estimativas. É fundamental conhecer o conceito de variabilidade para se entender e poder trabalhar com o CEP.

A variabilidade estará sempre presente em qualquer processo produtivo. Mesmo que este processo gere produtos da melhor qualidade, a variabilidade das características deste produto sempre vai existir, conforme (MARTINS e LAUGENI, 2005). As causas de variação do processo produtivo são classificadas em dois grupos: causas de variação comuns ou não assinaláveis. As causas comuns não podem ser evitadas, e quando o processo apresenta somente causas de variação comuns, as variáveis do processo seguem uma distribuição normal. Enquanto as causas especiais podem ser eliminadas e são ocasionadas por motivos claramente identificáveis e alteram os parâmetros do processo, média e desvio padrão, segundo (MARTINS e LAUGENI, 2005).

As causas comuns são as diversas fontes das causas de variação que atuam de forma aleatória no processo, gerando uma variabilidade inerente do processo. Essa variabilidade representa o padrão natural do processo, pois é resultante do efeito cumulativo de pequenas fontes de variabilidade das causas que acontecem diariamente, mesmo quando o processo está trabalhando sob condições normais de operação. Um processo que apresenta apenas as causas comuns atuando é dito um processo estável ou sob controle, pois apresenta sempre a mesma variabilidade ao longo do tempo. Devido à variabilidade inerente do processo, as medidas

individuais de uma característica de qualidade são todas diferentes entre si, mas quando agrupadas elas tendem a formar um certo padrão.

Contrariamente as causas especiais são causas que não seguem um padrão aleatório e por isso também são chamadas de causas assinaláveis. São consideradas falhas de operação fazem com que o processo saia fora de seu padrão normal de operação, ou seja, provocam alterações na forma, tendência central ou variabilidade das características de qualidade diminuindo significativamente o rendimento do processo necessitando identificar e neutralizar, pois sua correção gera economia. As causas especiais geralmente são corrigidas por ações estatísticas em software e, por isso, são de responsabilidade dos programadores, apesar de algumas vezes a instituição estar em melhor condição para solucionar os problemas.

A estatística revolucionou várias áreas do conhecimento através das resoluções de Problemas na melhoria dos parâmetros. Os procedimentos estatísticos foram desenvolvidos como uma combinação de ciências estatísticas, probabilidade, tecnologia e lógica para a solução de problemas (SALSBURG, 2009). O controle estatístico de processo preocupa-se como checar um produto ou serviço durante sua criação. Se há razões para acreditar que há um problema com o processo, ele pode ser parado onde é possível e adequado aos problemas estatísticos podendo ser identificados e retificados (SLACK, 1996).

O estudo das variações do processo estatístico é fundamental para manutenção da competitividade das instituições, sendo realizada através do controle estatístico, mais especificamente, a implantação de gráficos, conforme (RIBEIRO e TEN CATEN, 2012). Dentre as ferramentas da qualidade, os gráficos de controle apresentam uma maior sofisticação técnica, porém, não englobam apenas aspectos técnicos, também constrói um ambiente na organização de melhoria contínua da qualidade e da produtividade (MONTGOMERY, 2009).

Os gráficos de controle são elementos visuais para o monitoramento de características dos produtos e processos (SAMOHYL, 2009). Esses são utilizados para a melhoria de processos e solução de problemas em qualidade fornecendo clareza no trabalho e principalmente a tomada de decisão com base em fatos e dados, aos níveis de opiniões, segundo (MAICZUK e JÚNIOR, 2013). Apresentam bons resultados na melhoria da produtividade, prevenção de defeitos, ajuste no processo, fornecem informações importantes de diagnóstico com redução da variabilidade. Na aplicação do controle estatístico de processos utiliza-se várias ferramentas estatísticas úteis, principalmente para soluções de problemas, chamada de ferramentas de qualidade.

A função do CEP nas cartas de controle é evidenciar as modulações ocorridas durante o processamento e desenvolver gráficos que possam dar um parâmetro mais preciso, auxiliando nas soluções de práticas problemas na melhoria dos pontos predominante da produção, além de reconhecer, eliminar ou adequar os processos com falhas, dando um parâmetro mais pontual, de

forma que possam ser aplicadas melhorias mais efetivas (OLIVEIRA, 2015). Possibilitando limitar as variabilidades demonstradas através de representações gráficas, uma melhor visualização do processo, com intuito de demonstrar possíveis anormalidades, para aplicação de correções mais eficientes, na busca da melhoria continuada.

De acordo com (ROCCO e SANDY, 2011), controle estatístico de processo é um instrumento construído a partir de cálculos estatísticos, que representam o comportamento de uma determinada técnica, usadas para monitorar a variabilidade do processo e avaliar sua estabilidade. Ela permite apontar qual o tipo de variação que está atuando no processo num apurado período. Isto caracterizará se o processo está ou não sob controle. A ideia principal do CEP é ter melhores processos de produção com menos variabilidade proporcionando melhores níveis de qualidade nos resultados finais. Esurpreendentemente quando se fala em melhorar processos, isso significa que, não somente a melhorar a qualidade, mas também diminuir os custos (SAMOHYL, 2013).

Um processo é considerado estável ou sob controle, se as estatísticas plotadas nas cartas de controle flutuarem dentro dos limites de controle influenciado apenas por causas comuns previamente determinados na etapa inicial da implantação das cartas de controle. Nestas situações, supõe-se que não há causas especiais que interfiram no processo. No entanto, quando as estatísticas estiverem situadas fora dos limites de controle, ou com alguma tendência não aleatória, este pode ser um sinal de que o processo possa estar fora de controle e pode ser necessária uma ação corretiva no processo. (JANSEN, 2006). Encontrado uma causa especial e detectando seus pontos não aleatórios aplica-se ação corretiva para interromper o processo de modo que possa eliminar a causa anormais. Essa medida executada fará com que o processo mantenha a estabilidade.

2.3 - Variabilidade no Processo Estatístico

Os produtos ou características nunca são exatamente iguais, decorrente de que, qualquer processo contém muitas fontes de variações. A variabilidade ou desvio padrão é uma medida de dispersão dos valores de variável aleatória em redor da média (MURRAY, 1970). Refere-se à distribuição amostral de um conjunto de dados, descrever a quantidade de dados diferentes e permite comparar dados com outros conjuntos de dados. As principais formas de descrever a variabilidade em um conjunto de dados são: Amplitude, variância e desvio padrão (SONIA, 2009). As contestações entre produção podem ser grandes, ou elas podem ser infinitamente pequenas, mas elas estão sempre presentes, há três tipos de variação que podem ocorrer em um item produzido que são (CHENG, 2013):

- a) Variação interna: ocorre dentro do próprio item;
- b) Variação item a item: ocorre entre itens produzidos em tempos adjuntos;

- c) Variação tempo a tempo: ocorre entre itens produzidos em períodos diferentes durante o dia.

É considerado de variação, variabilidade ou dispersão a diferença entre o mesmo produto ou outro. O que se precisa saber é se, a variação poderá influenciar na eficiência do processo. Em muitas indústrias, produtos de complexo industrial em particular, controle estatístico é uma ferramenta utilizada para diagnosticar falhas de qualidade, de forma que é aplicado para monitorizar irregularidades no processo, com intuito de minimizar suas variações (CHENG, 2013). Ao ser aplicado, traz um parâmetro de variabilidade ocorrido no processo, de modo geral, pode-se dizer que, existem várias causas para a presença de variabilidade num processo, trazendo resultados de alterações para possíveis correções em um problema de estatística.

2.4 - Gráficos De Controle

Segundo REYNOLDS (2010) os gráficos de controle são procedimentos para monitorar e diagnosticar o desempenho de um processo ao longo do tempo, detectando possíveis mudanças de grandeza nos valores nominais dos principais parâmetros; por exemplo, o desvio padrão ou de um desempenho variável descritivas. É muito utilizado para o acompanhamento de um processo, possui a vantagem de ser um controle feito pelo operador da máquina em estudo, reforçando seu compromisso com a qualidade do produto e comprometimento, o que é fundamental quando se trata de melhoria de processos, conforme (REID e SANDERS, 2005). Os gráficos de controle são uma das ferramentas de uso mais comum no controle estatístico de processos. Podem ser utilizados para medir variações de qualquer característica de um produto. Os processos devem ser monitorados permanentemente, é a principal ferramenta utilizada para monitoramento de processos e sinalizar a presença de causas especiais são os gráficos de controle, conforme (COSTA e CARPINETT, 2005).

O processo está sob controle, quando está somente sujeito à ação das causas aleatórias comuns. Quando além das causas aleatórias estiverem presentes causas especiais, ele está fora de controle. Quando o processo está fora de controle e alguma ação corretiva é necessária, um ponto está acima do LSC ou abaixo do LIC no gráfico, segundo (COSTA e CARPINETT, 2005). De acordo com (LIM, 2015), para construção de gráficos de controle para variáveis devem ser observados os passos a seguir:

- Indicar o processo a ser controlado;
- Coletar os dados a partir das amostras retiradas do procedimento;
- Coletar as amostras tipo n , cada uma contendo no dividido em seus atributos de interesse;
- Registra as observações na ordem em que foram obtidas;

- Construir a escala e traçar as linhas centrais e os limites de controle nas cartas.

Média aritmética: é o conjunto de valores somados e dividido pela quantidade dos termos adicionados (CRESPO, 2002).

Indicando por x_1, x_2, \dots, x_n , os n elementos que a variável x pode assumir, e por \bar{x} a média aritmética, temos a Eq. (2.1):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (2.1)$$

Variância: é uma medida de dispersão que verifica a distância entre os valores da média aritmética (CRESPO, 2002).

Variância populacional e variância amostral: Em estatística, o conceito de variância é usado para descrever um conjunto de observações. Quando o conjunto das observações for uma população, chama-se de variância populacional. Se o conjunto das observações é extraído de uma amostra, chama-se de variância amostral ou variância da amostra (CRESPO, 2002).

Abaixo seguem as Equações. Estatísticas. Eq. (2.2), Eq. (2.3), Eq. (2.4) e Eq. (2.5).

- **Variância populacional:**

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (2.2)$$

- **Variância Amostral:**

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2.3)$$

- **Desvio padrão populacional:**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2.4)$$

- **Desvio padrão amostral:**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.5)$$

2.5 - Interpretação das Cartas de Controle em Software

As Instituições utilizam-se das cartas para a coleta de dados em seus processos produtivos, entretanto, por ser uma ferramenta essencial para o controle estatístico de processo, caso sua análise não seja feita de forma eficiente poderá acarretar problemas futuros. Faz-se necessário seguir uma sequência de passos para as análises das cartas de controle para que se tenha um diagnóstico mais eficiente (WERKEMA, 2006).

Sugere seguir etapas para análise das cartas de controle tais como:

- Construir limites de controle experimentais após a coleta de dados de acordo com o programado para a amostragem;
- Averiguar se todos os pontos estão dentro dos limites de controle e se nenhum limite está em desacordo;
- Verificar se nos passos anteriores está conforme os parâmetros estabelecidos, caso as duas condições forem satisfeitas podemos afirmar que o processo está sob controle estatístico, e o próximo passo é avaliar a capacidade do processo;
- Caso haja pontos fora dos limites de controle ou algum parâmetro em desacordo, identifica-se que o processo está fora da condição de controle estatístico. Neste caso, deve-se fazer um diagnóstico para identificar as possíveis inconsistências em cada ponto;
- Após a identificação das causas de não conformidade, esses pontos devem ser eliminados da amostragem e novos limites experimentais devem ser calculados e analisados.

Esses passos devem ser executados até que se conclua que o processo está fora ou sob controle estatístico. Ao seguir cada etapa, pode proporcionar uma diminuição das falhas ao analisar as cartas de controle, se os passos forem executados continuamente, podem restar poucos pontos para análise, o que diminui a representatividade do processo para essa situação a solução é coletar novas amostras e reiniciar a análise. Apontar pontos fora dos limites de controle é uma atividade simples, entretanto, identificar configurações não-aleatórias é uma tarefa que gera muitas dúvidas e que requer uma pesquisa minuciosa, daí a utilização do CEP para tais dificuldades (WERKEMA, 2012).

2.6 - Pontos Fora dos Limites de Controle

Ao verificar os pontos fora dos limites de controle, percebe-se que há uma falta de controle de um processo, na qual demanda uma imediata causa de variação que é responsável pelo acontecimento. As causas possíveis ao ocorrer uma incoerência dentro de um processo necessitam ser investigado, muitas vezes ocorrem em decorrência de erros

de registro dos dados de cálculo ou de medição, utilização de instrumento fora de calibre, ação incorreta realizada por algum operador.

2.7 - Ferramentas da qualidade

É uma ferramenta que representa e registra tendências de desempenho sequencial ou temporal de um processo, ou seja, mostra características de controle de qualidade e sua variação ao longo do tempo. Através da análise do gráfico, é possível verificar se o processo está ou não sob controle, monitorando e detectando possíveis causas de variação. Um gráfico de controle típico exibe três linhas paralelas: A linha central que representa o valor médio da característica de qualidade, o Limite Superior de Controle (LSC) e o Limite Inferior de Controle (LIC).

Com o objetivo de facilitar a aplicação do controle estatístico de processos no estudo de variabilidades para melhoria de qualidade em aplicações problemas de probabilidade e estatística foram utilizadas as ferramentas do software estatístico que facilitou na aplicação de conceitos, coleta e interpretação de dados. Os métodos estatísticos são ferramentas eficazes para melhoria do processo produtivo e redução de seus defeitos. No estudo desenvolvido utilizamos algumas ferramentas da qualidade na redução da variabilidade.

2.8 - Cartas de Controle

Uma carta de controle é uma representação gráfica da medida de uma característica da qualidade que permite a distinção entre os dois tipos de causas de variação informando assim, se o processo está ou não sob controle estatístico (MANN, 1992). Essas cartas possui uma linha central que representa o valor médio da característica da qualidade correspondente ao estado sob controle. Além desta linha, são mostrados também o limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC), os quais são apropriadamente escolhidos, de maneira que, se o processo estiver sob controle, a totalidade dos pontos amostrais estará entre eles.

Na eventualidade de um ponto fica fora dos limites, evidenciará que o processo está fora de controle, sendo necessária uma investigação e a correspondente ação corretiva para encontrar e eliminar a causa do problema. Outro indicativo de processo fora do controle é a localização de maneira sistemática ou não-aleatória dos pontos, mesmo dentro dos limites de controle.

As cartas de controle foram desenvolvidas por Shewhart em 1920, e são utilizadas na monitoração de um processo. Estas cartas podem ser de tipo variável (quantitativo) e do tipo qualitativo (atributos). São baseadas a partir do histórico de um processo controlado. Elas possibilitam a supervisão do sistema e baseiam suas decisões nas suposições de normalidade (TALIB, 2010). Possuem uma leitura simples que permite o estabelecimento da variabilidade exibida pelo processo. Elas são compatíveis com as condições normais de operação dos gráficos de

controle. Quando alguma anomalia ocorre, elas são assinaladas e corrigidas (REIS, 2016). Existem dois tipos básicos de cartas de controle de qualidade: as cartas baseadas em variáveis e as cartas baseadas em atributos. Cada amostra inspecionada é testada para determinar se está ou não conforme com os requisitos.

Os controles de atributos são aqueles que se baseiam na verificação da presença ou ausência de um atributo conforme (WERKEMA, 1995; LIMA, 2006). As cartas por variáveis baseiam-se na distribuição contínua das medições que medem o grau de aceitabilidade. Variáveis são características cujo resultado está associado a algum tipo de medição, como, por exemplo, velocidade, tempo, comprimento, resistência, dentre outros (ALVES, 2003). Os controles de variáveis são aqueles que se baseiam em medidas das características de qualidade, ou seja, quando a característica da qualidade é expressa por um número em uma escala contínua de medidas (WERKEMA, 1995). As cartas de controle de qualidade, quer por variáveis quer por atributos, desenvolvidas com base em algumas características de qualidade, ajudam a manter o produto sob controle, segundo (LACHMAN, 2001; LIMA, 2006). Os gráficos de controle são uma organização que permite comparar resultados obtidos com resultados médios anteriores, com a definição de limites superiores e inferiores ao que se considerar aceitável.

A área da qualidade conta com sete ferramentas que auxiliam na melhoria de produtos, serviços e processos, sendo elas: Fluxograma, Diagrama de Ishikawa (Espinha-de-Peixe), Folha de Verificação, Diagrama de Pareto, Histograma, Diagrama de Dispersão e Cartas de Controle (MAGALHÃES, 2012).

Classificamos os gráficos de controle abaixo:

2.8.1 - As Folhas de Verificação

São formulários simples usados para facilitar a coleta dos dados de forma padronizada e organizada. Elas já estão em formatos prontos, contento os itens com as informações necessárias, permitindo uma rápida percepção da realidade e uma imediata interpretação da situação, segundo (PRIES e QUIGLEY, 2013).

2.8.2 - A Estratificação

De acordo com CARPINETTI (2012), a estratificação é uma ferramenta que consiste na divisão de diversos subgrupos com características distintas ou estratificação. A estratificação tem como objetivo identificar como cada fator pode afetar o processo ou problema.

2.8.3 - O Gráfico de Pareto

É utilizado para identificar as causas dos problemas como produtos confeccionados que necessitam de retrabalho, gastos desnecessários, acidente de trabalho, quebra de equipamento, erros e atrasos de entrega entre outros (VIEIRA, 1999). É composto por um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências dos problemas em ordem decrescente. Foi desenvolvido por Joseph Moses Juran, consultor de qualidade, que observou que poucos fatores seriam responsáveis pela maioria dos problemas (ROSE, 2005).

2.8.4 - Histograma

Conforme (WERKEMA, 2006), o histograma é um gráfico de barras em que no eixo horizontal é subdividido em diversos intervalos pequenos, que apresenta os valores determinados de uma variável de interesse. Cada barra é construída em intervalos pequenos e com a proporção com que o intervalo ocorre, isto facilita a percepção do valor central como também a visualização da forma de distribuição de dados (TRIVELLATO, 2010).

2.8.5 - Diagrama de Dispersão

É responsável pelo auxílio da identificação de relações entre um defeito e uma causa, ou seja, objetiva identificar a relação entre duas variáveis ou até mesmo a relação de uma terceira causa. Sendo que as relações entre as variáveis podem ser: positivas, negativas ou inexistente, segundo (CARPINETTI, 2010; MONTGOMERY, 2009).

2.8.6 - Gráfico de Controle

De acordo (WERKEMA, 2006), o gráfico de controle é todo bem tangível, ao ser confeccionado, possui uma variação decorrentes do processo. Sabe-se que essas variações devem ser estritamente reduzidas. Os gráficos são utilizados para monitorar a variabilidade distinguindo os tipos de variação e avaliar a estabilidade do processo, sendo este está sob controle ou não. Porém o processo pode sofrer variações de causas comuns ou especiais (WERKEMA, 2006). Estes gráficos foram criados por Shewart, e são compostos por limite central ou médio (LC), limite inferior (LI) e limite superior (LS) sua principal função é indicar se o processo se encontra sob controle ou não, ou seja, se o processo está confeccionando produtos conformes ou não conformes as especificações. A análise do processo é feita a partir da verificação do gráfico de controle, observando se os pontos plotados no mesmo estão entre os limites superior e inferior de especificação, segundo (CARPINETTI, 2010; MONTGOMERY, 2009).

Há dois tipos de gráficos de controle sendo estes por variáveis ou por atributos. Os gráficos por variáveis são utilizados quando as características do produto são quantitativas dadas por números contínuos. Os gráficos para atributos são utilizados quando as características são denominadas qualitativa (WERKEMA, 2006). O intuito é analisar, pois possibilita melhorar a capacidade do processo através da redução da variabilidade em questões de estatística.

O estudo das aplicações com carta em Software Minitab foi feita através da metodologia quantitativa que permite comprovar as relações entre suas variáveis relacionadas e seu grau de dispersão. A pesquisa desenvolveu-se através da construção das análises multivariada com programa estatístico pelo método quantitativo, tendo como apoio os dados de variáveis quantitativas contínua (CRESPO, 2002).

