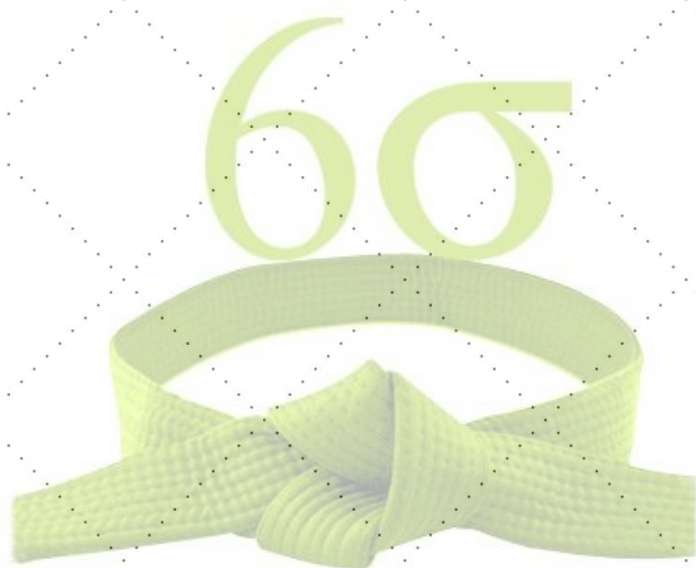


ALINE ROBERTA PAULA OLIVEIRA
LUCHIANA FERNANDES SILVA ESTELLER

GREEN BELT EM SIX SIGMA



ESTUDOS DE CASOS



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

2019

ALINE ROBERTA PAULA OLIVEIRA
LUCHIANA FERNANDES SILVA ESTELLER

GREEN BELT EM SIX SIGMA
Estudos de Casos

1ª edição

Piracanjuba
EDITORA CONHECIMENTO LIVRE
2019

1ª ed. 2019.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Oliveira, Aline Roberta Paula, Esteller, Luchiana Fernandes Silva

O48a Green belt em six sigma: estudos de casos. / Aline Roberta Paula Oliveira/ Luchiana Fernandes Silva Esteller. --Goiânia: Conhecimento Livre, 2019.
139 f. : il.

ISBN: 978-65-80226-00-9

1. Engenharia de Produção. 2. Variabilidade. 3. Seis Sigma. 4. Ração Animal Extrusada. I. 1. Engenharia de Produção. 2. Tratamento do caldo. 3. Seis Sigma. 4. DMAIC. 5. Cana-de-açúcar. I. Oliveira, Aline Roberta Paula, II. Esteller, Luchiana Fernandes Silva. III. Título.

CDU: 658.5:633.61

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1 -Exemplo de Diagrama de Ishikawa e ilustração dos 6M.....	22
Figura 2 -Exemplo de pareto de defeitos de inspeções de capôs de carros.....	23
Figura 3 -Representação gráfica de um histograma	24
Figura 4 -Exemplo de dispersão positiva de um processo químico	25
Figura 5 -Exemplo de mapeamento BPMN	34
Figura 6 -Fluxograma Método de Trabalho	38
Figura 7 - <i>Team Charter</i>	41
Figura 8 -Mapeamento BPMN do processo de produção de ração extrusada atual.....	42
Figura 9 -Gráfico de controle de Pesos da Linha A	43
Figura 10 -Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha A	44
Figura 11 -Relatório de Capacidade do Processo para Pesos - Linha A	44
Figura 12 -Nível Sigma Linha A	45
Figura 13 -Gráfico de controle de Pesos da Linha B.....	46
Figura 14 -Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha B	46
Figura 15 -Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha B.....	47
Figura 16 -Nível Sigma Linha B	47
Figura 17 -Gráfico de controle de Pesos da Linha C.....	48
Figura 18 -Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha C	48
Figura 19 -Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha C.....	49
Figura 20 -Nível Sigma Linha C	49
Figura 21 -Gráfico de controle de Pesos da Linha D	50
Figura 22 -Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha D.....	50
Figura 23 -Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha D.....	51
Figura 24 -Nível Sigma Linha D	51
Figura 25 -Gráfico de controle de Pesos da Linha E.....	52
Figura 26 -Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha E	52
Figura 27 - Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha E.....	53
Figura 28 -Nível Sigma Linha E	53
Figura 29 - Gráfico de controle de Pesos da Linha F.....	54
Figura 30 -Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha F.....	54
Figura 31 -Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha F	55
Figura 32 -Nível Sigma Linha F.....	55
Figura 33 -Gráfico de controle de Pesos Linha G	56
Figura 34 -Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha G	56
Figura 35 -Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha G.....	57
Figura 36 -Nível Sigma Linha G	57
Figura 37 -Gráfico de controle de Pesos Linha H	58
Figura 38 -Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha H.....	58
Figura 39 -Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha H.....	59
Figura 40 -Nível Sigma Linha H.....	59
Figura 41 -Gráfico de controle de Pesos Linha I.....	60
Figura 42 -Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha I	60
Figura 43 -Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha I.....	61
Figura 44 - Nível Sigma Linha I	61

Figura 45- Gráfico de controle de Pesos Linha J	62
Figura 46- Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha J	62
Figura 47- Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha J	63
Figura 48- Nível Sigma Linha J	63
Figura 49- Diagrama de Ishikawa para a variabilidade dos pesos	65
Figura 50- Mapeamento BPMN do processo de produção de ração extrusada- melhorias	72

LISTA DE FIGURAS

Capítulo II

Figura 1: Evolução da Qualidade.	70
Figura 2: Etapas para o controle de processos	72
Figura 3: Ferramentas utilizáveis em cada fase do ciclo DMAIC.	74
Figura 4: As fases da metodologia DMAIC.	76
Figura 5: Estratégia para melhorias no controle estatístico de processos.....	77
Figura 6: Modelo Project Charter.....	78
Figura 7: Modelo SIPOC.....	79
Figura 8: Modelo Estratificação.	79
Figura 9: Modelo 5W's e 2H's.	80
Figura 10: Modelo Folha de Verificação.....	80
Figura 11: Modelo de Histograma.....	81
Figura 12: Diagrama de Pareto.....	82
Figura 13: Diagrama de Causa e Efeito.	83
Figura 14: Diagrama de Dispersão.	84
Figura 15: Etapas de Aplicação do CEP.	85
Figura 16: Exemplos de Cartas de Controle: a) Sob controle; b) Fora do controle.....	86
Figura 17: Elementos da Notação BPMN.	87
Figura 18: Fluxograma do processo de tratamento do caldo de cana-de-açúcar.....	94
Figura 19: Média do pH do caldo dosado no período de abril-junho de 2018.....	97
Figura 20: Média do pH do caldo sulfitado no período de abril-junho de 2018.....	98
Figura 21: Média de sulfito adicionado ao caldo no período de abril-junho de 2018.....	99
Figura 22: Média da temperatura do caldo no período de abril-junho de 2018.	100
Figura 23: Média da transmitância do caldo no período de abril-junho de 2018.	101
Figura 24: Diagrama de Ishikawa do processo de tratamento do caldo de cana.	102
Figura 25: Carta de controle de variável para o pH do caldo dosado.....	103
Figura 26: Carta de controle de variável para o pH do caldo sulfitado.....	104
Figura 27: Carta de controle de variável para sulfito adicionado ao caldo.	105
Figura 28: Carta de controle de variável para a temperatura do caldo.....	105
Figura 29: Carta de controle de variável para a transmitância do caldo.	106
Figura 30: Histograma com relatório de capacidade do processo para o pH do caldo dosado.	107
Figura 31: Histograma com relatório de capacidade do processo para o pH do caldo sulfitado.	108
Figura 32: Histograma com relatório de capacidade do processo para o sulfito no caldo.	108

Figura 33: Histograma com relatório de capacidade do processo a temperatura do caldo.	109
Figura 34: Histograma com relatório de capacidade do processo a transmitância do caldo clarificado.....	110