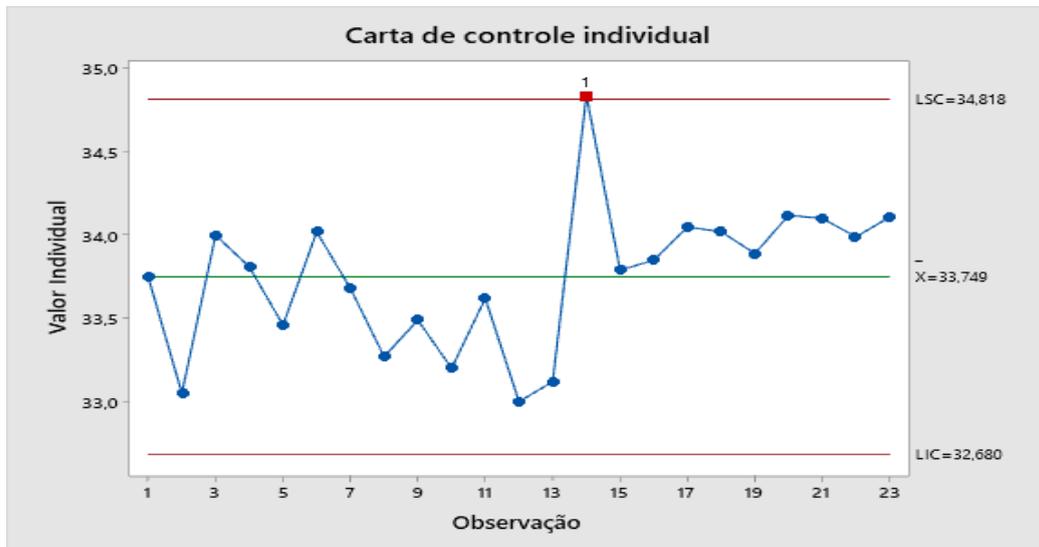
As cartas é um tipo de gráfico muito utilizado para o acompanhamento de um processo, possui a vantagem de ser um controle em variabilidades em questões de ciências da educação, melhorando a qualidade no processo.

A característica típica de uma carta de controle é de fazer uma representação gráfica de uma característica de qualidade, contendo uma linha central (LC) que consistido valor médio das amostras, uma linha superior e inferior, denominados de limite superior de controle (LSC ou UCL) e limite inferior de controle (LIC ou LCL) (MONTGOMERY, 2004). Esses limites são utilizados como base para definir se o processo está ou não sob controle estatístico. Os limites de controle podem ser descritos pela média das amostras, que é a LC mais e menos três desvios-padrão dessa média para o LSC e LIC respectivamente, conforme (COSTA, 2005; HENNING, 2011).

Para que o processo seja considerado sob controle estatístico os pontos amostrais de uma variável qualquer devem estar situados dentro dos limites superior e inferior de controle, além de estarem variando aleatoriamente em torno da linha central, ou seja, não podem existir pontos seguidos representando alguma tendência nos dados. Esse tipo de comportamento caracteriza que apenas causas comuns, ou seja, variações inerentes ao processo estão agindo sobre o mesmo, estas variações são inevitáveis e é preciso aprender a conviver com elas. Além das causas comuns o processo também está sujeito a outro tipo de causas de variabilidade que aumentam de maneira significativa à variabilidade do processo. São essas as chamadas causas especiais, que fazem com que uma amostra estejara dos limites de controle ou comportando-se de maneira não aleatória.

Conforme a Figura 2.1 o ponto está fora do limite LSC.

Figura 2.1 - Modelo de gráfico com ponto fora do limite LSC.



Segundo a Figura 2.2 mostra os pontos sob controle

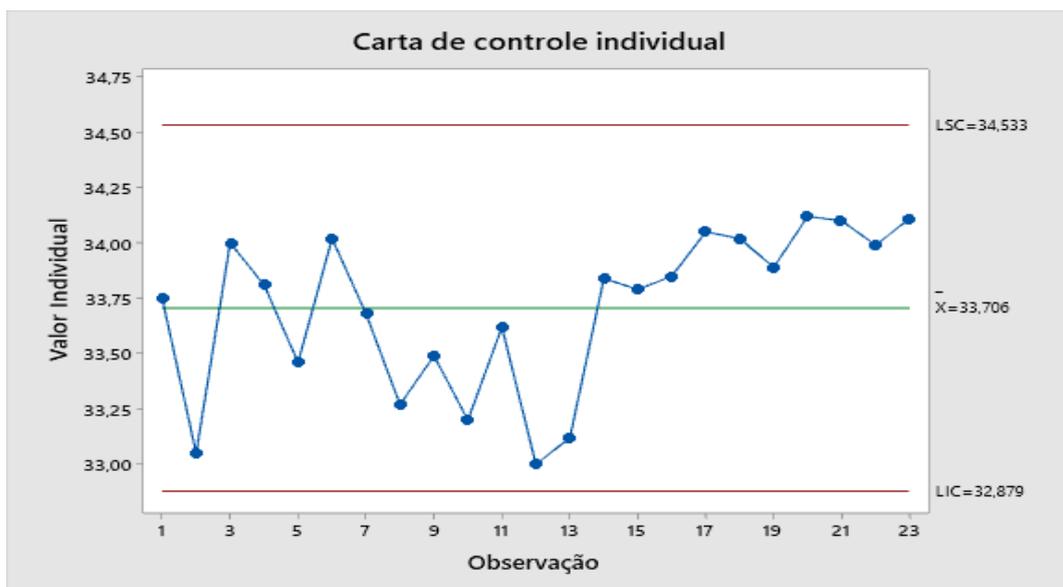


Figura 2.2 - Gráfico sob controle.

Na Figura 2.1, pode-se identificar ponto amostral fora de controle sinalizando possíveis causas especiais no ponto de número 15 que caracterizam o processo como fora de controle estatístico. A Figura 2.2, apresenta o processo sob controle.

Os gráficos de Controle: Serve para analisar as variações do processo de causas comuns, e detectar as especiais, é uma ferramenta denominada de Cartas ou Gráficos de Controle. A análise da capacidade de um processo é uma parte vital de um programa global de qualidade. Entre as

principais utilizações de dados de uma análise de capacidade de um processo destacam-se (MONTGOMERY, 2004).

As funções destes gráficos são:

- Mostrar evidências de que um processo esteja operando em estado de controle estatístico e dar sinais de presença de causas especiais de variação para que medidas corretivas apropriadas sejam aplicadas;
- Manter o estado de controle estatístico estendendo a função dos limites de controle como base de decisões;
- Apresentar informações para que sejam tomadas ações gerenciais de melhoria dos processos. Reduzir a variabilidade em um processo de variação.

Observa-se na Figura 2.3 os pontos amostrais sob controle.

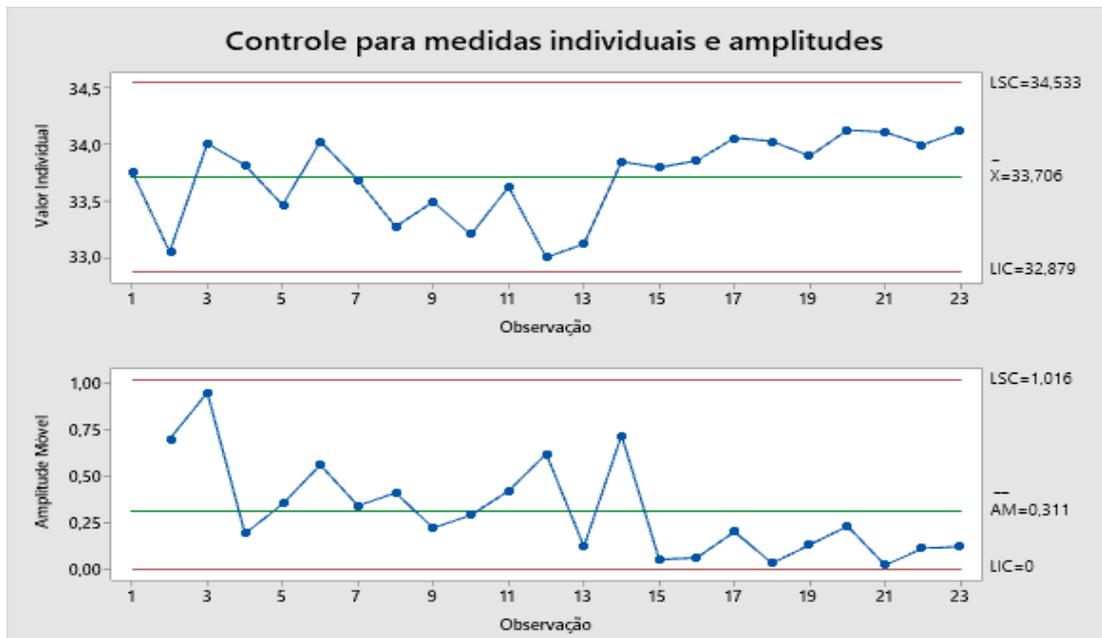


Figura 2.3 - Sob controle com limites LC, LIC e LSC.

Análise dos gráficos de controle: Instrumentos para o monitoramento da variabilidade e estabilidade do processo. Componentes de um gráfico de controle: uma linha média LM, limite inferior de controle LIC e limite superior de controle LSC. Para construção desses gráficos é preciso seguir etapas conforme destaca a autora (WERQUEMA, 1995).

- Identificar a característica da qualidade a ser construído no processo que será monitorado: números de defeitos, custo, tempo gasto em determinado processo padronizado, teor em miligramas e diâmetro;
- Escolher o tipo apropriado de gráfico para apresentar as características do processo

- monitorado;
- Determinar os métodos de amostragem: tempo, quantidades, custo e número de defeitos;
 - Coletar uma amostra de dados;
 - Analisar e calcular amostra das médias, limites superiores e inferiores;
 - Construir o gráfico de controle baseado nos dados das amostras;
 - Alimentar com mais dados a medida do tempo e monitorar as causas comuns e causas especiais;
 - Avaliar qualquer dado fora do limite no gráfico de controle.

2.9 - Critérios Para Identificar Causas Especiais

MONTGOMERY (2004) sugere um conjunto de regras de decisão para adistinção de padrões não aleatórios em gráficos de controle.

1. Identificar seis, oito ou mais pontos acima ou abaixo da linha central.
2. Encontrar seis, sete ou mais pontos subindo ou descendo.
3. Verificar o deslocamento da média.
4. Pontos fora dos limites de controle.
5. Periodicidade dos pontos.

Na Figura 2.4, pode-se observa os pontos amostrais abaixo da linha central.

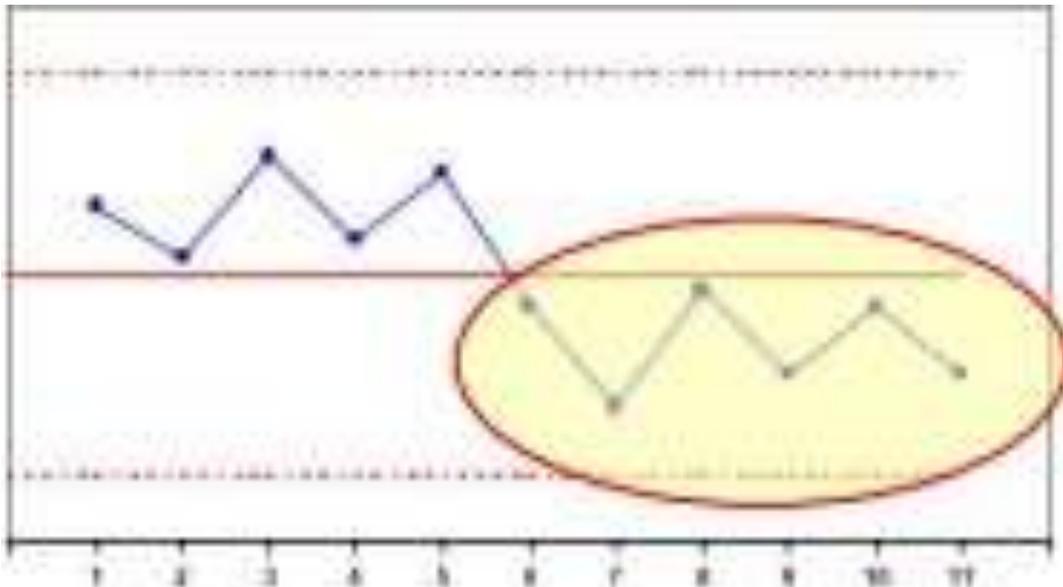


Figura 2.4 - 1º regra seis pontos abaixo da linha central.
Fonte: WERKEMA (2014).

Observa-se na Figura 2.5, ponto amostral subindo e descendo a linha central.

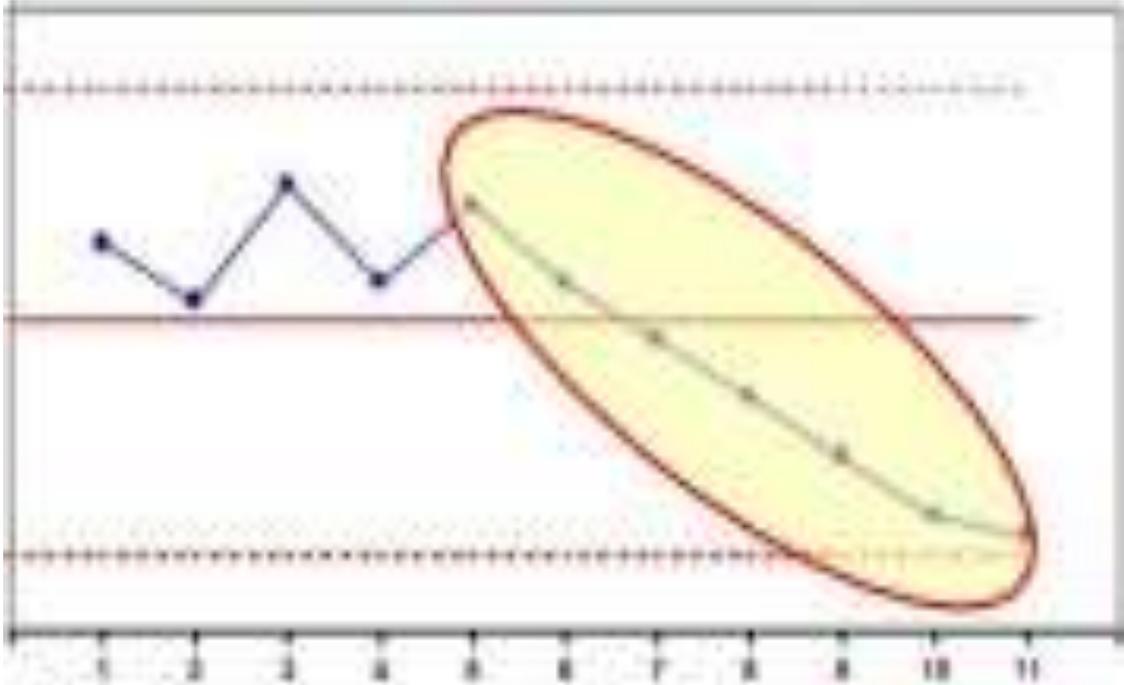


Figura 2.5 - 2º regra encontrar sete pontos subindo ou descendo.

Fonte: WERKEMA (2014).

Observa-se na Figura 2.6, 3º regra verificar o deslocamento da média

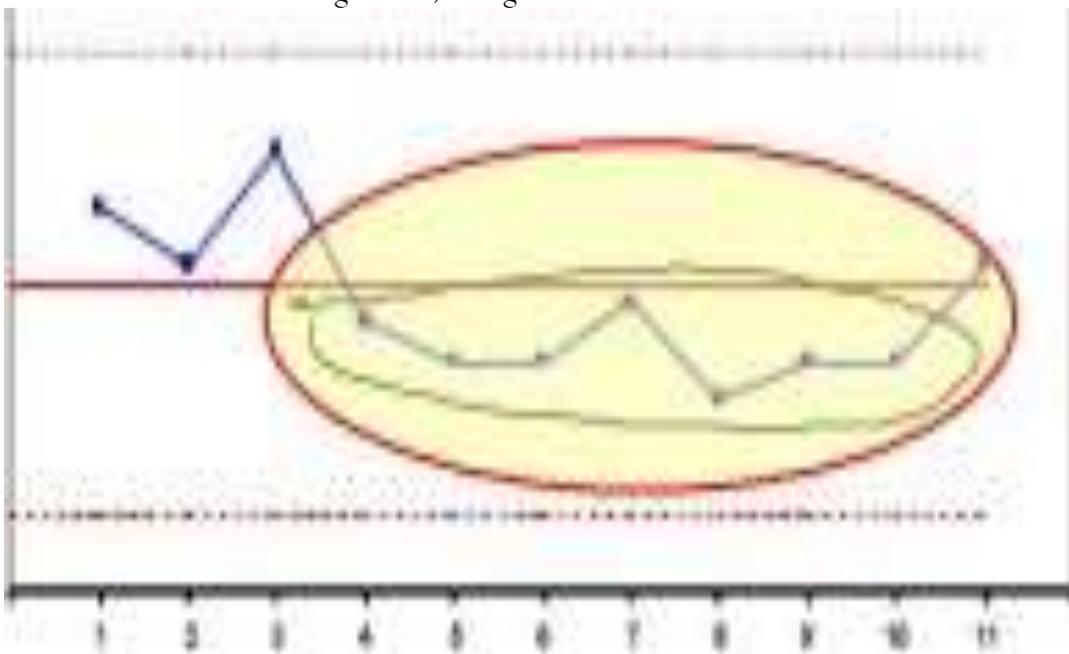


Figura 2.6 - 3º regra média em deslocamento.

Fonte: WERKEMA (2014).

Percebe-se na Figura 2.7, pontos fora dos limites de controle.

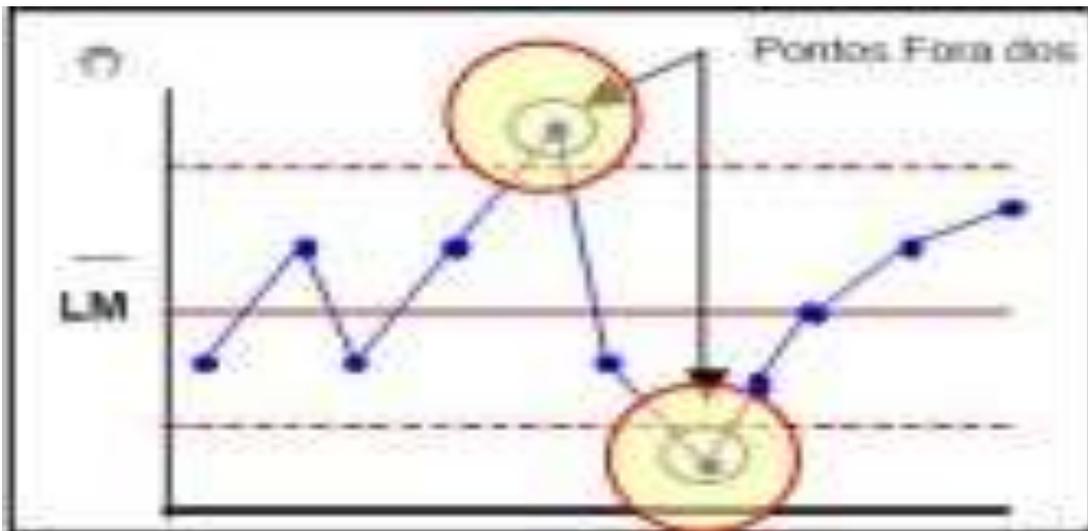


Figura 2.7 - 4ª regra limites fora de controle.

Fonte: WERKEMA (2014).

Observa-se na Figura 2.8, 5ª regra periodicidade dos pontos.

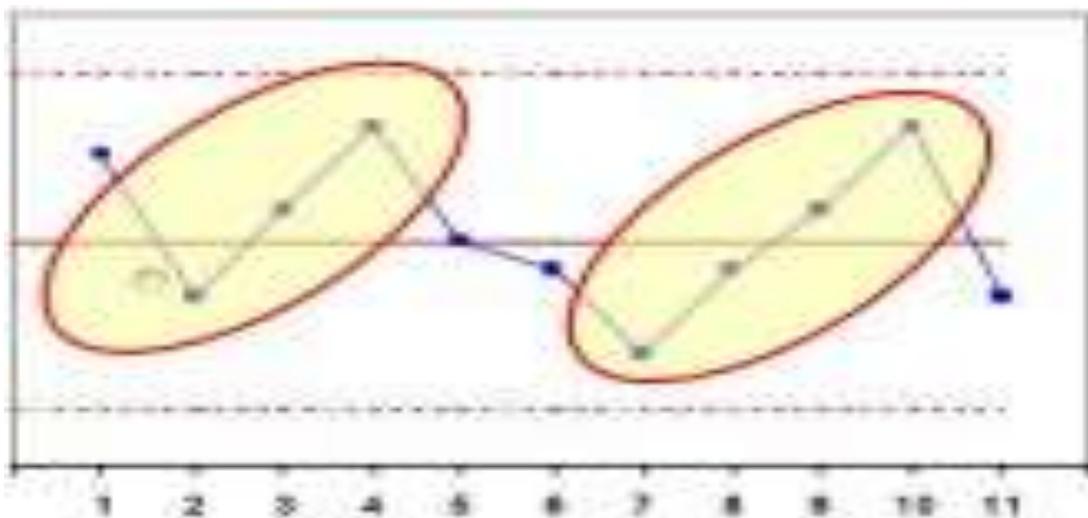


Figura 2.8 - 5ª regra pode-se observar que apresenta uma convergência para cima e para baixo nos intervalos de tempo com aproximadamente a mesma amplitude isso se denota uma periodicidade.

Fonte: WERKEMA (2014).

2.10 - Aplicação da Carta de Controle

Os gráficos de controle envolvem registros cronológicos regulares de dados amostrais quantitativos de uma ou mais características por exemplo, média, amplitude, desvio padrão, calculadas em amostras obtidas de medições em fases apropriadas do processo. Esses valores são dispostos, pela sua ordem, em um gráfico que possui uma linha central e dois limites, denominados limites de controle, fornecendo uma regra de decisão em que pontos dispostos fora

dos limites de controle indicam que o processo está fora de controle. Se todos os pontos dispostos estão dentro dos limites e dispostos de forma aleatória, consideramos que não existem evidências de que o processo esteja fora de controle. A análise da estabilidade do processo é considerada estável quando não apresenta causas especiais, ou seja, quando os pontos estão dentro do limite de controle isto é que se espera do processo (WERQUEMA, 1995).



Figura 2.9 - Pontos amostrais acima do LSC e abaixo do limite LIC.

A Figura 2.9 apresenta a carta de controle sinalizando pontos fora dos limites de aceitação, expondo a necessidade de retirada desses pontos para avaliação das causas prováveis de descontrole no processo.

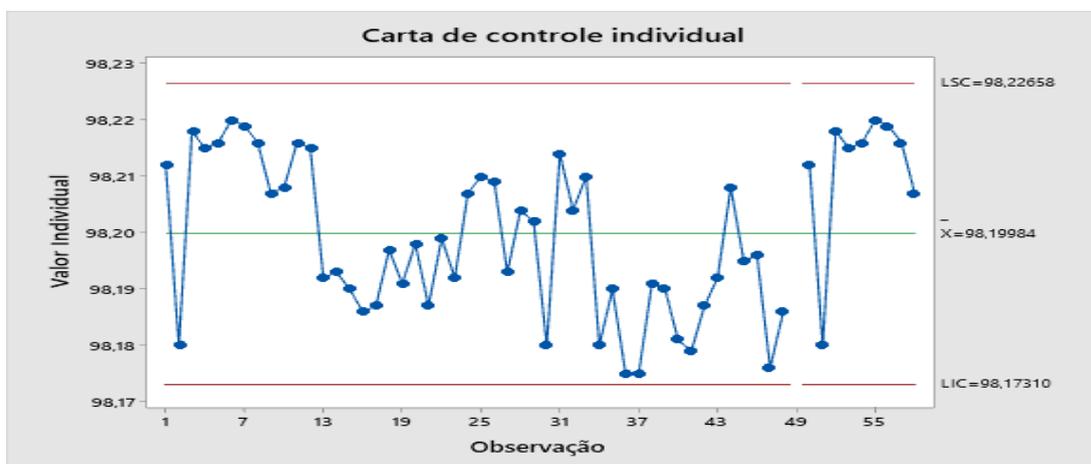


Figura 2.10 - Carta sem os pontos fora dos limites de controle.

A Figura 2.10 explicita o processo controlado. Após a retirada dos pontos que se encontravam fora dos limites de controle e efetiva sinalização das causas motivadoras do descontrole do processo foi executada análise estatística para entendimento do grau de variabilidade aceitável no processo.

É possível observar na Figura 2.9 que os dados estão dispostos entre os limites do intervalo, exceto três observação. Observe que há indícios de falta de aleatoriedade, entretanto, a próxima Figura 2.10 com a realização de correções apresenta um comportamento sob controle.

2.11 - Gráficos de Controle por Atributos e Variáveis

Nas cartas por atributos, as unidades são classificadas em perfeitas ou defeituosas de acordo com o critério estabelecido. Portanto a probabilidade de ser produzida uma unidade defeituosa é constante, e, conseqüentemente, a distribuição amostral correspondente é binomial, segundo (CHAVES e TEIXEIRA, 1997). As cartas de atributo são usadas para o controle da análise de defeitos. Esses gráficos são especialmente úteis no controle de matérias-primas e de produtos acabados, sendo também usados na análise de comentários sobre a qualidade em cartas de consumidores. Um atributo é uma característica de um produto, de um processo ou de qualquer outra população que puder ser contada, mas não pode ser descrita, de modo que seus valores sejam incrementados (RODRIGUES, 1998). São gráficos que nos possibilitam identificar como os conjuntos de amostras se comporta em termos dos limites, tendências e troca de níveis nas variáveis percebe-se rapidamente quando os dados não seguem uma distribuição aleatória. Os gráficos de controle para atributos são aplicados, onde as características são expressas qualitativamente, ou seja, quando essas características analisadas não são representadas numericamente, podendo ser classificadas em conforme ou não conforme (SOUZA, 2005). São as medidas representativa que resultam de contagens do número de itens do produto em escala discreta que apresentam uma característica particular de interesse, as medições são feitas por inspeção visual registra as características não mensuráveis. Pode ser dito gráfico de controle por variável aleatória discreta com função de densidade de probabilidade de Poisson (LAGO, 1999).

A maior vantagem que as cartas de atributo possui é em função de sua própria natureza é bastante eficaz para explicar suas técnicas às pessoas envolvidas com a produção e o gerenciamento como são construídas essas cartas, pois uma pessoa que tenha conhecimento com relação ao Software pode entender o significado de percentual de defeituosos ou número total de defeitos em um lote. A matemática das cartas de atributo não requer tabelas. Elas podem ser aplicadas a sistemas nos quais as medidas consistem em aprovar ou reprovar ou a processos em que é muito difícil ou impossível obter medidas de variáveis (RODRIGUES, 1998).

As cartas de controle por variáveis têm a finalidade de informar a respeito da melhoria da qualidade, capacidade do processo, tomadas de decisões relativas à especificação do produto, processo de produção e decisões sobre peças recém produzidas, pois a mesma registra as características mensuráveis do produto, já os de atributo registra as características não mensuráveis (SIQUEIRA, 1997). Os gráficos de controle para variáveis são aplicados onde as características de

qualidade possam ser medidas quantitativamente. Podem ser, por exemplo, dimensões de peças, volume, peso dentre outros. Assim, percebe-se o seu amplo espaço de aplicação, já que diversos tipos de processos possuem esses tipos de características (MAGALHÃES, 2011). Os gráficos de controle para variáveis são mais utilizados que os gráficos de controle para atributos, pois possuem informações mais concretas, trabalhando com amostras pequenas, permitindo identificar de forma mais rápida as causas que afetam a estabilidade do processo (REBELATO, 2006). Os gráficos de controle para variáveis são gráficos para médias, utilizado para o controle do valor médio do desempenho do processo, gráfico da amplitude ou gráfico de desvio padrão, sendo o gráfico da amplitude mais utilizado, pelo fato de que, na maioria das vezes, o desvio padrão do processo não é conhecido (CASTRO, 2012).

As cartas de pôr variáveis e atributos estão subdividida em: Gráfico de Controle para Média X-Barra e Amplitude (R), gráfico da Média X-Barra e Desvio Padrão (S), Gráfico P Proporções não Conforme, Gráfico U e gráfico C. São comumente usados no controle de variabilidade em aplicações de estatística e cada uma possui uma utilização específica.

2.11.1 - Gráfico de Controle para Média X-Barra E Amplitude (R)

O gráfico de controle para média (gráfico *X-barra*) é usado para controlar a média do processo enquanto o gráfico de controle da Amplitude ou Range (gráfico *R*) é usado para controlar a variabilidade do processo em questão. Estes gráficos são os mais usados e devem ser empregados simultaneamente. Para a elaboração de gráficos de controle de variáveis primeiramente fala-se do gráfico de média, onde são feitos com base na teoria estatística da distribuição normal, quando a norma de controle, isto é, a média m e o desvio padrão σ da característica de qualidade considerada é reconhecida quando esta norma de controle é desconhecida (MONTGOMERY, 1997). Expressões para o cálculo dos limites de controle dos \bar{X} e R .

Gráfico de controle \bar{X}

A linha central e os limites superior e inferior de controle para o gráfico de controle \bar{X} são:

$$LSC = \bar{X} + A_2 \bar{R} \quad LM = \bar{X} \quad LIC = \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad (2.6)$$

Gráfico de controle R

A linha central e os limites superior e inferior de controle para o gráfico de controle

R são:

$$LSC = D_4 \bar{r} \quad LC = \bar{r} \quad LIC = D_3 \bar{r} \quad (2.7)$$

2.11.2 - Gráfico Da Média X-Barra e Desvio Padrão (S)

O gráfico de controle para média (gráfico *X-barra*) é usado para controlar a média do processo e o gráfico de controle de (gráfico desvio padrão S) é empregado para o controle da variabilidade do processo. Para o gráfico do desvio-padrão S da característica de qualidade conhecido, a distribuição amostral do desvio padrão S é a de que-quadrado, com $v = n - 1$ grau de liberdade. Mas adotando-se o intervalo de 3 sigma da distribuição normal é satisfatória, podendo ser tabelados coeficientes, em função do tamanho n, segundo (CHAVES e TEIXEIRA, 1997).

Gráfico de controle \bar{X}

A linha central e os limites superior e inferior de controle para o gráfico de controle \bar{X} são:

$$LSC = \bar{X} + A_2 \bar{R} \quad LM = \bar{X} \quad LIC = \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad (2.8)$$

Gráfico de controle S

$$LSC = B_4 \bar{s} \quad LM = \bar{s} \quad LIC = B_3 \bar{s} \quad (2.9)$$

2.11.3 - Gráfico P Proporções não Conforme

O gráfico p é utilizado quando a característica da qualidade de interesse é representada pela proporção de itens defeituosos produzidos pelo processo considerado. Na carta p o lote de tamanho constante é usado para determinar o controle do percentual de itens defeituosos e estabelecer se o processo está ou não sob controle para um determinado período de tempo. A Carta p com lote de tamanho variável controla o percentual de unidades defeituosas quando o número de unidade varia de amostra para amostra. Determina se um processo está sob controle para cada limite de controle do lote (WERKEMA, 2012).

Gráfico de controle P

$$LSC = P + \frac{3 \sqrt{P(1-P)}}{N} \quad LM = P \quad LIC = P - \frac{3 \sqrt{P(1-P)}}{N} \quad (2.10)$$

Gráfico NP Unidades não conforme

O gráfico NP é aplicado na classificação de um produto como defeituoso ou não defeituoso, baseado na comparação com um padrão. Carta NP é também conhecida por carta m: indica o número de defeitos por amostra e é usada para controlar o número de produtos defeituosos em cada lote e assegurar que o processo esteja sob controle. Requer que o lote tenha tamanho constante, conforme (CHAVES e TEIXEIRA, 1997).

A linha central e os limites superior e inferior de controle para o gráfico np são:

$$LSC = n\bar{P} + 3\sqrt{n\bar{P}(1-\bar{P})} \quad LC = n\bar{P} \quad LIC = n\bar{P} - 3\sqrt{n\bar{P}(1-\bar{P})} \quad (2.11)$$

2.11.4 - Gráfico C Número de não conformidade por Unidade

O gráfico C é empregado nas situações em que é necessário controlar o número total de defeitos em uma unidade de produto usada para determinar se o número de defeito em um único item está dentro dos limites de controle determinados. Pode ser considerada como inspeção final (MONTGOMERY, 1997).

Portanto os limites de controle do gráfico C serão calculados por meio das Equações:

$$LSC = \bar{C} + 3\sqrt{\frac{\bar{C}}{N_i}} \quad LM = \bar{C} \quad LIC = \bar{C} - 3\sqrt{\frac{\bar{C}}{N_i}} \quad (2.12)$$

Gráfico U Taxa de não conformidade por Unidade

O gráfico u é utilizado para monitorar defeitos em uma unidade de produção (MONTGOMERY, 1997).

Gráfico U

A linha central e os limites superior e inferior de controle para o gráfico U são:

$$LSC = \bar{U} + 3\sqrt{\frac{\bar{U}}{n}} \quad LC = \bar{U} \quad LIC = \bar{U} - 3\sqrt{\frac{\bar{U}}{n}} \quad (2.13)$$

2.12 - Análise de Capacidade

A partir das cartas de controle nos possibilitou verificar se o processo está sob controle estatístico, através das análises dos resultados obtidos em relação aos limites de controle. A análise de capacidade permite fazer uma verificação levando em consideração as especificações do produto para identificar a capacidade do processo em produzir itens conformes através dos índices C_p , C_{pk} , P_p e P_{pk} . Cada índice gera uma informação diferente. Os índices de C_p e C_{pk} são utilizados para fazerem análises de capacidade de processos sob controle estatístico, enquanto os índices P_p e P_{pk} são para processos que não estão sob controle estatístico. (MONTGOMERY, 2004). Ainda que quando um processo está sob controle os índices C_p e P_p são iguais, assim como C_{pk} e P_{pk} .

Uma ressalva deve ser feita em relação aos índices P_p e P_{pk} , apesar destes serem utilizados e alguns autores indicam seu uso, segundo (COSTA, 2005 e TONINI, 2010). Para calcular os índices de capacidade são necessários, os limites de especificação, ou seja, os requisitos mínimos necessários para que o produto, ou processo possa ser considerado (MACHADO, 2010). Dessa maneira calcula-se o C_p para encontrar as especificações bilaterais. Ressalta que como geralmente não se possui o desvio padrão populacional, o mesmo deve ser estimado a partir do desvio padrão amostral (MONTGOMERY, 2004).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.14)$$

A característica do C_{pk} , é de levar em consideração o posicionamento dos dados, é devido ao fato de que ele é formado por outros dois coeficientes que analisam separadamente os limites superior e inferior de especificação de acordo com as equações, segundo (FOGLIATTO, 2003 e MACHADO, 2010).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad C_{pK} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (2.15)$$

2.13 - Regressão Linear Múltipla

A análise de regressão múltipla é uma técnica utilizada para investigar a relação entre uma variável dependente e um conjunto de variáveis independentes segundo (MONTGOMERY e RUNGER, 2009). A técnica permite a estimação de valores futuros para a variável dependente, dado um conjunto de dados de entrada para as variáveis independentes, segundo (PEDRINI, 2009; DOWNING, 2002).

O modelo base de regressão linear múltipla onde β_j para $j=0,1,2,\dots,k$ são coeficientes de regressão, Y é a variável dependente dos regressões x_j e o valor e é o erroaleatório da equação. (MONTGOMERY, 2009).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \dots + \beta_K X_K + e \quad (2.16)$$

Depois da abordagem teórica referente as ferramentas metodológicas das cartas de controle em estudo, aplicou-se o Minitab no controle das variabilidades em aplicações com o intuito de obter resultados precisos e exatos.

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Materiais

Os materiais utilizados para o controle de variabilidade em aplicações foram as cartas de controle em Software Minitab.

3.2 - Métodos

Para realização do estudo foram utilizados o método quantitativo e a carta de controle do Software Minitab que atua como uma estratégia de melhoria baseado na redução de variabilidade em processos por meio da utilização de ferramentas e técnicas estatísticas para definir, medir, analisar e resolver problemas. O método quantitativo busca a validação dos dados mediante utilização de dados estatísticos com análise de um grande número de casos representativos. Ela quantifica os dados e generaliza os resultados da amostra para os interessados. Procura quantificar os dados e aplica alguma forma da análise estatística (OLIVEIRA, 2011). Conforme MICHEL (2005), o método quantitativo é uma metodologia de pesquisa social que utiliza a quantificação nas modalidades de coleta de informações e no seu tratamento, mediante técnicas estatísticas, tais como percentuais, média, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, entre outros. Enquanto o CEP da carta de controle são técnicas estatísticas que permite o monitoramento da qualidade e redução da variabilidade eficaz, e posteriormente, promovendo uma melhoria do processo produtivo (ROSA, 2009).

O estudo foi distribuído da seguinte forma: Escolha de aplicações a serem analisadas, determinação dos limites inferiores e superiores em parâmetros média e amplitude, distribuição de amostras e verificação de seus pontos, análise dos problemas pelas cartas e correção de causas especiais a partir das análises amostrais fora de controle. Teve como objetivo reduzir variações em problemas de estatística em uma instituição federal de ensino, a fim de estabelecer estabilidade nas questões propostas, evitando a ocorrência de anomalias no processo produtivo para isto, utilizou-se das cartas de controle por variáveis e atributos como técnicas de representação gráfica do processo produtivo em aplicações descritivas, onde foi constatado melhoria de estabilidade em relação as

variações dos defeitos amostrais identificando suas possíveis causas de variabilidade e verificando se o processo está sob controle. Para tanto, fez-se o uso dos gráficos para controlar as anomalias em pontos amostrais limitado pela carta.

Ao utilizar-se do Software Minitab como ferramenta de análise de dados a partir dos resultados encontrados entre limites de controle propiciou solucionar defeitos e melhorar a qualidade das questões estudadas no qual os gráficos de controle da média, amplitude e desvio-padrão foram escolhidos para o controle das variações da média em estatística aplicada. O instrumento teve como intuito identificar, analisar, comparar, corrigir e reduzir variabilidade nas aplicações com uso do Minitab que é um programa de computador proprietário voltado para fins estatísticos. (MINITAB, 2010). É uma ferramenta que nos permite realizar cálculos estatísticos complexos e visualizar os resultados, tornando as análises de dados acessíveis para o utilizador casual e conveniente para o utilizador mais experiente, conforme (PEREIRA e PATRÍCIO, 2016). Ou seja, essa metodologia é um recurso facilitador no controle de variações contribuindo nas resoluções de problemas complexos e não complexos, tornando os dados acessíveis para análises e identificação das variáveis em questão.

O estudo na redução da variação em aplicações foi desenvolvido, a fim de estabelecer um controle de processo durante as análises de aplicações, corrigindo anomalias nos intervalos dos gráficos, pois os mesmos serão analisados e controlados durante análises das aplicabilidades. Nesse sentido a autora (WERKEMA, 2006) afirma. “Essas ferramentas estatísticas além de priorizarem as aplicações proposta conforme o grau de importância, as mesmas tornam a identificação e auxiliam na ação sobre os problemas para a eliminação das possíveis causas. Possibilitando que a instituição possua um maior grau de estabilidade nas aplicações analisadas. Os dados foram coletados através de aplicações e cartas de controle pesquisado no período 05/06/2019 à 11/10/2021.

As análises dos dados adquiridos no controle de variabilidade foram realizadas através de tabelas e interpretação das cartas que representam a forma da metodologia analisada, ou seja, o tipo de variação que ocorreu no processo estatístico estudado obtido por meio dos cálculos das cartas de controle para média e amplitude, cartas para média e desvio padrão.

Cálculos estatísticos:

- Gráficos da média:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3.1)$$

– Gráfico de amplitude, R:

$$X_{maior} - X_{menor} \quad (3.2)$$

– Gráfico desvio padrão, s:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.3)$$

A Figura 3.1 ilustra o fluxograma esquemático do processo para controle de variabilidade iniciando na escolha das aplicações até o controle de variabilidade.

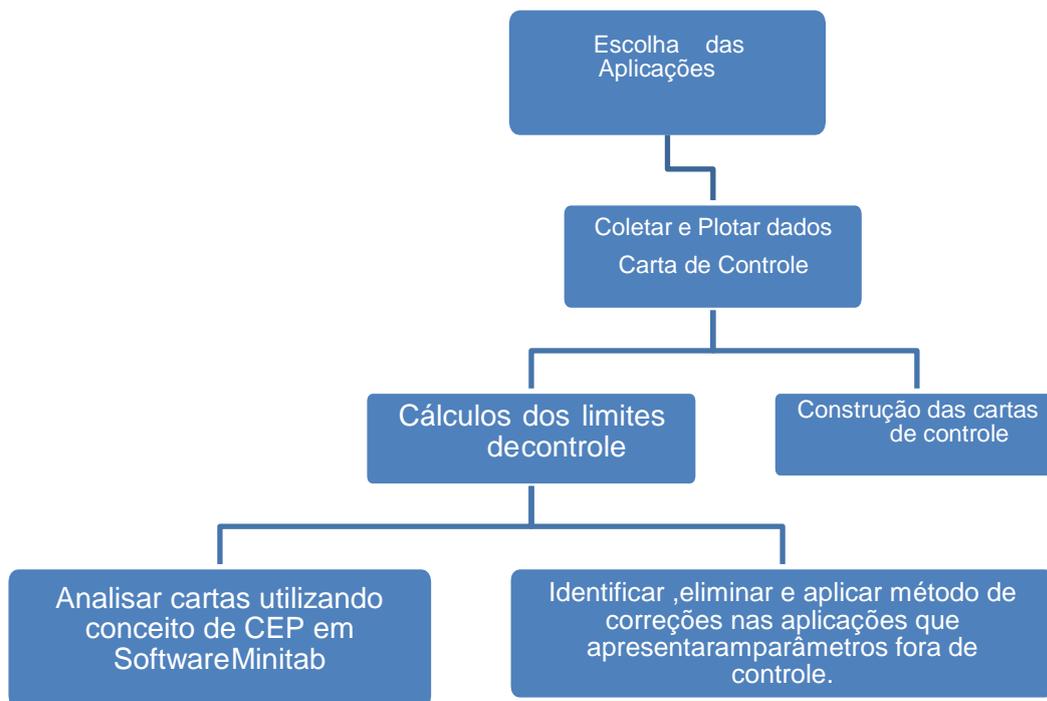


Figura 3.1 - Fluxograma do processo de aplicação do CEP nas cartas de controle.