LISTA DE QUADROS

Capítulo I

Quadro 1- Tradução do nível de qualidade para a linguagem financeira.....	17
Quadro 2- Parâmetros de análise para Cp	30
Quadro 3- Diferenças entre Mapa e Modelo de Processo	32
Quadro 4- Notações de modelagem de processos	33
Quadro 5: Comparativo entre médias amostrais	64
Quadro 6: Planejamento 5W1H	66
Quadro 7: Melhorias propostas	73

LISTA DE QUADROS

Capítulo II

Tabela 1: Project Charter do Processo de tratamento do caldo para produção de açúcar.....	92
Tabela 2: Média das variáveis das análises laboratoriais do processo de tratamento do caldo... 	95
Tabela 3: Matriz de Priorização do processo de tratamento do caldo de cana.	110
Tabela 4: Proposta de Plano de Ação utilizando a ferramenta 5W2H.....	111

LISTA DE SIGLAS

BPF - Boas Práticas de Fabricação

BPMN – *Business Process Model and Notation*

CEP - Controle Estatístico de Processo

DMAIC - *Define, Measure, Analyse, Improve, Control*

DPMO - Defeitos por Milhão de Oportunidades

DPO - Defeitos por Oportunidades

DPU - Defeitos por Unidade

PCP - Planejamento e Controle da Produção

POP - Procedimento Operacional Padrão

LIC - Limite Inferior de Controle

LM - Linha Média

LSC - Limite Superior de Controle

PH - Potencial Hidrogeniônico

CTQ - Características Críticas da Qualidade

SUMÁRIO

<i>CAPÍTULO I</i>	1
<i>AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE ENVASE DE RAÇÃO ANIMAL EXTRUSADA UTILIZANDO A METODOLOGIA SEIS SIGMA: UM ESTUDO DE CASO</i>	1
APRESENTAÇÃO.....	2
INTRODUÇÃO.....	4
O QUE É E COMO APLICAR O SIX SIGMA.....	7
SEIS SIGMA	7
MÉTODO DMAIC.....	8
PROJECT CHARTER.....	10
CEP (CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO).....	10
ESTRATIFICAÇÃO	11
FOLHAS DE VERIFICAÇÃO	11
DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	12
GRÁFICO DE PARETO.....	13
HISTOGRAMA.....	14
DIAGRAMA DE CORRELAÇÃO OU DIAGRAMA DE DISPERSÃO.....	15
GRÁFICOS DE CONTROLE.....	16
GRÁFICOS DE CONTROLE PARA VARIÁVEIS	18
GRÁFICO DO DESVIO PADRÃO OU GRÁFICO S	18
GRÁFICO DA AMPLITUDE OU GRÁFICO R.....	18
GRÁFICO DA MÉDIA OU GRÁFICO X.....	19
GRÁFICO PARA MEDIDAS INDIVIDUAIS.....	19
ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO	20
MAPEAMENTO DE PROCESSOS	21
BPMN (BUSINESS PROCESS MODEL AND NOTATION)	24
MÉTODO APLICADO	26
ESTUDO DE CASO	29
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31

DEFINE	31
MEASURE	32
ANALYSE.....	33
DISCUSSÕES DAS CAUSAS RAÍZES	55
IMPROVE	56
CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
<i>CAPÍTULO II</i>	64

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC NA REDUÇÃO DA VARIABILIDADE NO PROCESSO DE TRATAMENTO DO CALDO DA CANA-DE-AÇÚCAR64

APRESENTAÇÃO.....	65
INTRODUÇÃO.....	66
REFERENCIAL TEÓRICO.....	69
GESTÃO DA QUALIDADE.....	69
A METODOLOGIA SEIS SIGMA.....	72
O MÉTODO DMAIC.....	74
CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS - CEP.....	76
MANTENDO O PROCESSO CONTROLADO	84
GRÁFICO PARA AS MÉDIAS:	86
GRÁFICO PARA AS AMPLITUDES:	86
GRÁFIO DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO.....	86
PROCESSO DE TRATAMENTO DO CALDO DA CANA-DE-AÇÚCAR	88
METODOLOGIA.....	90
INSTRUMENTOS PARA A COLETA DE DADOS.....	90
PROCEDIMENTOS PARA O ESTUDO	91
RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
ETAPA 1 – DEFINIR (DEFINE).....	92
ETAPA 2 – MEDIR (MEASURE).....	95
DIAGRAMA DE ISHIKAWA – CAUSA E EFEITO.....	102
ETAPA 4 – ANALISAR (ANALYSE).....	103
ETAPA 4 – MELHORAR (IMPROVE)	110
ETAPA 5 – CONTROLAR (ANALYSE)	116
CONSIDERAÇÕES FINAIS	119