No fluxograma da Figura 3.1 o processo para controle de variabilidade em aplicações é dividido em 6 etapas:

Etapa 1 – A escolha das questões fora feita pela pesquisa bibliográfica

Etapa 2 – Coleta de dados foi extraída de livros, revista, artigos, teses e dissertações.

Etapa 3 – No gráfico para variáveis e atributos os limites de controle são calculados conforme o tipo de variável. Cálculo da média, amplitude e desvio-padrão.

Cálculos estatísticos:

- Cálculo dos limites de controle para média e amplitude:

$$LSC = \bar{X} + A_2 \cdot \bar{R}, LC = \bar{X} \text{ e } LIC = \bar{X} - A_2 \cdot \bar{R} \quad (3.4)$$

- Cálculo dos limites de controle para gráfico C de controle:

$$LSC = \bar{C} + 3 \cdot \sqrt{\bar{C}}, LC = \bar{C} \text{ e } LIC = \bar{C} - 3 \cdot \sqrt{\bar{C}} \quad (3.5)$$

Os limites de controle são as linhas horizontais acima e abaixo da linha central que são usadas para julgar se um processo está fora de controle. Os limites LSC e LIC são baseados na variação aleatória no processo. Por padrão, os limites de controle do Minitab são exibidos 3 desvios padrão acima e abaixo da linha central.

Etapa 4 – Construção de carta de controle para variáveis e atributos.

Etapa 5 – As análises de dados foram feitas através do Minitab o qual permitiu realizar cálculos dos limites LSC, LIC, parâmetros médias, desvios padrão para comparação de teste de verificação.

Etapa 6 – Definição da variável de interesse escolha o tipo de dados que serão analisados, coleta de dados, escolher dos tipos de gráficos, análise dos dados e comparação dos resultados.

No monitoramento o processo, deve-se ter certeza de que o mesmo encontra-se sob controle estatístico. Isto requer conscientização, treinamento e esforço, pois para eliminar causas especiais, reduzir a variabilidade do processo e estabilizar seu desempenho, deve-se coletar os dados corretamente, interpretar os resultados, identificar a causa raiz de eventuais problemas, implementar ação corretiva e usar o gráfico como instrumento para verificar ou acompanhar a melhoria do processo (GRANATO, 2013).

Na Figura 3.2 apresenta as etapas do processo estatístico na melhoria da qualidade.

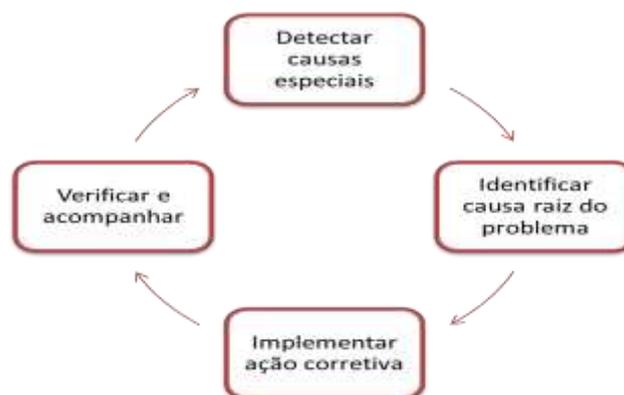
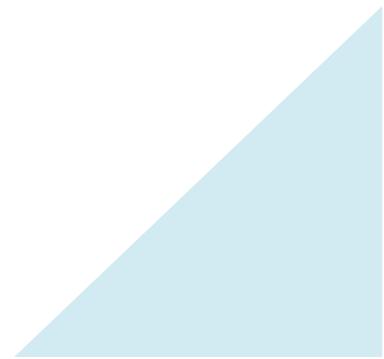


Figura 3.2 - Melhoria do processo com o uso de cartas de controle.
Fonte: Adaptado de MONTGOMERY (2009).

Como afirma MONTGOMERY (2009), após registrar qualquer variabilidade que possam ter ocorrido durante a execução das repetições de um subgrupo é importante recalculá-lo e interpretar a carta.



4.1 - A utilização das cartas de controle do MINITAB na redução de variabilidade em aplicação de problemas da ciência estatística e probabilidade

Após coletados e plotados os dados em problemas de ciências estatísticas, foram construídos alguns gráficos de variáveis e atributos nas cartas de controle do software Minitab para monitorar as perdas por variações. Para análises dos resultados, posteriormente determinou-se a faixa de tolerância composta pelos componentes: Limite Superior de Controle LSC, Linha Média LC e Limite Inferior de Controle LIC.

Após identificar, eliminar e reduzir causas de variabilidade trouxe possibilidade de melhoria na qualidade de aplicações. E através da verificação dos resultados obtidos nas análises de probabilidade será apresentado o controle de estabilidade nas causas dos defeitos em pontos amostrais nos gráficos, sendo que o controle de processo das amostras foi realizado com o intuito de controlar variações. As cartas informaram os seguintes resultados entre os parâmetros estatísticos: Cálculo da média do processo, Cálculo do desvio-padrão, Cálculo dos limites de controle LSC, LIC e amplitude nas aplicações abaixo:

4.2 - Aplicações de probabilidade e estatística na engenharia por carta de controle em software minitab na redução de variabilidade

Construções de gráficos em aplicações de estatística descritiva executada pela carta de controle em Software Minitab.

1. Os dados amostrais apresentam o número de não-conformidades observadas em 26 amostras sucessivas de 100 circuitos impressos. Observa-se que por comodidade limitou-se em 100 o número de não-conformidades possíveis, desta forma temos 26 amostras com 516 não-conformidades. Analise graficamente as amostras com o software Minitab.

De acordo com a Tabela 4.1 são apresentados os dados amostrais não-conformidades observadas em 26 amostras sucessivas de 100 circuitos impressos.

Tabela 4.1 - Dados dos circuitos impressos.

| AMOSTRA | NÃO CONFORMIDADES | FRAÇÃO DE DEFEITUOSOS |
|---------|-------------------|-----------------------|
| 1 | 21 | 0,21 |
| 2 | 24 | 0,24 |
| 3 | 16 | 0,16 |
| 4 | 12 | 0,12 |
| 5 | 15 | 0,15 |
| 6 | 5 | 0,05 |
| 7 | 28 | 0,28 |
| 8 | 20 | 0,2 |
| 9 | 31 | 0,31 |
| 10 | 25 | 0,25 |
| 11 | 20 | 0,2 |
| 12 | 24 | 0,24 |
| 13 | 16 | 0,16 |
| 14 | 19 | 0,19 |
| 15 | 10 | 0,1 |
| 16 | 17 | 0,17 |
| 17 | 13 | 0,13 |
| 18 | 22 | 0,22 |
| 19 | 18 | 0,18 |
| 20 | 39 | 0,39 |
| 21 | 30 | 0,3 |
| 22 | 24 | 0,24 |
| 23 | 16 | 0,16 |
| 24 | 19 | 0,19 |
| 25 | 17 | 0,17 |
| 26 | 15 | 0,15 |

Fonte: Adaptado de MONTGOMERY, (1991).

Na Figura 4.1 o gráfico de controle com dois pontos amostrais fora de Controle acima do LSC e o outro abaixo do LIC.

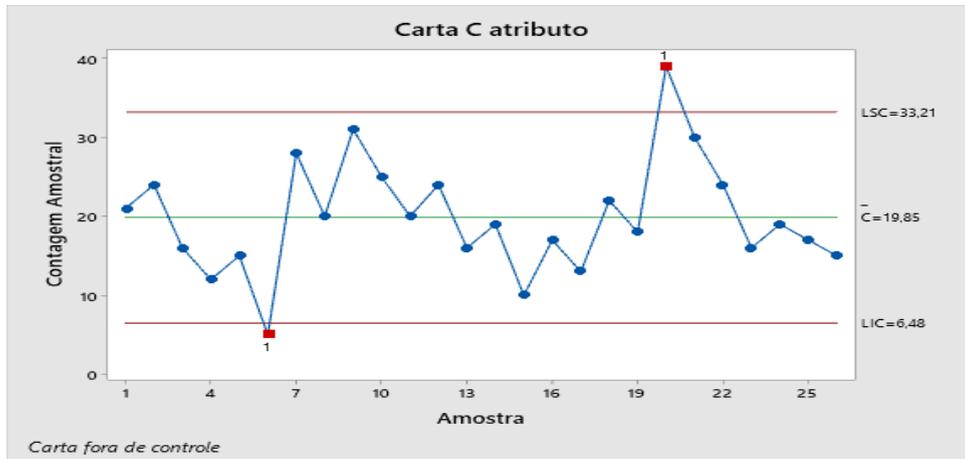


Figura 4.1 - Carta de controle com peças defeituosas fora de controle.

Os dados amostrais apresentam o número de não-conformidades observadas em 26 amostras sucessivas de 100 circuitos impressos. De acordo com a Figura 4.1 averiguamos que há variação entre o ponto 6 abaixo do limite inferior de controle LIC e o ponto 20 acima do limite superior de controle LSC, onde os dois pontos encontram-se fora do limite de controle ouve falha no teste 1, seu limite central é igual 19,85, limite superior de controle com o valor 33,21 e limite central inferior igual a 6,58, isso implica que os pontos 6 e 20 da máquina sofre influência de variabilidade com indícios de estar descalibrada. Para manter o processo sob controle recomendou-se remover as observações 6 e 20, alterar valores de não-conformidade ou construir um novo gráfico.

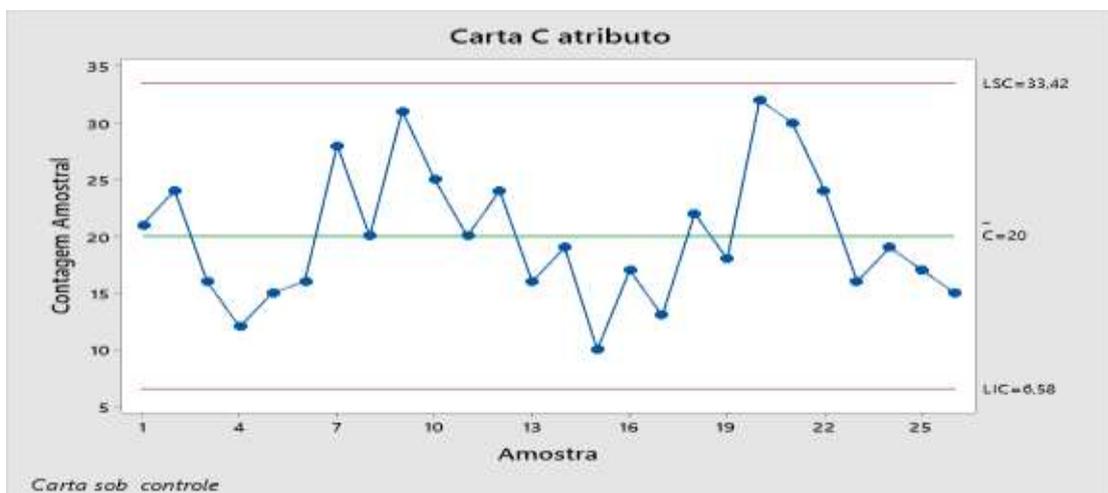


Figura 4.2 - Carta de controle com os limites ajustados.

Após verificação da anormalidade a Figura 4.2 O teste 2 no gráfico mostra os pontos sob controle em relação à média, onde houve modificação com a finalidade de manter o processo sob controle, na amostra 6 e não-conformidade 5 alterou-se para não-conformidade 16. Na amostra 20 de não-conformidade 39 modificou-se para não-conformidade 32. Essas mudanças executadas pela carta de controle seguidas de regras estatísticas reduziu as variabilidades e os pontos fora dos limites de controle foram ajustados. Concluímos que todas essas medidas estatísticas manteve o processo estável.

Depois de identificado, analisado, corrigido, reduzido e controlado o processo das amostras de não conformidade foi possível comparar os resultados obtidos com os resultados anteriores entre o processo: Processo fora de controle, LC igual a 19,85, desvio padrão igual a 7,16 e Amplitude do limite valor 34,0. Dois pontos um acima e outro abaixo permaneceram fora do limite. LIC e LSC. Processo sob controle LC igual a 20,00, desvio padrão igual 5,86 e Amplitude do limite valor 22,00. Todos os pontos amostrais permaneceram dentro dos limites de controle. Após comparação com os valores calculados para o processo sob controle para média que é 20,00 e o desvio padrão igual a 5,86 os pontos amostrais estão entre o LC, LIC e LSC ao longo do tempo para cada ponto amostral aleatório. Enquanto para o processo fora de controle a média que é 19,85 e o desvio padrão igual a 7,16 estão com um ponto não aleatório para 3 desvios abaixo da linha central e 3 desvios acima da linha central.

2. Construir os gráficos de controle para medidas individuais e amplitudes utilizando os dados de viscosidade da Tabela.

Tabela 4.2 - Controle para medidas individuais e amplitudes.

| Lote | Viscosidade | Amplitude |
|------|-------------|-----------|
| 1 | 33,75 | - |
| 2 | 33,05 | 0,7 |
| 3 | 34 | 0,95 |
| 4 | 33,81 | 0,19 |
| 5 | 33,46 | 0,35 |
| 6 | 34,02 | 0,56 |
| 7 | 33,68 | 0,34 |
| 8 | 33,27 | 0,41 |
| 9 | 33,49 | 0,22 |
| 10 | 33,2 | 0,29 |

| | | |
|----|-------|------|
| 11 | 33,62 | 0,42 |
| 12 | 33 | 0,62 |
| 13 | 33,12 | 0,12 |
| 14 | 34,84 | 1,72 |
| 15 | 33,79 | 1,05 |
| 16 | 33,85 | 0,06 |
| 17 | 34,05 | 0,2 |
| 18 | 34,02 | 0,03 |
| 19 | 33,89 | 0,13 |
| 20 | 34,12 | 0,23 |
| 21 | 34,1 | 0,02 |
| 22 | 33,99 | 0,11 |
| 23 | 34,11 | 0,12 |

Fonte: MONTGOMERY (2004).

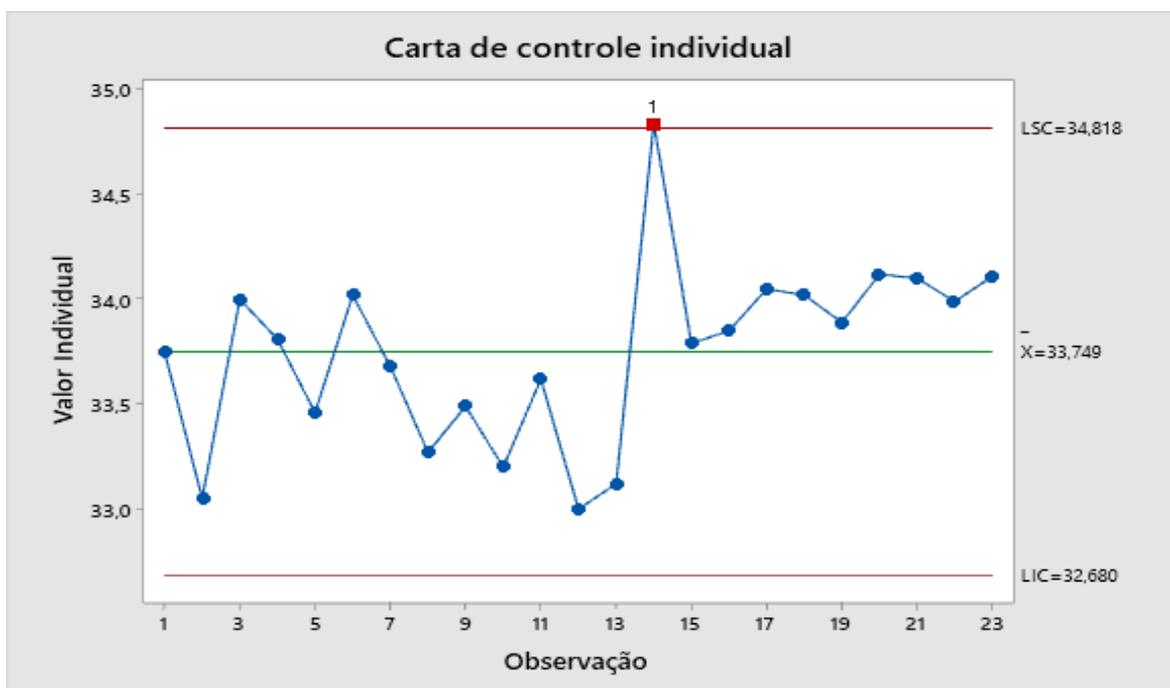


Figura 4.3 - Cartas de controle individuais fora de controle.

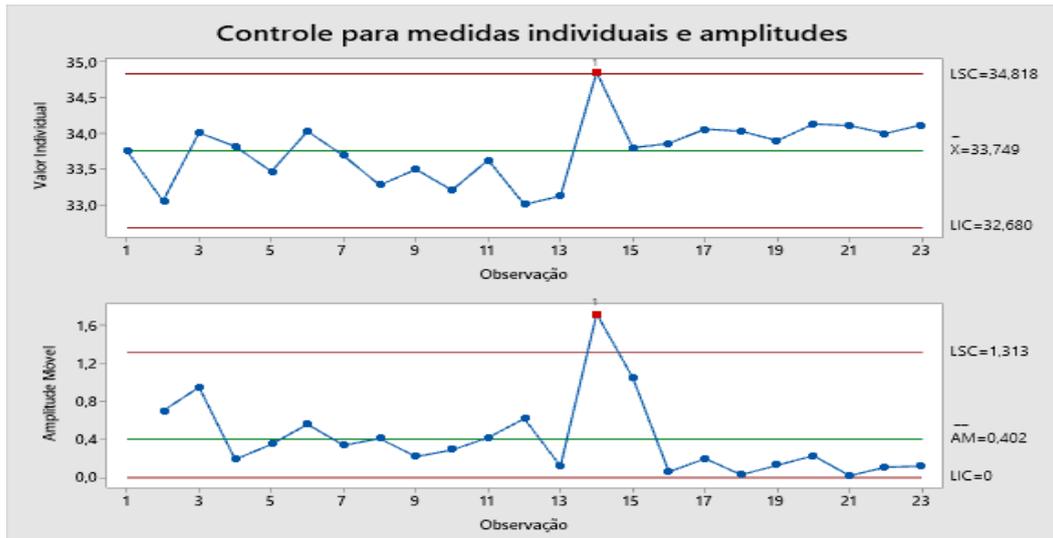


Figura 4.4 - Gráfico de controle amplitudes com pontos fora de controle.

Segundo os dados de viscosidade para o lote de 23 amostras através da Figura 4.3 – 4.4, pode-se observar graficamente no teste 1 pontos fora do limite de controle na Figura 4.3 – apresenta o ponto acima do limite LSC onde indica a presença de fontes de variação entre viscosidade com o limite central de valor 33,74, desvio padrão 0,433 limite central superior 34,81 e limite central inferior 32,68 e o ponto 14 igual a 34,84 fora do limite de controle necessitando de ajuste devido a variabilidade especial. Já a figura 4.4 – no controle amplitude viscosidade tem limite central igual a LC 0,4, limite central superior 1,3 LSC 0 e limite central inferior LIC com o ponto 14 fora do limite de controle necessitando de ajuste devido a variabilidade especial.

Ao analisar as Figuras 4.3 – 4.4, pode-se observar que, possui pontos amostrais fora do limite de controle com causas especiais de variabilidade passivo de correções.



Figura 4.5 - Gráfico sob controle individuais.

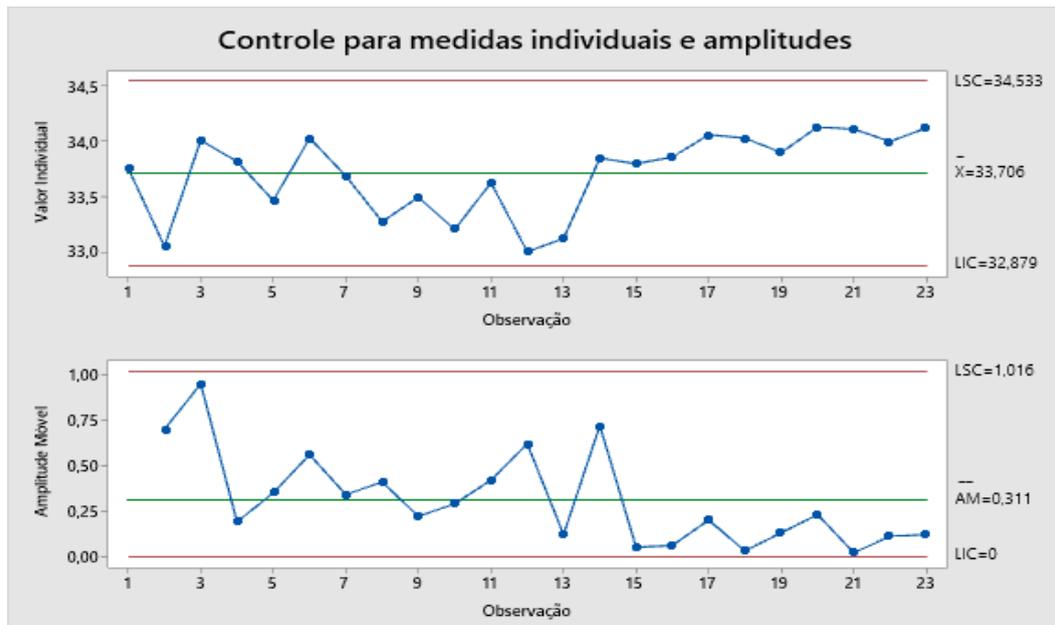


Figura 4.6 - Gráfico sob controle.

As Figuras 4.5 e 4.6 – No teste 2 apresenta o processo sob controle onde a viscosidade do ponto 14 nas amostrais foram controladas havia variação entre elas reduziu-se o valor de viscosidade de 34, 84 para 33, 84 pelo comando das cartas em Minitab corrigiu os pontos e manteve o processo de viscosidade sob controle e estável diminuído assim o número de desvios de viscosidade das amostras.

Ao analisar as Figuras 4.3 – 4.6, pode-se observar que, as Figuras 4.3 - 4.4, no teste 1 apresentaram causas especiais com pontos fora do limite de controle, apresentando variabilidade necessitando de correção. Enquanto a figura 4.5 - 4.6 no teste 2 após ter sido identificado essas anomalias corrigiu-se e ajustou-se é reduziu o grau de variabilidade através do software Minitab controlando o processo. Notou-se que ao aplicar o controle de processo estocástico nas análises das cartas de controle foi possível reduzir o grau de variabilidade e manter o processo sob controle.

- Um componente do motor de um avião a jato é fabricado por um processo de fundição de revestimento. A abertura do extrator nessa peça de fundição é parâmetro funcional importante da peça. Verificar se o processo está sob controle. Apresentaremos 20 amostras de cinco peças cada uma. Conforme os valores da tabela abaixo:

De acordo com a Tabela 4.3, podemos informar o controle de qualidade de 20 amostra em cinco peças de máquinas industrial.

Tabela 4.3 - Amostra de peças de máquinas industrial.

| Nº da amostra | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 35 | 33 | 31 | 37 | 31 |
| 3 | 35 | 37 | 33 | 34 | 36 |
| 4 | 30 | 31 | 33 | 34 | 33 |
| 5 | 33 | 34 | 35 | 33 | 34 |
| 6 | 38 | 37 | 39 | 40 | 38 |
| 7 | 30 | 31 | 32 | 34 | 31 |
| 8 | 29 | 39 | 38 | 39 | 39 |
| 9 | 28 | 34 | 35 | 36 | 43 |
| 10 | 39 | 33 | 32 | 34 | 32 |
| 11 | 28 | 30 | 28 | 32 | 31 |
| 12 | 31 | 35 | 35 | 35 | 34 |
| 13 | 27 | 32 | 34 | 35 | 37 |
| 14 | 33 | 33 | 35 | 37 | 36 |
| 15 | 35 | 37 | 32 | 35 | 39 |
| 16 | 33 | 33 | 27 | 31 | 30 |
| 17 | 35 | 34 | 34 | 30 | 32 |
| 18 | 32 | 33 | 30 | 30 | 33 |
| 19 | 25 | 27 | 34 | 27 | 28 |
| 20 | 35 | 35 | 36 | 33 | 30 |

Fonte: MOTGOMERY (2004).

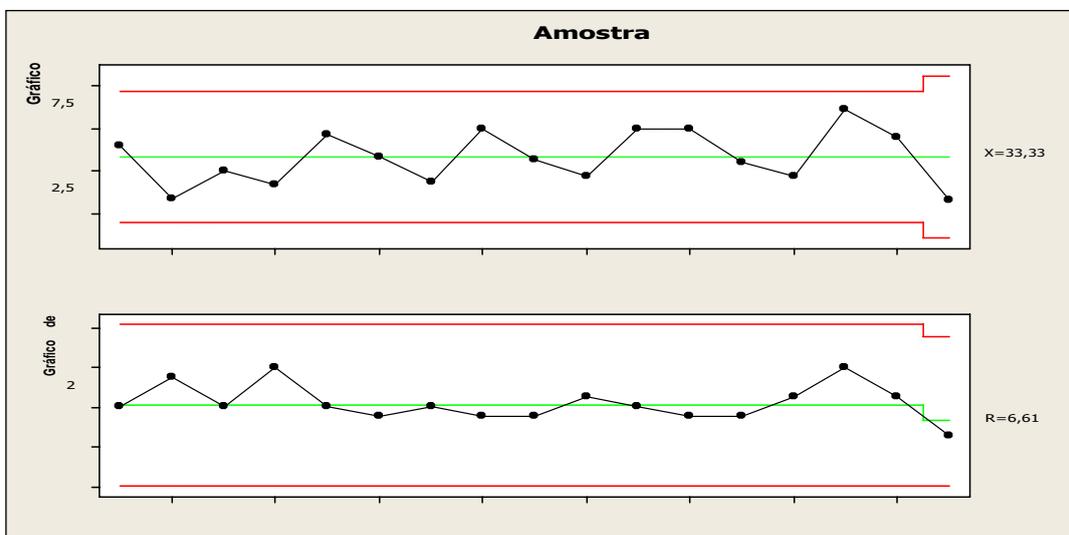


Figura 4.7 - Amostra de peças.

Apresentaremos 20 amostras de cinco peças do extrator. De acordo com a análise da Figura 4.7 – No teste 1 podemos averiguar se os pontos amostrais estão dentro dos limites de controle com LC 33,33, desvio padrão 3,31 com todos os pontos dentro dos limites de controle, isto é, LSC 38,15 e LIC 28,51, o que sugere uma situação de controle estatístico para esta variável, e que o processo de fundição de revestimento mante-se estável e sob controle.

07). Uma empresa que vende por correio componentes de computadores pessoais, software e hardware possui um depósito geral para a distribuição dos produtos. Atualmente, a administração se encontra examinando o processo de distribuição deste depósito e está interessada em estudar os fatores que afetam os custos de distribuição do depósito. Hoje um pequeno cargo de manipulação se adiciona ao pedido, independentemente da quantidade pela qual se fizeram. Foram coletados dados correspondentes de 24 meses e respeito aos custos de distribuição de depósito, as vendas e número de pedidos. A continuação apresenta resultados:

Segundo a Tabela 4.4, é possível verificar dados de 24 meses e custos de distribuição de depósito, as vendas e número de pedidos.

Tabela 4.4 - Dados mensal de vendas e pedidos.

| MÊS | Y | X1 | X2 | MÊS | Y | X1 | X2 |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 1 | 52,95 | 386 | 4.015 | 13 | 62,98 | 372 | 3.977 |
| 2 | 71,66 | 446 | 3.806 | 14 | 72,30 | 328 | 4.428 |
| 3 | 85,56 | 512 | 5.309 | 15 | 58,99 | 408 | 3.964 |
| 4 | 63,69 | 401 | 4.262 | 16 | 79,38 | 491 | 4.582 |
| 5 | 72,81 | 457 | 4.296 | 17 | 94,44 | 527 | 5.582 |
| 6 | 68,44 | 458 | 4.097 | 18 | 59,74 | 444 | 3.450 |
| 7 | 52,46 | 301 | 3.213 | 19 | 90,50 | 623 | 5.079 |
| 8 | 70,77 | 484 | 4.809 | 20 | 93,24 | 596 | 5.735 |
| 9 | 82,03 | 517 | 5.237 | 21 | 69,33 | 463 | 4.269 |
| 10 | 74,39 | 503 | 4.732 | 22 | 53,71 | 389 | 3.708 |
| 11 | 70,84 | 535 | 4.413 | 23 | 98,18 | 547 | 5.387 |
| 12 | 54,08 | 553 | 2.921 | 24 | 66,80 | 415 | 4.161 |

Fonte: (ITA, 2019).

Y: Custo de distribuição (em milhares de dólares); X1: Vendas (em milhares de dólares) e X2: Número de pedidos.

- a) Ajuste os dados a um modelo de regressão múltipla com duas variáveis regressoras e interprete as estimativas dos parâmetros do modelo.

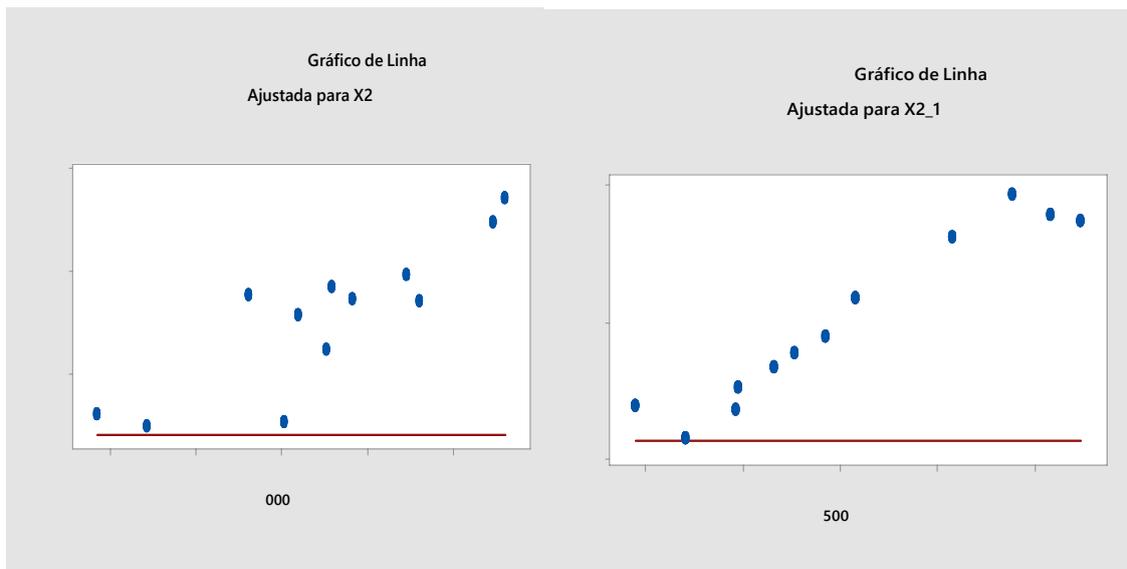


Figura 4.8 - Dados mensal de vendas e pedidos.

08). Foi realizado um estudo para determinar o aumento de defeitos, em portas inox de equipamentos para cozinha, produzidas numa empresa metalomecânica. Durante o estudo apareceram os defeitos abaixo indicados com as respectivas ocorrências e custos associados. Construir gráficos em carta de controle para eliminação dos defeitos.

Conforme se observa a Tabela 4. 5, demonstrada em gráficos a visualização do aumento de defeitos, em portas inox de equipamentos para cozinha, produzidas numa empresa metalomecânica.

Tabela 4.5 - Peças com defeitos.

| Tipo de defeitos | Nº. de peças defeituosas | Custo unitário reparação/sucat |
|-------------------------|---------------------------------|---|
| Soldadura mal executada | 55 | 50 |
| Furação deficiente | 9 | 50 |
| Defeitos de dobragem | 274 | 5 |
| Acondicionamento | 15 | 50 |
| Má qualidade da chapa | 16 | 50 |
| Cortes | 126 | 30 |
| Outros | 12 | 50 |

Fonte: NUFEC (2019).



Figura 4.9 - Números de peças defeituosas.

A Figura 4.9 apresenta os resultados dos números de peças defeituosas com maior frequência percentual para 9 peças que corresponde um percentual 17,5%. Ao analisar a figura percebe-se a presença de concentração de causas de variabilidade especiais necessitando correção pela carta de controle do software Minitab.

Na Figura 4.10 é possível verificar pontos amostrais acima e abaixo dos limites.

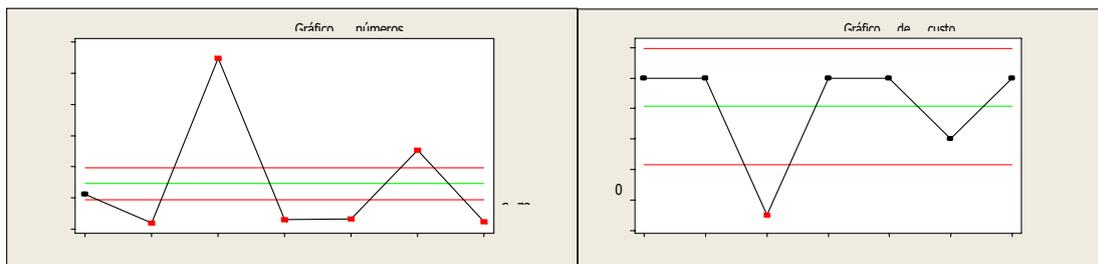


Figura 4.10 - Números de peças defeituosas processo fora de controle.

Verificou-se que a Figura 4.10 no teste 1 referente as peças defeituosas apresentaram as variabilidades nos pontos 2, 3, 4, 5, 6, 7 com valores (9, 274, 15, 16, 126, 12). O Custo unitário na reparação da sucata com ponto de variabilidades 3 contendo valor igual a 5 informando que há causas especiais nesses pontos podendo ocorrer ações corretivas.

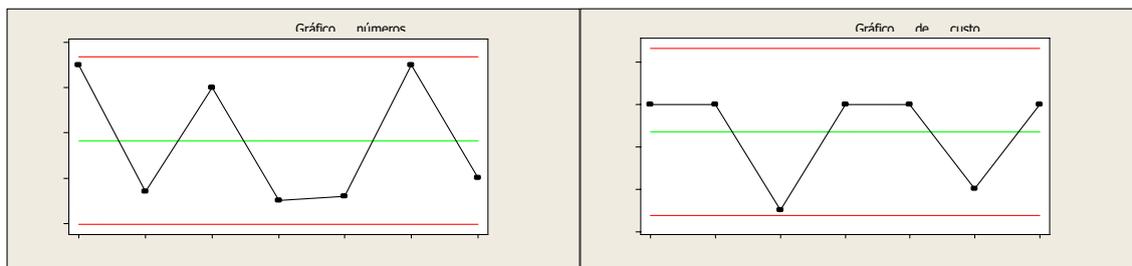


Figura 4.11 - Números de peças defeituosas processo sob controle.

De acordo com a Figura 4.11 no teste 2 os valores utilizados em substituição aos valores dos pontos fora de controle 2, 3, 4, 5, 6, 7 segue-se 27, 50, 25, 26, 55, 30 para peças defeituosas

e 25 para custo unitário na reparação da sucata no ponto 3. Esses dados em substituição gerado pela carta de controle melhorou significativamente o processo estatístico mantendo sob controle havendo redução de variabilidade na fabricação das portas de inox mantendo estável a qualidade na fabricação do produto.

10). Uma matriz de ejeção é usada para fabricação de hastes alumínio. O diâmetro das hastes é uma característica crítica da qualidade. A seguir, são mostrados valores de \bar{X} e R para 20 amostras de cinco hastes cada. As especificações sobre as hastes são 0,5035 para mais ou para menos 0,0010 polegada. Os valores apresentados são os três últimos dígitos das medidas: isto, é 43, 2 é lido como 0, 50342. Verifique se o processo de fabricação das hastes está sob controle ou fora de controle, caso não esteja faça a correção.

Conforme mostra a Tabela 4.6, observa-se os dados diâmetro das hastes em uma fábrica de alumínio.

Tabela 4.6 - Amostras de hastes.

| Amostra | \bar{X} | R | Amostra | \bar{X} | R |
|---------|-----------|----|---------|-----------|----|
| 1 | 34,2 | 3 | 11 | 35,4 | 8 |
| 2 | 31,6 | 4 | 12 | 34,0 | 6 |
| 3 | 31,8 | 4 | 13 | 36,0 | 4 |
| 4 | 33,4 | 5 | 14 | 37,2 | 7 |
| 5 | 35,0 | 4 | 15 | 35,2 | 3 |
| 6 | 32,1 | 2 | 16 | 33,4 | 10 |
| 7 | 32,6 | 7 | 17 | 35,0 | 4 |
| 8 | 33,8 | 9 | 18 | 34,4 | 7 |
| 9 | 34,8 | 10 | 19 | 33,9 | 8 |
| 10 | 38,6 | 4 | 20 | 34,0 | 4 |

Fonte: MONTGOMEY (2009).

- Estabeleça os gráficos de \bar{X} e R, revisando os limites de controle experimentais, admitindo que se possam encontrar causas especiais.
- Calcule RCP_K e interprete.
- Qual a porcentagem defeituosa produzida por esse processo.

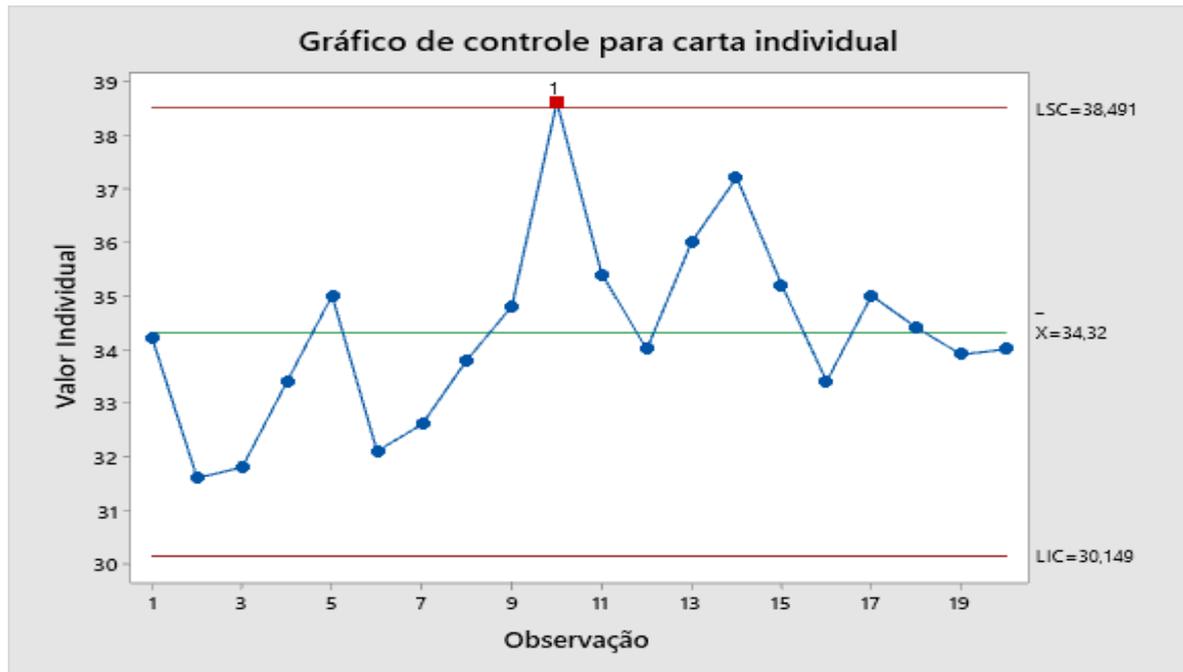


Figura 4.12 - Amostras de hastes fora de controle.

Controle estatístico para 20 amostra de cinco hastes cada. Ao interpretar a Figura 4.12 no teste 1 os valores do limite superior LSC 38, 49, média 34, 32, desvio padrão 1,72, limite inferior LIC 30, 14 com o ponto 10 de valor 38, 6 acima do limite superior LSC dando indícios de causas especiais passiva de correção. Sugere-se correção nesse ponto para que os limites fiquem ajustados.