REFERÊNCIAS	121
-------------------	-----

CAPÍTULO I

AVALIAÇÃO DA
VARIABILIDADE DO
PROCESSO DE ENVASE DE
RAÇÃO ANIMAL EXTRUSADA
UTILIZANDO A
METODOLOGIA SEIS SIGMA:
UM ESTUDO DE CASO

APRESENTAÇÃO

Com a grande competitividade no mercado, as indústrias precisam buscar a inovação e otimização de seus processos, objetivando o melhor controle e aumento da qualidade de seus produtos e serviços. Devido a essa grande competitividade, para que as indústrias consigam sobreviver no mercado, faz-se necessário a adoção de medidas de controle em seus processos produtivos que possibilitem a redução de desperdícios e conseqüentemente de custos. Para otimizar os processos produtivos os gestores precisam entender quais são os fatores que influenciam no processo negativamente, sendo importante conhecer as fontes de variação existentes. Existem ferramentas da qualidade que possibilitam o melhor entendimento e controle das variações dos processos produtivos. Nesse estudo objetivou-se avaliar a variabilidade do processo de envase de ração animal extrusada por meio de um estudo de caso em uma indústria de ração localizada na região sul de Goiás. Trata-se de uma pesquisa descritiva, com a descrição do processo de envase e processo produtivo, possui natureza aplicada, objetivando solucionar o problema da variabilidade de forma concreta e abordagem quantitativa utilizando dados quantitativos para mensurar a variabilidade existente no processo de envase de ração animal extrusada. Foi adotada a metodologia Seis Sigma por ser uma ferramenta da qualidade que permite a identificação da variabilidade nos processos, auxilia em suas melhorias e por apresentar resultados satisfatórios quando aplicada de forma correta em diversos processos. Todo o estudo seguiu as etapas de implementação da metodologia Seis Sigma, conhecidas como DMAIC. A coleta de dados ocorreu mediante a observação direta do processo de envase de ração animal extrusada, em dias aleatórios, conforme produção de cada linha produtiva. Foram avaliadas a variabilidade no envase de 10 linhas produtivas, sendo coletados 25 pesos de cada uma das linhas, totalizando 250 dados ao final da coleta. Foram utilizadas as ferramentas da qualidade: *Braistorming* e Diagrama de Ishikawa para o levantamento das possíveis causas da variabilidade. Foi avaliado se o processo de envase de cada linha produtiva estava sob controle estatístico de processo por meio de gráficos de controle por variáveis. Foi verificada a normalidade dos dados coletados, o nível sigma e o índice de capacidade de cada uma das linhas produtivas por meio de gráficos gerados pelo software *Minitab*®. Posteriormente foi realizado um comparativo entre as médias de pesos de cada uma das linhas produtivas para avaliar a variação entre elas. Concluiu-se que apesar das 10 linhas produtivas estarem sob controle estatístico de processo, apresentando-se dentro da variação permissível, todas apresentaram os índices de capacidade, C_p e C_{pk} muito baixos indicando

que a capacidade do processo não atende aos requisitos de especificação. Além disso, todas as linhas produtivas apresentaram nível sigma muito baixos indicando grande variabilidade em seus processos de envase, podendo acarretar grandes prejuízos financeiros para a indústria. Ao final do estudo, foi elaborado um plano de ação com sugestões de melhorias a serem implementadas pela indústria estudada, objetivando a redução da variabilidade do processo de envase das linhas produtivas, em até 80%.