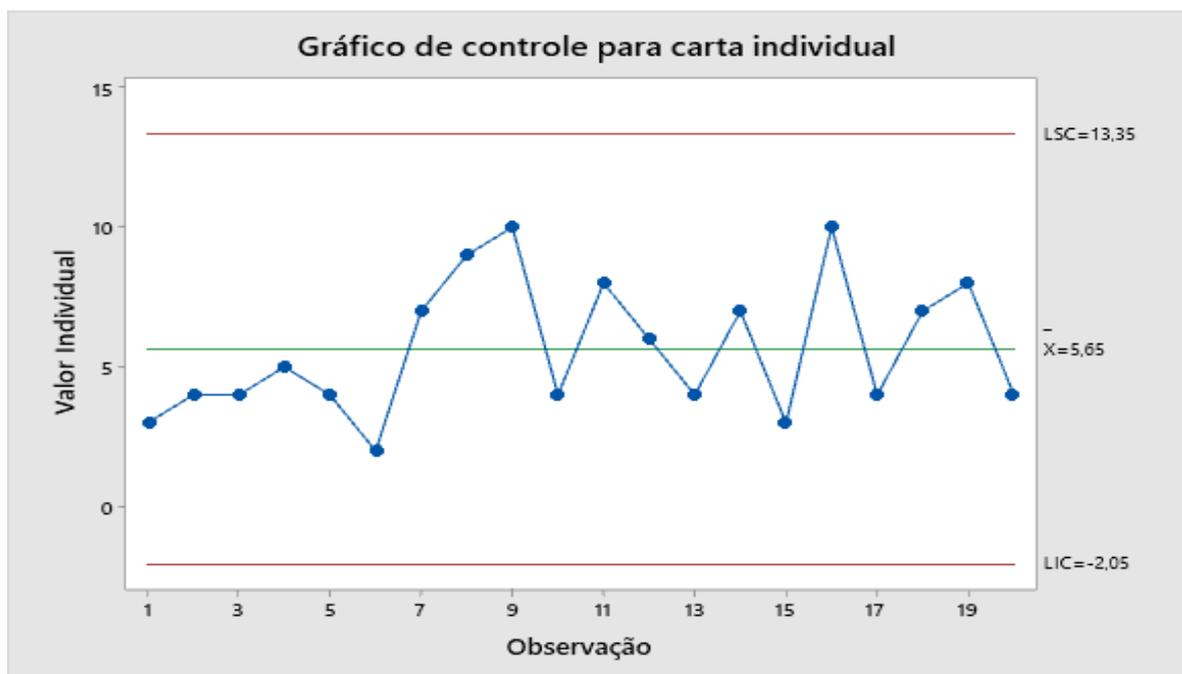


Figura 4.13 - Amostras de hastes sob controle.

Pela correção do ponto na Figura 4.13 o teste 2 ajustou-se o ponto 10 reduzindo o valor amostral para 36, 6 mantendo o processo estável e sob controle na fabricação do diâmetro das hastes de alumínio.

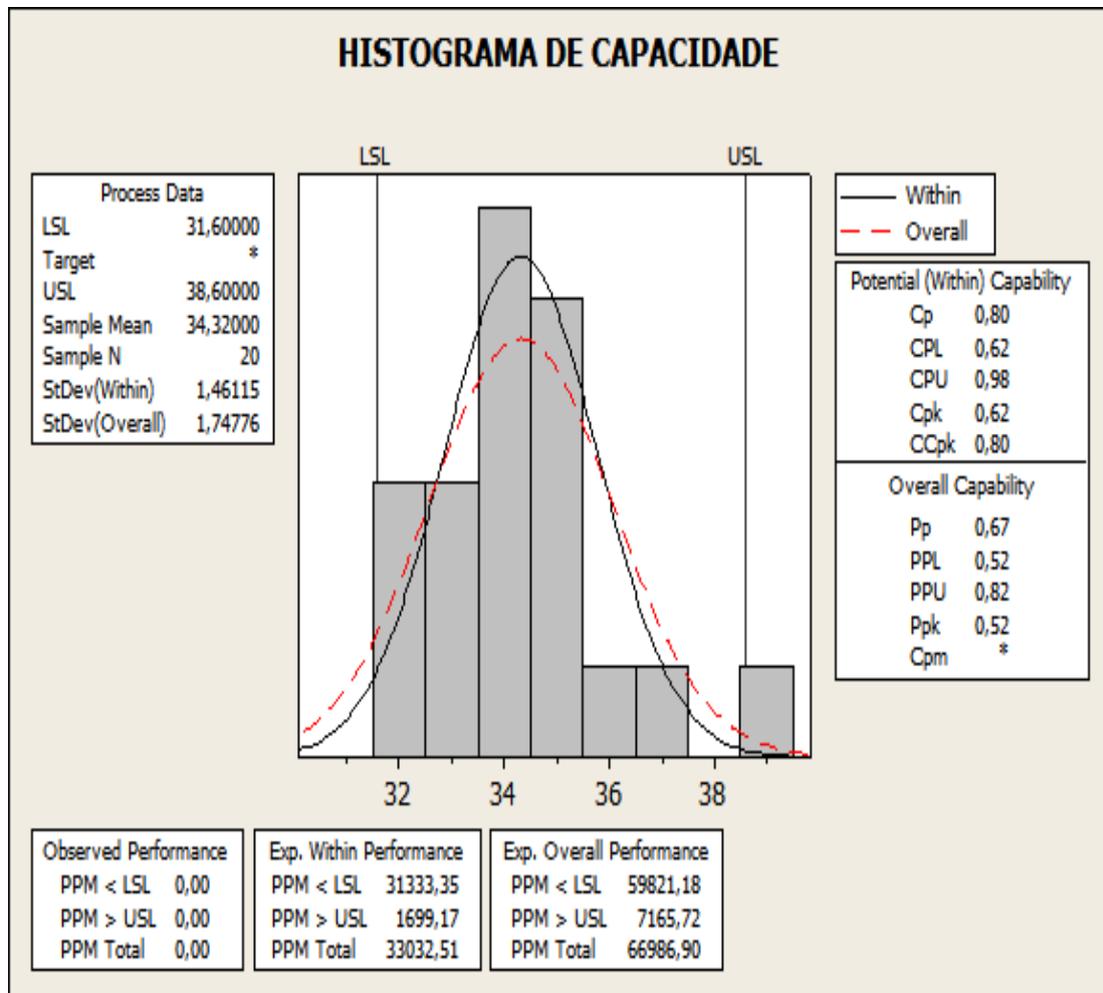


Figura 4.14 - Capacidade de processo amostras de hastes.

Conforme análise da Figura 4.14 a capacidade do processo apresenta o valor para C_{pk} igual a 0,49, média 5,65, desvio padrão 2,434 e valor-p 0,025. Resultado de C_{pk} fora do limite, se $P_{pk} < C_{pk}$, indica que a capacidade global pode ser melhorada se as fontes adicionais de variação do processo sistêmico forem reduzidas ou eliminadas. A média obtida de 5,65, com deslocamento para o LSE. Portanto, é necessário agir para trazer a média mais próxima do centro das especificações com ações para reduzir as variações. Outro ponto importante é a interpretação dos índices de capacidade calculados. O C_{pk} igual a 0,49 menor que os valores estabelecidos que é 1,33 implicando está fora do limite estável. Quando o $C_{pk} < C_p$, o processo está descentralizado. Esta incapacidade demonstra que o processo não atende às especificações determinadas.

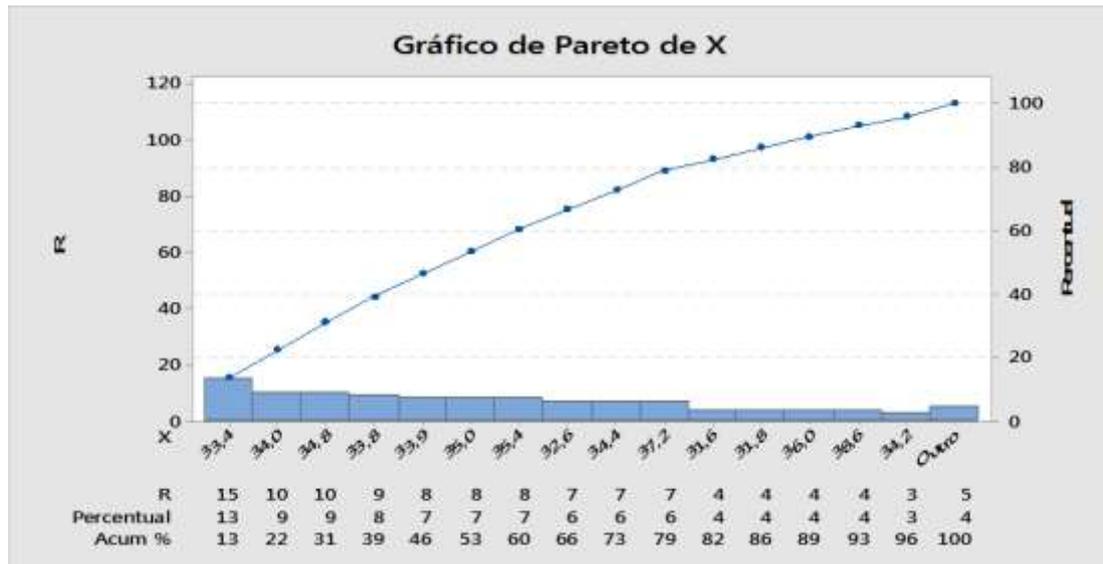


Figura 4.15 - Percentual de defeitos.

A Figura 4.15 o gráfico de Pareto fornece o maior valor percentual das amostras analisadas de produtos defeituosos totalizando na fonte 15 peças com defeitos que corresponde um percentual de 13% então é preciso minimizar as variações.

Analisando as Figuras 4.12 e 4.15, verificou-se na Figura 4.12 no teste 1 que o ponto 10 encontra-se fora do limite de controle apresentando anormalidade no diâmetro das hastes passivo de correção. Na Figura 4.14 o Cpk é igual a 0,49 menor que os valores estabelecidos que é 1,33 implicando está fora do limite estável apresenta valor fora do limite não é representativo. Entretanto a Figura 4.15 possui um percentual 13% de defeitos anormais nas hastes. Por seguinte a Figura 4.13 no teste 2 após interpretada, analisada e eliminada as causas especiais no ponto do diâmetro mantiveram o processo estatístico estável e sob controle.

Após controlar o processo foi possível fazer comparação. O teste 1 no processo fora de controle para \bar{X} média individual apresenta, LC igual a 34, 32, desvio padrão igual a 1,72 e Amplitude do limite valor 7, 000. Na média da amplitude, LC igual a 5,65, desviopadrão igual a 2, 43 e Amplitude do limite valor 8,000. No teste 2 no processo sob controleapresentou para \bar{X} média individual, LC igual a 34, 22 desvio padrão igual a 1, 50 e Amplitude do limite valor 5, 600. Na média da amplitude, LC igual a 5,65, desvio padrãoigual a 2, 43 e Amplitude do limite valor 8,000.

11). A tabela abaixo apresenta 30 observações da espessura do óxido de pastilhas individuais de silício. Os dados são:

Abaixo, na Tabela 4.7, observa-se 30 amostras de partilhas de óxido de silício.

Tabela 4.7 - Observações da espessura do óxido.

| Pastilha | Espessura do óxido | Pastilha | Espessura do óxido |
|----------|--------------------|----------|--------------------|
| 1 | 45,4 | 16 | 58,4 |
| 2 | 48,6 | 17 | 51,0 |
| 3 | 49,5 | 18 | 41,2 |
| 4 | 44,0 | 19 | 47,1 |
| 5 | 50,9 | 20 | 45,7 |
| 6 | 55,2 | 21 | 60,6 |
| 7 | 45,5 | 22 | 51,0 |
| 8 | 52,8 | 23 | 53,0 |
| 9 | 45,3 | 24 | 56,0 |
| 10 | 46,3 | 25 | 47,2 |
| 11 | 53,9 | 26 | 48,0 |
| 12 | 49,8 | 27 | 55,9 |
| 13 | 46,8 | 28 | 50,0 |
| 14 | 49,8 | 29 | 47,9 |
| 15 | 45,1 | 30 | 53,4 |

Fonte: NUFEC (2019).

- Construa um gráfico de probabilidade normal para os dados. A hipótese de normalidade parece razoável?
- Estabeleça o gráfico de controle para observações individuais para a espessura do óxido. Interprete o gráfico.

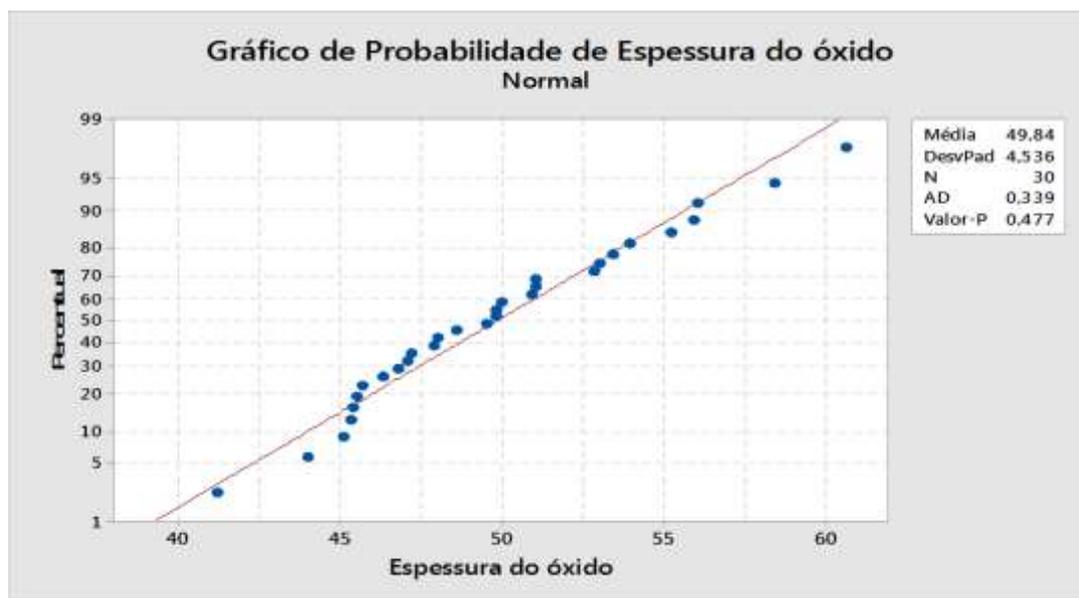


Figura 4.16 - Amostra da espessura do óxido.

Em verificação a Figura 4.16 o gráfico de probabilidade normal apresentou os resultados média 49,84, desvio padrão 4,53, números de elemento 30, valor-p 0,47 e nível de

significância de 0,05, pela regra de decisão deixar de rejeitar a hipótese nula, com pontos próximos a reta de dispersão. Pode-se afirmar que a hipótese de normalidade parece razoável ao apresentar seus pontos próximos a reta de controle garantido o processo sob controle.

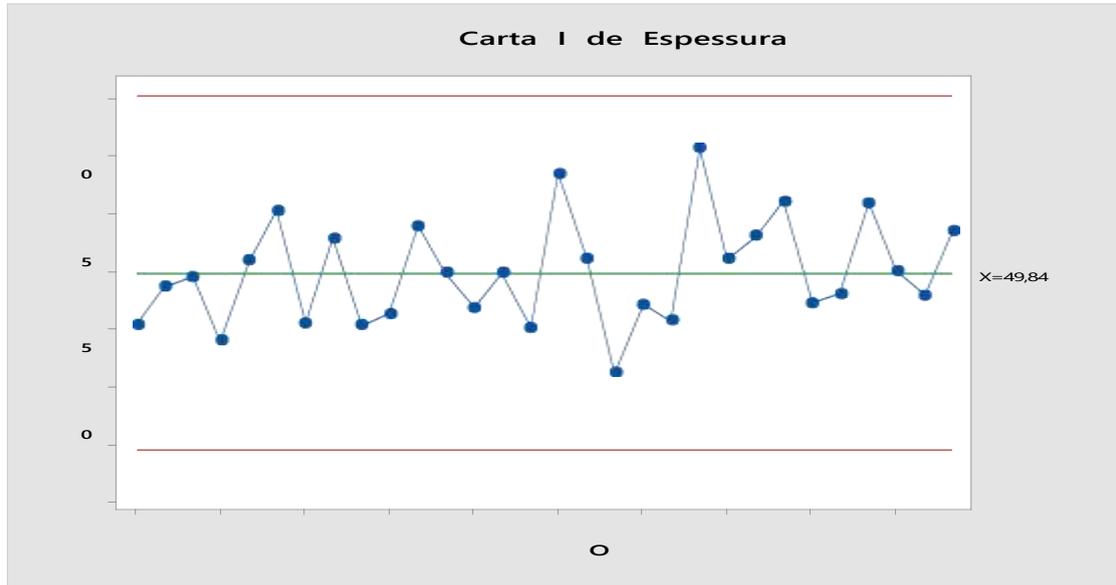


Figura 4.17 - Amostra da espessura do óxido sob controle.

Ao interpretar a Figura 4.17 do gráfico para carta de controle individual verificou-se que nenhum ponto está fora dos limites controle, possui média igual 49,84, desvio padrão de 4,53, limite inferior 34,53 e limite superior 65,16 isso implica que o processo em espessura do óxido está sob controle.

12). Os dados a seguir correspondem ao peso de 54 amostras de um determinado material de construção. Faça análise graficamente dos pesos.

Conforme se observa a Tabela 4.8, é possível verificar pesos de 54 amostras de um determinado material de construção.

Tabela 4.8 - Material de construção.

| | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,31 | 20,00 | 20,50 | 20,84 | 21,00 | 21,25 | 21,37 | 21,64 | 21,91 |
| 19,58 | 20,01 | 20,54 | 20,92 | 21,04 | 21,27 | 21,47 | 21,71 | 22,28 |
| 19,68 | 20,02 | 20,55 | 20,94 | 21,12 | 21,27 | 21,51 | 21,71 | 22,28 |
| 19,88 | 20,20 | 20,67 | 20,94 | 21,15 | 21,31 | 21,52 | 21,77 | 22,37 |
| 19,91 | 20,30 | 20,78 | 20,95 | 21,21 | 21,34 | 21,52 | 21,78 | 22,41 |
| 19,95 | 20,42 | 20,81 | 20,97 | 21,21 | 21,37 | 21,54 | 21,88 | 22,91 |

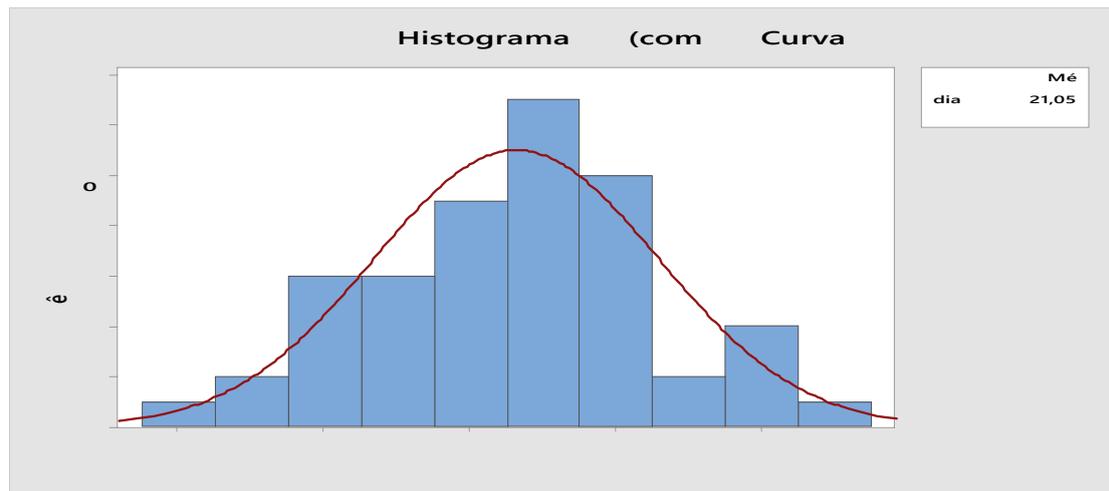


Figura 4.18 - Gráfico de histograma.

Ao averiguar a Figura 4.18 o histograma mostra a distribuição de dados amostrais na curva normal, onde apresentou o seguinte resultado para média 21,05, desvio padrão 0,783 e variância 0,613 em relação aos pesos de 54 amostras. O processo está padronizado e os dados são estáveis, permitindo variações pequenas. O pico dos dados fica ao centro do gráfico, e suas variações vão decrescendo de maneira simétrica dos dois lados.

13). Em um processo de fabricação de papel estamos interessados em acompanhar o total de manchas por área de papel produzido. Para isso coletamos os dados conforme tabela. Faça uma análise da estabilidade do processo.