INTRODUÇÃO

Na busca por melhores posições em um mercado competitivo, as indústrias procuram a cada dia mais ferramentas que possam contribuir para a melhoria dos sistemas produtivos, garantindo a qualidade de seus produtos e visando alcançar a satisfação de seus clientes. Um produto ou serviço pode ser considerado como de qualidade quando atende perfeitamente as necessidades do cliente, oferecendo confiança e acessibilidade (CAMPOS, 1999).

Há ferramentas que podem contribuir para uma melhor gestão da qualidade, como a estratificação, Folhas de Verificação, Diagrama de Ishikawa, Diagrama de Pareto, Histograma, Diagrama de Correlação ou Dispersão entre outras, que são comumente utilizadas na metodologia Seis Sigma para redução da variabilidade do processo (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013; WERKEMA, 2012).

O Seis Sigma foi criado na Motorola, em 15 de janeiro de 1987, visando tornar a empresa capaz de superar a concorrência estrangeira que estava produzindo produtos de qualidade, porém a um custo mais baixo (WERKEMA, 2012). O desenvolvimento dos projetos Seis Sigma são realizados seguindo o método conhecido como modelo DMAIC, que é constituído das seguintes etapas: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyse* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control*(Controlar) (WERKEMA, 2011).

O Seis Sigma, implementado através da metodologia DMAIC pode atuar de diferentes formas dentro das empresas, como um *Benchmark* comparando o nível de qualidade de processos, produtos e departamentos, como uma meta de qualidade objetivando atingir o mais próximo de zero defeitos ou falhas, como uma filosofia de melhoria dos processos, como uma estatística calculando as características críticas da qualidade, como uma estratégia ao atendimento e satisfação dos clientes (ROTONDARO, 2014).

O DMAIC é um método que permite a utilização de ferramentas de controle estatístico, a partir da sua segunda etapa *Measure*, em que é planejada e realizada a coleta de dados, sendo os mesmos utilizados para avaliar as variações dos problemas prioritários identificados (WERKEMA, 2012). O Controle Estatístico de Processos (CEP) destaca-se na metodologia DMAIC, como uma ferramenta da qualidade de apoio gerencial, utilizada nos processos produtivos visando o fornecimento de informações para a identificação e prevenção de defeitos,

falhas, erros e problemas nos processos avaliados e, conseqüentemente, contribuindo no aumento da produtividade e lucratividade da empresa (PACHECO; RIEGEL, 2016).

O CEP utiliza técnicas estatísticas na área produtiva, sendo possível identificar e reduzir a variabilidade de um processo, permitindo a melhoria da qualidade dentro de seus limites de controle, que são estabelecidos mediante projeto ou exigências de clientes. A qualidade se opõe à variabilidade, pois, para que a mesma seja alcançada, é preciso respeitar os limites de especificações dos produtos, com o mínimo de variações possíveis (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Rotondaro (2014) enfatiza que se um determinado processo possuir uma grande variabilidade obterá um produto ou serviço de baixa qualidade, com grandes custos, deixando o cliente insatisfeito, colocando em risco a sobrevivência do negócio. Nesse sentido, é fundamental que as indústrias se atentem a variabilidade de seus processos.

Em indústrias de produção de ração animal extrusada, existe uma grande dificuldade associada ao processo de envase de ração, pois ocorre variabilidade nos pesos das sacarias, extrapolando os limites de especificação do produto. Na indústria estudada neste trabalho, o peso mínimo (limite inferior) que o saco de ração animal extrusada deve apresentar é de 25,100 kg e o peso máximo (limite superior) deve ser de 25,200 kg. Porém ocorre muita variabilidade nos pesos, ultrapassando o limite superior que pode acarretar em prejuízos financeiros para a empresa, e não atingindo o limite inferior, que pode acarretar em reclamações de clientes.

Dentro desse contexto, levanta-se a seguinte problemática: como a utilização da metodologia Seis Sigma pode contribuir para a redução da variabilidade no processo de envase de ração animal extrusada?

Neste ínterim, objetiva-se estudar a eficiência da metodologia Seis Sigma para a redução da variabilidade no processo de envase de ração animal extrusada, com o intuito de:

- Mensurar a variabilidade no processo de ração animal extrusada, utilizando gráficos de controle para variáveis e o nível sigma;
- Investigar as causas raízes que geram a variabilidade;
- Propor um plano de ação para solucionar as falhas diagnosticadas.
- Mapear o processo com a previsão das melhorias propostas.

Partindo da problemática apresentada dá-se ênfase a utilização da metodologia Seis Sigma no presente estudo, devido sua eficiência já comprovada em aplicações em diversos processos. Por exemplo Aquino, Neto e Lotufo (2012) desenvolveram um projeto com a implementação da metodologia Seis Sigma em um processo de manufatura de uma fábrica de fundição de alumínio no município de Taubaté. As principais conclusões obtidas com o desenvolvimento do projeto

evidenciam que haviam grandes perdas devido peças quebradas no cabeçote fundido, aumentando os custos produtivos. Com a implementação do projeto Seis Sigma, objetivou-se reduzir 70% dos defeitos gerados, sendo possível alcançar 85,84% de redução nos defeitos, superando as expectativas do projeto. Além de reduzir os defeitos, a empresa estudada também obteve ganhos ambientais, com a redução do consumo de energia elétrica, redução na captação de água e redução na utilização do alumínio, comprovando a eficiência da aplicação da metodologia Seis Sigma.

Ferreira R.A e Ferreira R.P (2015) realizaram um estudo da aplicação da metodologia Seis Sigma em uma multinacional de grande porte na fabricação de lâmpadas, cujo objetivo do projeto era diminuir o refugo de processo de produto. Após a implementação da metodologia Seis Sigma, foi possível reduzir de 8,2% para 1,6% o refugo. O esperado era atingir 3,5% de redução, superando as expectativas do projeto, evidenciando a eficiência da implementação da metodologia Seis Sigma.

Neste estudo será dada ênfase ao processo de envase de ração animal extrusada incorporando a utilização da filosofia Seis Sigma utilizando a ferramenta DMAIC, para o diagnóstico, mensuração e monitoramento da variabilidade do processo. Serão abordados conceitos fundamentais para o entendimento do estudo tais como: CEP e Ferramentas de Controle. Esse estudo será realizado em uma indústria alimentícia que produz ração animal extrusada na região sul de Goiás.

O QUE É E COMO APLICAR O SIX SIGMA

Nesta seção serão abordados os principais assuntos teóricos relacionados ao tema proposto, divididos em tópicos e subtópicos fundamentais para o embasamento do estudo, tais como: metodologia Seis Sigma, DMAIC, Controle Estatístico de Processo e Ferramentas de Controle.

SEIS SIGMA

A metodologia Seis Sigma pode ser definida como uma estratégia gerencial quantitativa que visa aumentar o desempenho e a rentabilidade das organizações, através da melhoria dos processos e qualidade dos produtos (WERKEMA, 2011). Segundo Rotondaro (2014), o Seis Sigma é uma metodologia que está apoiada em quatro colunas básicas: foco nas características críticas do cliente, baseado em dados, gerenciamento por processos e metodologia robusta. O Seis Sigma não é utilizado somente para aumentar a qualidade e aperfeiçoar os processos, mas também para reduzir o custo da não qualidade e consequentemente aumentar a lucratividade das empresas.

Para conhecer a capacidade sigma de um processo é necessário a avaliação do nível sigma do mesmo conhecido como *ZBench*. Proveniente da curva de distribuição normal, com média zero e desvio padrão igual a um. O nível sigma é uma medida estatística que verifica o nível de qualidade de um processo ou produto (DOMENECH, 2004).

O Quadro 1 representa a escala Seis Sigma traduzida do nível de qualidade para a linguagem financeira dos benefícios de se alcançar o padrão Seis Sigma. Quanto maior o nível sigma, menor a ocorrência de defeitos.