Segundo a Tabela 4.9 apresenta-se um processo de fabricação de papel com manchas por área de papel produzido.

Tabela 4.9 - Manchas por área de papel produzido.

| Número do lote | Metragem do rolo | Largura do rolo | Área do rolo | Total de manchas | Manchas por área |
|----------------|------------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|
| 131910 | 56,1 | 4,142 | 232 | 2 | 0,009 |
| 131938 | 53 | 4,143 | 220 | 0 | 0 |
| 131982 | 56,04 | 4,147 | 232 | 1 | 0,004 |
| 131988 | 56,09 | 4,145 | 232 | 4 | 0,017 |
| 132008 | 56,04 | 4,144 | 232 | 0 | 0 |
| 122033 | 56,014 | 4,145 | 232 | 3 | 0,013 |
| 132043 | 28,04 | 4,142 | 116 | 1 | 0,009 |
| 132064 | 56,04 | 4,143 | 232 | 11 | 0,047 |
| 132094 | 56,04 | 4,142 | 232 | 2 | 0,009 |

| | | | | | |
|--------|--------|-------|-----|----|-------|
| 132140 | 56,04 | 4,142 | 232 | 8 | 0,034 |
| 132166 | 56,16 | 4,147 | 233 | 6 | 0,026 |
| 132193 | 56,17 | 4,142 | 233 | 10 | 0,043 |
| 132218 | 56,17 | 4,142 | 233 | 3 | 0,013 |
| 132226 | 56,211 | 4,143 | 233 | 0 | 0 |
| 132266 | 56,04 | 4,145 | 232 | 0 | 0 |
| 132293 | 56,14 | 4,144 | 233 | 0 | 0 |
| 132314 | 56,11 | 4,143 | 232 | 6 | 0,026 |
| 132347 | 56,11 | 4,142 | 232 | 4 | 0,017 |
| 131373 | 55,03 | 4,146 | 228 | 3 | 0,013 |
| 132397 | 56,03 | 4,147 | 232 | 3 | 0,013 |
| 132430 | 56,11 | 4,143 | 232 | 5 | 0,022 |
| 132452 | 56,08 | 4,143 | 232 | 2 | 0,009 |
| 132482 | 55,13 | 4,143 | 228 | 7 | 0,031 |
| 132495 | 56,04 | 4,142 | 232 | 2 | 0,009 |

Fonte: Adaptado de MONTGOMERY, (1991).

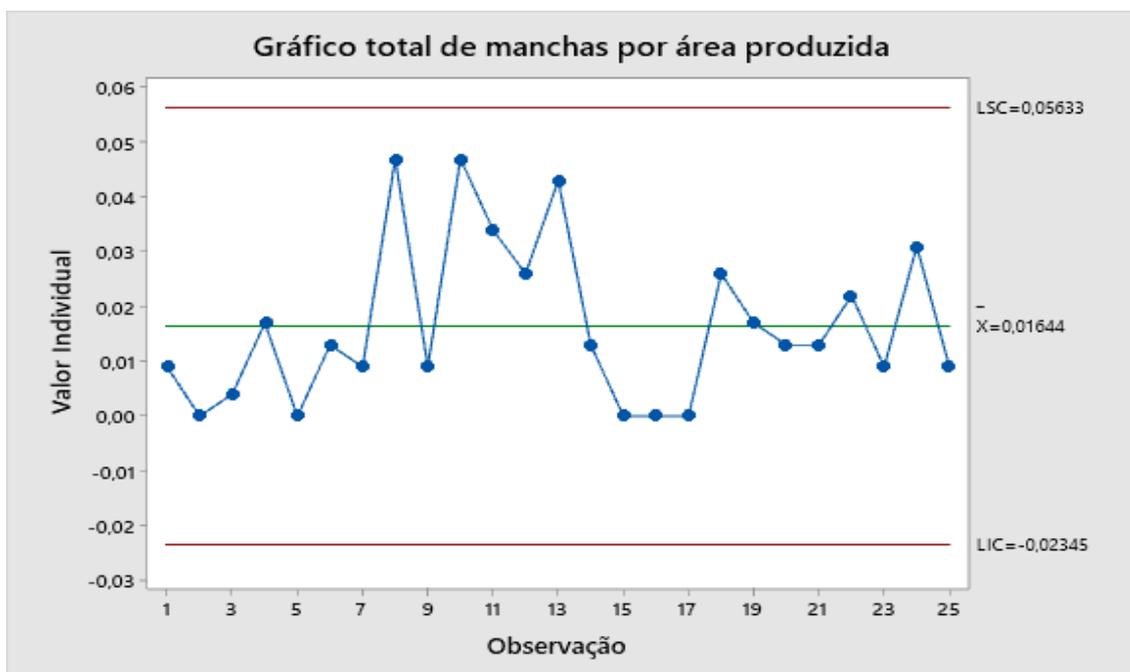


Figura 4.19 - Total de manchas por área sob controle.

Em se tratando da Figuras 4.19 mostra os pontos amostrais dentro do limite de controle média igual a 0, 01644, desvio padrão 0, 01463 limites inferior 0, 02345 e limites superior 0, 05633 apresentado total normalidade nas manchas por área de papel produzido.

14). Apresentação dos dados referentes ao controle da distância entre dentes de uma engrenagem do câmbio. A cada trinta peças produzidas a última peça foi levada ao laboratório para ser medida em uma máquina de medição por coordenadas. As especificações para esses dados são LSE = 98, 25 e LIE = 98, 15. Avalie a eficiência do processo.

A Tabela 4.10 expõe os dados referentes ao controle da distância entre dentes de uma engrenagem do câmbio.

Tabela 4.10 - Controle da distância entre dentes de uma engrenagem do câmbio.

| DATA | HORÁRIO | PEÇA NUM | DIÂM. EXT. |
|------------|----------|----------|------------|
| 03/10/2007 | 09:16:47 | 1 | 98,212 |
| 03/10/2007 | 11:50:33 | 30 | 98,23 |
| 03/10/2007 | 13:39:07 | 60 | 98,218 |
| 03/10/2007 | 13:42:14 | 90 | 98,215 |
| 03/10/2007 | 18:12:52 | 120 | 98,216 |
| 03/10/2007 | 19:29:54 | 150 | 98,22 |
| 03/10/2007 | 21:28:47 | 180 | 98,219 |
| 03/10/2007 | 22:26:35 | 210 | 98,216 |
| 04/10/2007 | 08:41:10 | 240 | 98,207 |
| 04/10/2007 | 08:50:53 | 270 | 98,208 |
| 04/10/2007 | 08:55:51 | 300 | 98,216 |
| 04/10/2007 | 13:23:37 | 330 | 98,215 |
| 04/10/2007 | 13:26:14 | 360 | 98,192 |
| 04/10/2007 | 22:49:48 | 390 | 98,193 |
| 05/10/2007 | 08:50:18 | 420 | 98,171 |
| 05/10/2007 | 08:57:52 | 450 | 98,186 |
| 05/10/2007 | 12:45:56 | 480 | 98,187 |
| 05/10/2007 | 13:13:10 | 510 | 98,197 |
| 05/10/2007 | 13:24:35 | 540 | 98,191 |
| 05/10/2007 | 18:23:46 | 570 | 98,198 |
| 05/10/2007 | 21:43:05 | 600 | 98,187 |
| 05/10/2007 | 21:46:40 | 630 | 98,199 |
| 05/10/2007 | 22:59:42 | 660 | 98,192 |
| 08/10/2007 | 07:18:23 | 690 | 98,207 |
| 08/10/2007 | 09:09:06 | 720 | 98,21 |
| 24/10/2007 | 06:50:06 | 1 | 98,209 |
| 24/10/2007 | 10:59:44 | 30 | 98,193 |
| 24/10/2007 | 12:50:13 | 60 | 98,204 |
| 24/10/2007 | 15:08:16 | 90 | 98,202 |
| 24/10/2007 | 18:13:40 | 120 | 98,222 |
| 24/10/2007 | 22:07:46 | 150 | 98,214 |
| 25/10/2007 | 07:24:32 | 180 | 98,204 |
| 25/10/2007 | 09:24:54 | 210 | 98,166 |

| | | | |
|------------|----------|-----|--------|
| 25/10/2007 | 12:26:39 | 240 | 98,168 |
| 25/10/2007 | 16:49:41 | 270 | 98,169 |
| 25/10/2007 | 19:38:17 | 300 | 98,175 |
| 25/10/2007 | 22:44:45 | 330 | 98,175 |
| 26/10/2007 | 08:51:41 | 360 | 98,191 |
| 26/10/2007 | 11:49:26 | 390 | 98,19 |
| 29/10/2007 | 06:14:28 | 420 | 98,181 |
| 29/10/2007 | 06:17:54 | 450 | 98,179 |
| 29/10/2007 | 08:39:19 | 480 | 98,187 |
| 29/10/2007 | 12:43:09 | 510 | 98,192 |
| 29/10/2007 | 17:11:26 | 540 | 98,208 |
| 29/10/2007 | 17:48:53 | 570 | 98,195 |
| 29/10/2007 | 20:48:24 | 600 | 98,196 |
| 30/10/2007 | 06:47:31 | 630 | 98,176 |
| 30/10/2007 | 09:30:37 | 660 | 98,186 |

Fonte: CARPINETTI (2010).

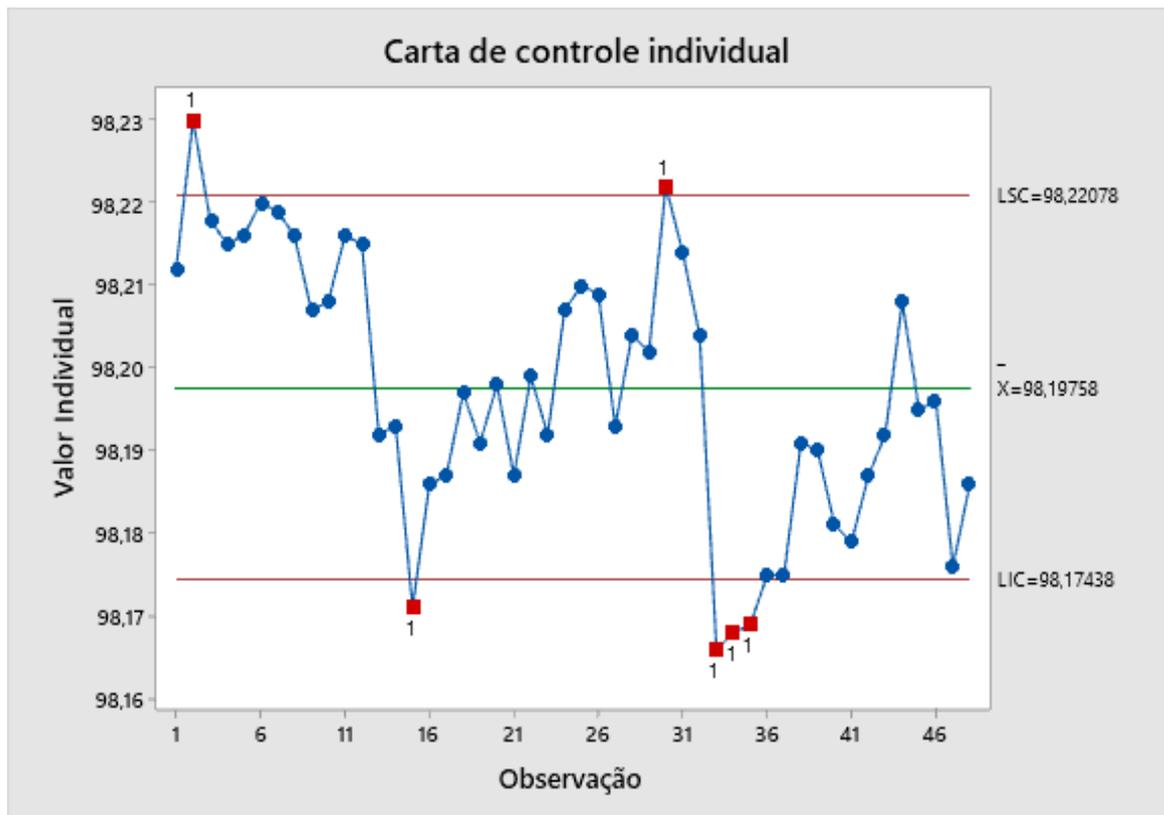


Figura 4.20 - Diâmetro externo.

Toda via a Figura 4.20 o teste 1 informa que os pontos 2, 15, 30, 33, 34, 35 do diâmetro externo de variabilidade estão fora do limite de controle a média amostral de 98, 19, desvio padrão 0, 0162 com os limites 98, 17 e 98, 22. Após fazer uso das cartas de controle no Minitab

identificou os pontos que precisam ser alterados. Para tanto é necessário o ajuste do processo através da substituição ou eliminação de amostra.

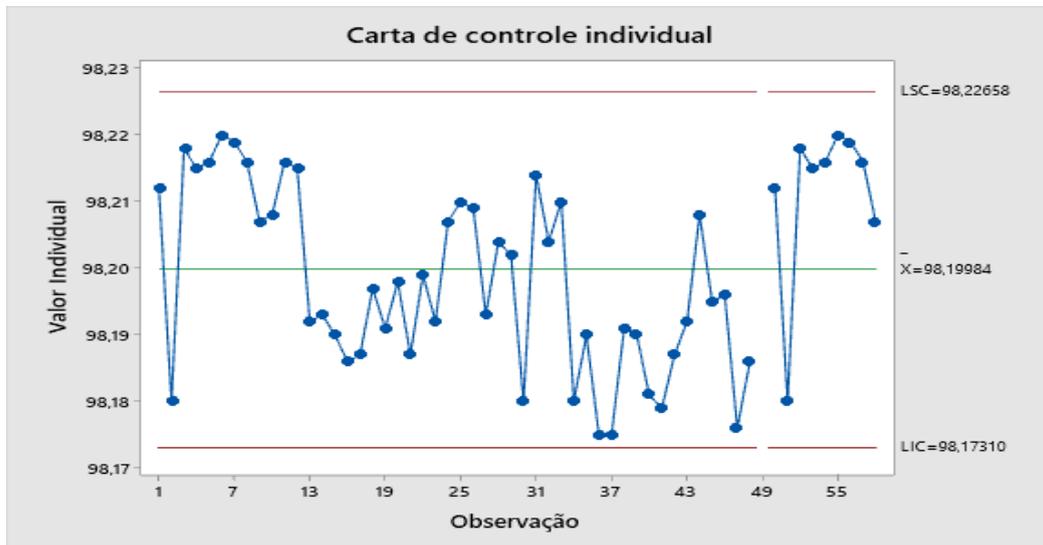


Figura 4.21 - Diâmetro externo sob controle.

Conseqüentemente a Figura 4.21 no teste 2 ao identificar os pontos com anomalia substituiu os pontos amostras que se encontravam fora do limite executando medidas pela carta de controle controlando o processo e mantendo sob controle. Após executado todo procedimento manteve o processo com qualidade.

Este presente estudo apresentou as cartas de controle do Software como ferramenta no controle de variabilidade em aplicações. Através de gráficos e seus limites de controle nos possibilitou identificar os pontos amostrais com causas especiais. Por meio das análises das cartas de controle podemos perceber que a qualidade do produto em problemas de estatística apresentou variabilidade. Diante disso, houve a necessidade da inferência no controle das variáveis com pontos amostrais fora de controle de modo que as causas anormais sejam reduzidas, tornando o produto em conformidade com as especificações, verificou-se pelo teste 1º estatístico os subgrupos que são incomuns em comparação com outros subgrupos que algumas aplicações apresentaram causas especiais, havendo a necessidade de aplicar o teste 2º estatístico para corrigir as causas e manter o processo sob controle.

Os resultados obtidos mostram as cartas de controle do Software Minitab como ferramenta eficaz na redução de variações, atendendo o objetivo proposto, a partir do uso do software Minitab e das ferramentas da qualidade pode-se propor soluções as causas que interferem no desempenho e no resultado das aplicações, selecionando as cartas de controle para variáveis e atributos verificando qual se aplica melhor no controle de qualidade, explorando as ferramentas estatísticas averiguando se o processo está sob controle ou não, tais técnicas estatísticas permitiram detectar e executar ações corretivas de variações transformando números em informações.

Na Figura 5.1 mostra as cartas de controle para as médias, desvio padrão e o número de não-conformidades observadas em 26 amostras sucessivas de 100 circuitos impressos. Através dos gráficos apresentados podemos observar que há pontos fora do limite de controle que estão distribuídos ao redor da média, onde apresenta dois pontos fora do limite de controle um acima do limite superior e o outro abaixo do limite inferior. Por meio dessas análises constatamos que há variabilidade de causa especiais nos pontos 06 abaixo do limite inferior de controle LIC e o ponto 20 acima do limite superior de controle LSC, onde os dois pontos encontram-se fora do limite de controle necessitando de correções e redução de variabilidade. Essa anormalidade foi detectada pela carta de

controle do Software Minitab no teste 1º onde, foi preciso estabilizar o processo. Então para manter o processo sob controle aplicou-se o teste 2º para suplementar o teste 1º a fim de criar uma nova carta de controle que tenha o processo sob controle. Recomendou-se três situações na construção do gráfico do limite sob controle remover as observações 6 e 20, alterar valores de não-conformidade ou construir um novo gráfico. O teste 2º na Figura 5.2 apresenta a correção, comparação e redução de variações na construção de um novo gráfico com os pontos sob controle em relação à média, havendo modificação nos pontos amostrais com a finalidade de manter o processo sob controle, na amostra 6 de não-conformidade 5 alterou-se para não-conformidade 16. Entretanto na amostra 20 de não-conformidade 39 modificou-se para não-conformidade 32. Após controlar o processo das amostras de não-conformidade comparou-se os resultados obtidos com os resultados anteriores entre o processo. Em comparação com os valores calculados para o processo sob controle a média apresentou o valor igual a 20,00 e o desvio padrão 5,86. Enquanto para o processo fora de controle a média igual a 19,85 e o desvio padrão 7,16 com dois pontos não aleatório para 3 desvios abaixo da linha central e 3 desvios acima da linha central.

Nas Figuras 5.1 e 5.2 são apresentados os dados amostrais não-conformidades observadas em 26 amostras sucessivas de 100 circuitos impressos.

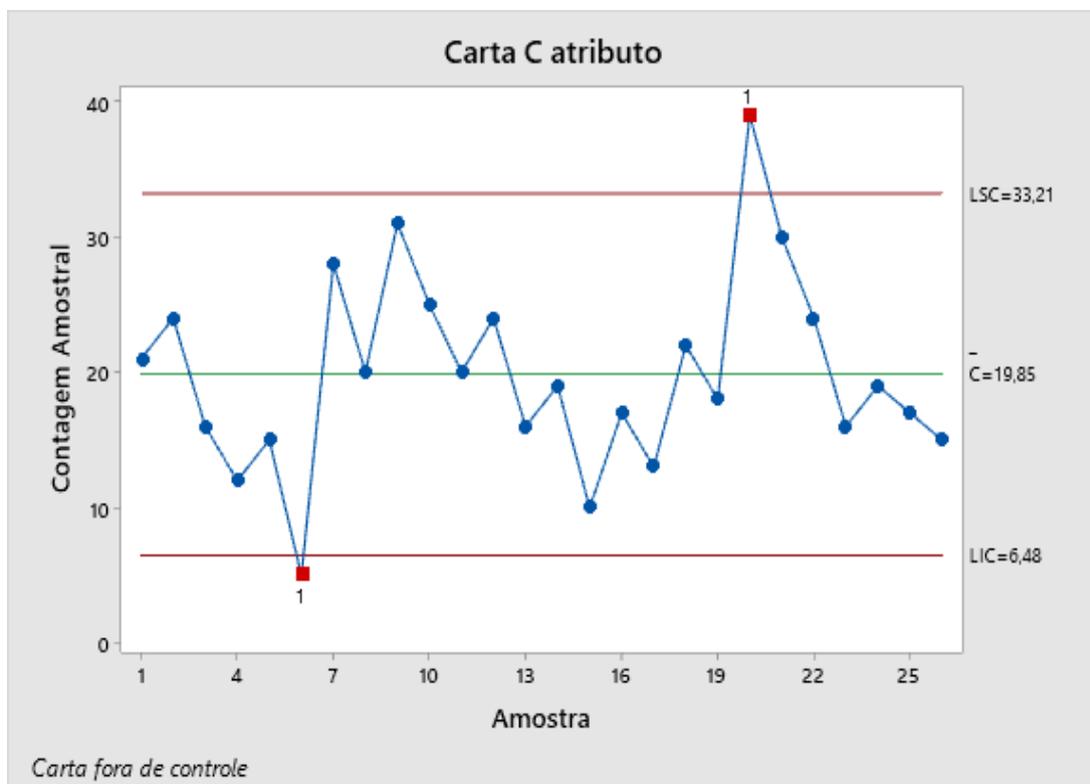


Figura 5.1 - Da questão 01 fora de controle.