Quadro 1: Tradução do Nível de Qualidade para a Linguagem Financeira

Nível de qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Custo da não qualidade (percentual do faturamento da empresa)
2 sigma	308.537	Não se aplica
3 sigma	66.807	25 a 40%

4 sigma	6.210	15 a 25%
5 sigma	233	5 a 15%
6 sigma	3,4	<1%

Fonte: Werkema(2012, p.17)

As métricas baseadas em defeitos levam em conta o número de defeitos, sendo as quatro principais: Defeitos por Unidade (DPU), Defeitos por Oportunidade (DPO), Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO) e Escala Sigma. Para calcular o índice DPMO se utiliza a seguinte Equação 1:

$$DPMO = \frac{D}{N*O*10^6} \dots\dots\dots(1)$$

Sendo número de oportunidades para defeitos (O), número de unidades do produto avaliadas (N), número total de defeitos encontrados nas unidades do produto avaliadas (D) (WERKEMA, 2012).

O Seis Sigma utiliza a metodologia DMAIC que será apresentada no próximo subtítulo.

Método DMAIC

O método DMAIC começou a ser utilizado juntamente com a metodologia Seis Sigma, pela Motorola, em 1987, dividida em cinco etapas: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. Essas etapas facilitam a aplicação do Seis Sigma de maneira organizada (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007).

Na implementação do Seis Sigma difundido com o método DMAIC, são utilizadas ferramentas estatísticas e da qualidade sendo as principais: Diagrama de Causa e Efeito, Gráfico de Pareto, Mapeamento de Processo e Gráfico de Controle. Além dessas ferramentas, existem outras que podem ser utilizadas de acordo com a necessidade do projeto (RODRIGUES; WERNE, 2012).

Na primeira etapa do DMAIC, denominada *Define* é definido qual o processo será aplicado o Seis Sigma. Existem processos técnicos como os processos de fabricação de produtos e os processos não técnicos como os processos administrativos. Em seguida deve-se definir a equipe, o escopo e prazos do projeto (ROTONDARO, 2014).

De acordo com Rodrigues (2014), essa é a etapa em que a equipe responsável pelo projeto deve ser formada, deve ser elaborado um mapa com as necessidades e requisitos estabelecidos pelos clientes.

Nessa etapa deve se definir claramente o novo produto ou processo a ser projetado almejando como resultados, a justificativa para o desenvolvimento do projeto, potencial de mercado para

o produto, análise preliminar da viabilidade técnica, análise preliminar da viabilidade econômica, previsão do término do projeto e estimativa dos recursos necessários. Uma ferramenta importante que deve ser utilizada nessa etapa é o *Project Charter* (WERKEMA, 2012).

Na segunda etapa *Measure* deve-se identificar as necessidades dos clientes e convertê-las em características críticas para a qualidade, mensuráveis e priorizadas do produto. Deve se realizar uma análise detalhada do mercado, definindo o foco do problema e sua dimensão (WERKEMA, 2011; RODRIGUES, 2014). Essa etapa objetiva identificar as fontes de variação do processo, através da coleta de dados, sendo necessária a modelagem do processo, com as definições das entradas e saídas de cada etapa, utilizando para isso o mapeamento do processo (ROTONDARO, 2014).

Na terceira etapa *Analyse*, o foco é identificar os problemas ocorridos nos processos e suas causas raízes, utilizando para isso, os dados coletados na fase anterior (BRAZ, 2002). Nessa fase é realizada a definição das principais funções a serem projetadas para o atendimento das necessidades dos clientes e consumidores, sendo determinada a causa raiz do problema e a avaliação financeira detalhada do projeto (WERKEMA, 2012).

Na quarta etapa *Improve* deve-se aplicar as melhorias estabelecidas no processo estudado, convertendo os dados estatísticos coletados em dados de processo, atuando diretamente nas causas raízes dos problemas (ROTONDARO, 2002). Essa etapa visa a eliminação dos problemas identificados, por meio das melhorias propostas, proporcionando conseqüentemente a redução dos custos e agregando mais qualidade aos produtos e processos, objetivando a maior satisfação dos clientes (RODRIGUES, 2014). De acordo com Werkema (2012), é necessário desenvolver o protótipo do projeto, realizar os testes necessários, analisar o mercado e feedback dos clientes sobre os protótipos avaliados e realizar o planejamento da produção.