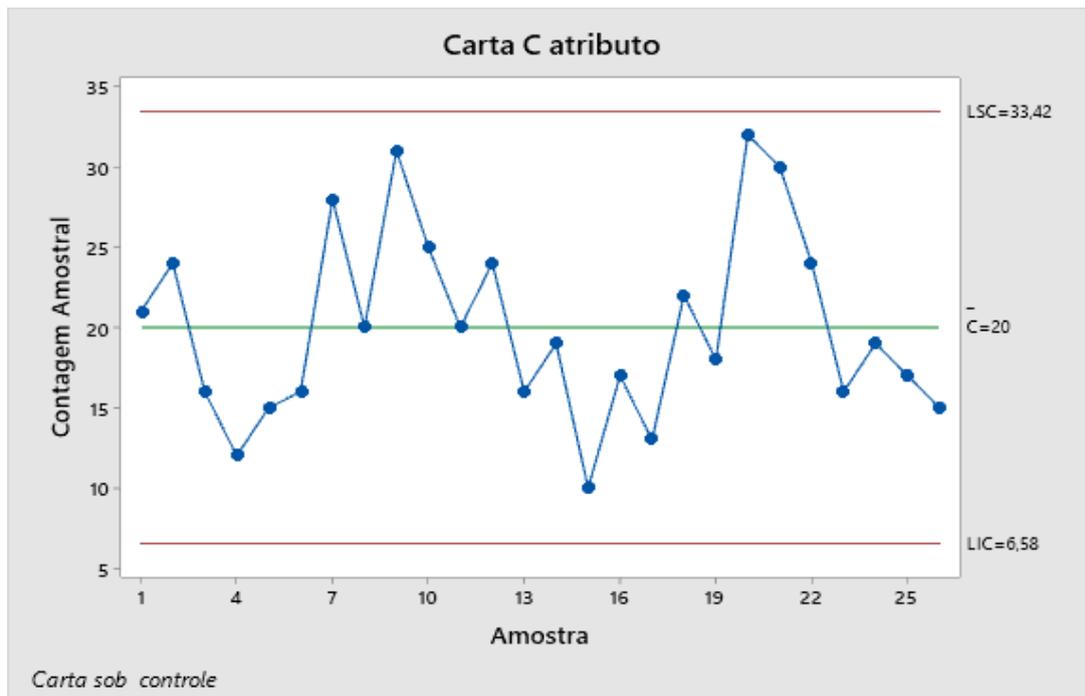


Figura 5.2 - Da questão 01 sob controle.

O controle de processo em resoluções de estatística nos proporcionou verificar variações especiais em pontos críticos e estabilizar variáveis entre os parâmetros média, desvios padrão e amplitude. Através das cartas de controle foi possível aproximar os pontos amostrais fora dos limites e ajustar defeitos de causas especiais entre os limites central inferiores e superiores auxiliando na melhoria contínua do processo permitindo identificar defeitos e controlar causas de variação anormais entre os parâmetros limitados da carta sob comparação das amostras nos testes de verificação e, como consequência, apresenta uma proposta do método estatístico para diminuição da variabilidade com redução nas perdas de aplicações.

Logo após aplicação das cartas de controle do Minitab, fez-se análises nas aplicações no qual em algumas questões encontrou-se causas de anormalidades causando desestabilização. Com as informações coletadas podemos concluir que existem pontos amostrais fora do limite de controle em algumas aplicações necessitando de ajuste pela carta do Software Minitab na melhoria da qualidade. Considerando que o processo é analisado por meio de gráficos de controle para estabelecer limites de controle para inspeções futuras, seria necessário identificar e eliminar as causas que fizeram os problemas apresentar variabilidade e após alterar amostras na construção de gráficos em Minitab, tornando-se viável a eliminação destes pontos para cálculos dos limites revisados.

A partir do estudo as ferramentas estatísticas possibilitaram a obtenção do diagnóstico sobre as variáveis de aplicações estudadas, sendo constatado que os dados apresentaram anormalidade, situando pontos dentro e fora do controle. A utilização das cartas proporcionam

vantagens ao manter o processo sob controle possibilitando alterar média, desvio padrão e amplitude, tornando-se importante por verificar ocorrência de causa especial em aplicações como foi mostrado ao longo do estudo, tornando evidente as vantagens e contribuições do programa Software, sendo este uma ferramenta relevante ao ser utilizado de forma correta em questões e resoluções de estatística aplicada, até mesmo nas demais áreas do conhecimento, obtendo resultados com maior facilidade, rapidez e precisão. Desta forma, o presente trabalho procurou aplicar conceitos sobre gráficos de controle num Instituto Federal de Ensino, mas especificamente no controle de variabilidade com o intuito de verificar se o processo estava ou não sob controle, avaliar sua capacidade, bem como definir LSC, LC, LIC e os parâmetros médias, amplitudes e desvios padrão.

Portanto ao término da pesquisa podemos concluir que ao aplicar o controle de processos, por meio das cartas utilizando o software Minitab no controle de variabilidade como recurso facilitador na identificação de tipos de causas que afetaram as aplicações nos possibilitou identificar e fazer execução de ações corretivas contribuindo na melhoria da qualidade de aplicações. Assim, o software permitiu extrair dados, monitorar o desempenho do processo, de forma a assegurar que os ganhos de qualidade e produtividade obtidos se perpetuem ao longo do tempo.

SUGESTÕES

Como sugestões de estudo para trabalhos futuros pode-se recomendar:

1. O estudo das aplicações para lineamentos experimentais em software Minitab. ODOE é uma abordagem estatística para a otimização da reação e do processo que permite a variação de diferentes fatores ao mesmo tempo, com o objetivo de selecionar o espaço de reação para obter os valores ideais. (MONNAIE, 2017).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, W. F. PARADIGMAS DE F PARADIGMAS DE FORMAÇÃO DOCENTE E A EDUCAÇÃO FÍSICA ESCOLAR FORMAÇÃO DOCENTE E A EDUCAÇÃO FÍSICA ESCOLAR: FORMAÇÃO DOCENTE E A EDUCAÇÃO FÍSICA ESCOLAR UMA ANÁLISE NA PÓS-GRADUAÇÃO. 2003. DISSERTAÇÃO (MESTRADO)

- FACULDADE DE EDUCAÇÃO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, BRASÍLIA. 2003.

ARAÚJO, R. R.; RIBEIRO, L. C. UM ESTUDO DA QUALIDADE DO PROCESSO DE FIAÇÃO – MEIO DE TÉCNICAS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO. ENERGET, 1999.

BORTOLOTTI, S. L. V.; SOUZA, R. A.; SOUSA, A. F. ANÁLISE DA QUALIDADE DO PRODUTO FINAL NO PROCESSO DE ENVASE DE AZEITONAS VERDES. V CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. 2009.

CARPINETTI, L. C. R. GESTÃO DA QUALIDADE: CONCEITOS E TÉCNICAS. SÃO PAULO: ATLAS, 2010. GADELHA, G. R. DE O.; MORAIS, G. H. N. ANÁLISE DO PROCESSO DE DESPERDÍCIO DE EMBALAGENS EM UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA: APLICAÇÃO DAS QUATRO PRIMEIRAS ETAPAS DO MASP. FORTALEZA-SC: XXXV ENERGET, 2015.

CARPINETTI, L. C. R.; MIGUEL, P. A. C.; GEROLAMO, M. C. GESTÃO DA QUALIDADE ISO 9001: 2008. 2ª. ED. SÃO PAULO: EDITORA ATLAS, 2012.

CARPINETTI, L.C.R. GESTÃO DA QUALIDADE – CONCEITOS E TÉCNICAS. 2ª ED. SÃO PAULO: ATLAS, 2010.

CARPINETTI, L. C. R. CONTROLE DA QUALIDADE DE PROCESSOS. 2ª EDIÇÃO. SÃO CARLOS: ATLAS, 2003.

CASTRO, D. R. C.; RAMOS, M. O.; COSTA, D. O.; SOUZA, V. F.; NEGRÃO, L. L.

L. A APLICABILIDADE DOS GRÁFICOS DE CONTROLE NAS EMPRESAS COMO MODELO DE INSPEÇÃO PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE. XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. ANAIS. BENTO GONÇALVES/RS: 2012.

CHAVES, J. B. P. CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. VIÇOSA, MG: (S.N.), 1997.

CHAVES, J. B. P.; TEIXEIRA, M. A. **CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE – INSPEÇÃO POR AMOSTRAGEM/MAPAS DE CONTROLE**. DTA/UFV. VIÇOSA, MG: (S.N.), 1997.

CHENG, Zhi-Qiang, Yi-Zhong, Bu Jing, Song Hua-Ming. “Mean Shifts Diagnosis And Identification In Bivariate Process Using Ls-Svm Based Pattern Recognition Model”. **International Journal of Industrial Engineering**, 2013.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de**

Qualidade. 2º ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2005. CRESPO, A. **Estatística Fácil**. 17º ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

CUNHA, M. dos A. B.; VASCONCELOS, F. C. W. **Inovação: Características das Indústrias e Confecção do Vestuário do Município de Divinópolis/Mg**. **Revista Sodebras**. Volume 9. nº 103. Julho/ 2014.

EDQUIST, C. **Innovation Policy Design: Identification of Systemic Problems**. Circle.Lund University. Sweden. 2011.

FOGLIATTO, F. S.; FALCÃO, A. S. G.; KRUMMENAUER, L. A.; MULLER, A. F.

Procedimento de Monitoramento do Desempenho de Equipes de Eletricistas e do Custo de Atividades em Redes de Transmissão Elétrica através das cartas de controle estatístico de processo. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Ouro Preto. ENEGEP, 2003.

GRANATO, D. **Manual para Elaboração de Carta de Controle para Monitoramento de Processos de Medição Quantitativas**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2013.

HEIZER, J.; RENDER, B. **Administração de operações**. 5ºed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2001.

HENNING, A. A. **Guia prático para identificação de fungos mais frequentes em sementes de soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2011.

HRADESKY, J. L. **Aperfeiçoamento da Qualidade e da Produtividade**. Guia prático para a implementação do Controle Estatístico de Processo. São Paulo, SP: Mc Graw-Hill, 1989.

ITA, I, F. E. **Controle da Qualidade**. 5ª ed. São Paulo, Prentice Hall, 2019.

JENSEN, W. A.; JONES-FARMER, L. A.; CHAM P, C. W.; WOODALL, W. H. Effects of parameter estimation on control chart properties. 1ª ed. a literature review. **Journal of Quality Technology**, 2006.

- JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle da Qualidade: Métodos Estatísticos Clássicos Aplicados à Qualidade**. 4ª ed. São Paulo, Makron, 1992.
- LACHMAN, L.; LIEBERMEN, H. A.; KANIG, J. L. **Teoria e Prática na Indústria**. 1ª ed. Lisboa: Fundação Galouste Guldenkian, 2001.
- LAGO, N. J. C. **O efeito do auto correlação em gráficos de controle para variável contínua: Um estudo de caso**. Florianópolis, 1999.
- LIM, S. A. H.; ANTONY, J.; GARZA-REYES, J. A.; ARSHED, N. **“Towards a conceptual roadmap for Statistical Process Control implementation in the food industry”**. *Trends in Food Science & Technology*. 2015.
- LIMA, A. A. N.; LIMA, J. R.; SILVA, J. L.; ALENCAR, J. R. B.; SOARES-SOBRINHO, J. L.; LIMA, L. G.; ROLIM-NETO, P. J. Aplicação do Controle Estatístico de Processo na Indústria Farmacêutica. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Brasil: Recife – PE, novembro, 2006.
- MACHADO, J. D. P. **Implantação de Controle Estatístico de Processo na Sociedade Central de Cervejas S.A.** Tese (Mestrado em Engenharia de Gestão Industrial). (2010). Universidade Nova de Lisboa, 2010.
- MAGALHÃES, J. D. **As Sete Ferramentas da Qualidade**. (2012). Disponível em: <http://www.aprendersempre.org.br/arqs/9%20-%207_ferramentas_qualidade.pdf>. Acesso em: 19 de agosto de 2014.
- MAGALHÃES, S. C. **A Resolução de Problemas nas Aulas de Estatística: diagnosticando a prática pedagógica**. Artigo apresentado ao Centro Universitário do Sul de Minas, UNIS/MG, 2012.
- MAICZUK, J.; ANDRADE JÚNIOR, P. P. **Aplicação de ferramentas de melhoria de qualidade e produtividade nos processos produtivos: Um estudo de caso**. *Qualit@s Revista Eletrônica*, jan. 2013.
- MANN, N. R. **Deming: As Chaves da Excelência**. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1992.
- MARTINS, V. **Relatório apresentado à disciplina Introdução a Engenharia do Curso de Engenharia de Produção**. Caxias do Sul: 2011. Disponível em: <<https://ifrs.edu.br/caxias/wp-content/uploads/sites/8/2022/04/PPC-2017-EP.pdf>> Acesso em: 14 de novembro de 2012.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2º ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MICHEL, M. H. **Metodologia e Pesquisa Científica em Ciências Sociais: Um Guia Prático para Acompanhamento da Disciplina e Elaboração de Trabalhos Monográficos**. São Paulo: Atlas, 2005.

MINITAB. **Conheça o Minitab para Windows**. 1º. ed. São Paulo: Editora Minitab Inc, 2010.

MONNAIE, D. **Síntese Química Rápida e Eficaz e Otimização apoiada pelo design de experimentos (DOE)**. webinar Mettler Toledo, 2017.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução Ao Controle Estatístico Da Qualidade**. 4º ed. Riode Janeiro: LTC, 2009.

MONTGOMERY, D.C. **Estatística Aplicada à Engenharia**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade**. 3º ed. Riode Janeiro: LTC, 1997.

MONTGOMERY, D. C. **Introdutivo to Statistical Quality Control**, 2º ed., New York, John Wiley & Sons, 1991.

MONTGOMERY, D.; RUNGER, G. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 4 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2009.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 5 ed. São Paulo: Pioneira, 2000

MURRAY, R. S. **Probabilidade e Estatística**. 1º. ed. São Paulo.: McGraw-Hill, 1970.

M UNIR, M.; TAJAMMAL, Y. W.; YOUNG, B. R.; WILSON, D. I. **The current status of process analytical technologies in the dairy industry; Industrial Information & Control Centre. Trends in Food Science & Technology** xx, 1e14, no século XX. Rio de Janeiro: Zahar, 2009.

NUFEC, N. F. N. C. **Gestão da Qualidade**. 2º. ed. São Paulo: Copyright, 2006

NUNES, J. de S. **O uso pedagógico dos mapas conceituais no contexto das novas tecnologias**. 2008. Disponível em: <<http://www.open.edu/openlearnworks/mod/page/view.php?id=35793>>. Acesso em: 17 de março de 2013.

OLIVEIRA, V. F. de. **Mobilidade e acessibilidade urbana: Uma análise sócia espaciala partir dos bairros Jardim Morada do Sol e Conjunto Habitacional Ana Jacinta, em Presidente Prudente**. Presidente Prudente, 2011. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT, Unesp.

- OAKLAND, J. S. **Gerenciamento da qualidade total**. 1ªed. São Paulo: Nobel, 1994.
- OLIVEIRA, T. S.; LIMA, R. H. P. **Aplicação do controle estatístico de processo na mensuração da variabilidade em uma usina de etanol**. Anais. INGEPRO Inovação, Gestão e Produção, v. 3, n. 6, p. 022-033, 2015.
- PALLADINI, E. P. *et al.* **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. 2º ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- PEDRINI, D. C.; CATEN, C. S.T. Comparação entre gráficos de controle para resíduos de modelos. **Anais. XV SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção**, UNESP, Bauru, Brasil, 2008.
- PEDRINI, D. C. **Proposta de um Método para Aplicação de Gráficos de Controle de Regressão no Monitoramento de Processos**. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção). (2010) Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2009.
- PEREIRA, A; PATRÍCIO, T. **SPSS – Guia Prático de Utilização**. Disponível em: Acesso em: 18 de abril de 2016.
- PRIES, K. H.; QUIGLEY, J. M. **Total Quality Management for Project Management**. Boca Raton: CRC Press, 2013..
- REBELATO, M. G. *et al.* **Estudo sobre a aplicação de gráficos de controle em processos de saturação de papel**. XIII SIMPEP. Anais. Bauru, SP: 2006.
- REIS, L. G. **Produção de monografia: de teoria à prática**. 2º ed. Brasília: Senac – DF, 2016.
- ROSA, L. C. **Introdução ao Controle Estatístico de Processos**. Santa Maria, ed. DaUFSM, 2009.
- ROSE, K. H. **Project Quality Management: Why, What and How**. Boca Raton: J. RossPublishing, 2005.
- RODRIGUES, G. P. **Controle Estatístico de Qualidade e de Processo na Indústria de Alimentos**. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, MG, 1998. Richardson, Roberto J. Pesquisa social: métodos e técnicas. São Paulo: Atlas, 1999.
- ROCCO, J. P.; LLOYD, P. P.; SANDY, K. M. **The run chart: a simple analytical tool for learning from variation in healthcare processes**. *BMJ Qual Saf*, 2011.
- RIBEIRO, J. D.; TEN CATEN, C. S. **Série monográfica Qualidade: Controle estatístico do processo**. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2012.

REID, R. D.; SANDERS, N. R. **Gestão de Operações**. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.: 2005.

REYNOLDS, A. R. JR.; ARNOLD, J. C. **EWMA control charts with variable samplesizes and variable sampling intervals**. IIE Transactions, 2010.

RYAN, T. P. **Statistical Methods for Quality Improvement**. New York, Wiley. 2°.ed. 2011.

SILVA, S. D. A.; MAGNO, R. N. O. Probabilidade, Carta de Controle Aplicada a Software em Ciência da Educação. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 06, Ed. 06, Vol. 11, pp. 43-73. Junho de 2021. ISSN: 2448-0959, Link de acesso:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/matematica/ciencia-da-educacao>, DOI:10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/matematica/ciencia-da-educacao.

SILVA, S. D. A.; MAGNO, R. N. O. "Probabilidade, Carta de Controle Aplicada a Software em Ciência da Educação". **Capítulo do livro O ensino de matemática na atualidade: percepções, contextos e desafios 2**. São Paulo: Editora Aya, 2022. ISBN:978655379-012-4, Link do livro: <https://ayaeditora.com.br/Livro/17645>, DOI:10.47573/aya.5379.2.62.11.

SAMOHYL, R. W.; HENNIN, E.; WALTER, O. M. F. C.; COSTA, R. N. **Aplicações na Engenharia de Produção voltadas ao Controle Estatístico da Qualidade com o Excel**. Produção em foco artigo, Centro Universitário Tupy – UNISOCIESC Joinville. Santa Catarina. Brasil - ISSN 2237-5163 / v. 03. n. 01: p. 144-162. Ano, 2013.

SONIA, V. Elementos de Estatística. 4ª edição São Paulo: Atlas, 2009

SOUZA, A. M.; R, M. H. **Identificação de Variáveis fora de Controle em Processos Produtivos Multivariados**. Produção, 2005.

SIQUEIRA, L. G. P. **Controle Estatístico do Processo**. São Paulo: Pioneira – Equipe GRIFO, 1997.

SALSBURG, D. Uma senhora toma chá: como a Estatística Revolucionou a Ciência.

2009. SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1996.

SAMOHYL, R. W. **Controle Estatístico da Qualidade**. 5° ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SUPPORT, Minitab. **Cartas de controle de variáveis no Minitab.** 2018. Disponível em: . Acesso em: 16 maio 2018.

TRIVELLATO, A. A. **Aplicação das Sete Ferramentas básicas da Qualidade no ciclo PDCA para melhoria contínua: Estudo de Caso numa empresa de autopeças.** 73 F. Trabalho de conclusão de curso, Universidade de São Paulo, 2010

TALIB, Manar, Abu; Khelifi, Adel; Abran, Alain; Ormandjieva, Olga. **Techniques For Quantitative Analysis Of Software Quality Throughout The Sdlc: The Swebok,**2010

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços.** 15. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1999.

ERKEMA, M. C. C. **Ferramentas Estatísticas básicas para o gerenciamento de processos.** 2° ed. Belo Horizonte: Werkema,2006.

WERKEMA, M. C. C. **Avaliação de Sistemas de Medição.** 2°ed. Belo Horizonte: Werkema. 2012.

WERKEMA. M. C. C. **Ferramentas Estatísticas Básicas do Lean Seis Sigma Integradas ao PDCA e DMAIC.** 3°ed Rio de Janeiro: Werkema, 2014.

WERKEMA, M. C. C. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos.**6. ed. Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1995.