A última etapa do DMAIC, *Control* consiste em adotar métodos para manter as melhorias de forma contínua, podendo ser utilizadas ferramentas de controle estatístico como cartas de controle, gráficos de controle entre outras (ROTONDARO, 2014). Essa etapa consiste em avaliar o alcance da meta estabelecida, para isso é necessário realizar um comparativo utilizando os dados coletados antes e após adotar a melhoria. Se o resultado da meta for desfavorável, a equipe deve retornar a fase de Medir para um maior aprofundamento da análise, caso o resultado seja favorável, deve se definir e implementar um plano para monitoramento do alcance da meta. As ferramentas folhas de verificação, amostragem, carta de controle,

histograma, índice de capacidade, métricas do Seis Sigma e auditoria do uso de padrões podem ser utilizadas diariamente para garantir que os resultados alcançados sejam mantidos (WERKEMA, 2012).

A aplicação de conceitos estatísticos é um dos aspectos necessários para a implantação da metodologia Seis Sigma. É importante destacar a contribuição da utilização desses conceitos e ferramentas para o monitoramento e controle dos processos (JOHANN, 2011)

Project Charter

O *Project Charter* ou também como é conhecido TAP (Termo de Abertura de Projeto) é um documento que retrata um contrato entre a equipe do projeto e os gestores da empresa, com os objetivos de formalizar o escopo do projeto, com o que se espera da contribuição de cada membro da equipe, com a definição dos objetivos prioritários da empresa (WERKEMA, 2012).

De acordo com Heldman (2009), o *Project Charter* é um documento que oficializa por escrito a autorização do projeto a ser executado, sendo composto pela justificativa do projeto, objetivos, descrição do problema e do produto, orçamento, premissas, restrições e definição do gerente do processo. O *Project Charter* documenta a necessidade do desenvolvimento do projeto podendo ser aprovado pelos patrocinadores do projeto, alta gerência ou diretoria.

CEP (Controle Estatístico de Processo)

A estatística é uma ciência voltada para a mensuração e interpretação matemática de dados, permitindo conclusões válidas que contribuem para a tomada de decisão. É classificada em Estatística Descritiva, que é voltada para a organização, interpretação e apresentação dos dados e a Estatística Indutiva que é voltada para o estabelecimento de hipóteses sobre a população e na formulação de previsões com base em probabilidades (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

O CEP é uma ferramenta que utiliza a estatística para auxiliar no controle da qualidade e no acompanhamento das etapas de um processo, principalmente em processos de produção repetitivos, ou seja, a utilização do CEP permite identificar as variações e controlá-las, visando alcançar a estabilidade e melhoria contínua nos processos (WERKEMA, 2006).

O CEP pode ser conceituado como um conjunto de procedimentos utilizados para avaliar, monitorar e solucionar problemas voltados para processos, buscando alcançar a estabilidade, a

redução da variabilidade e a melhoria da capacidade dos mesmos. Permite o controle do processo no momento em que ocorre a atividade, pelo próprio colaborador, aumentando o comprometimento do mesmo com a operação. As técnicas empregadas de controle ajudam a avaliar e manter os processos dentro dos padrões estabelecidos e necessários para o alcance da qualidade (GIRON et al, 2013).

De acordo com Montgomery e Runger (2009), o CEP é fundamentado nas ferramentas básicas: Histogramas, Estratificação, Folhas de Verificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Diagrama de dispersão, e Gráficos de controle ou Cartas de Controle.

Estratificação

A estratificação é um método de dividir um grupo heterogêneo em subgrupos homogêneos, sendo esses subgrupos definidos de estratos. Esse método permite avaliar as diferenças entre os estratos, utilizando parâmetros de média, proporção e dispersão. Permite identificar oportunidades de possíveis melhorias para o processo e utilizar ações de correção no processo (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

De acordo com Werkema (2006), as causas exercidas nos processos produtivos que resultam em variações, indicam possíveis condições para a estratificação de um grupo de dados, ou seja, elementos como turnos, máquinas, pessoas, métodos entre outros constituem fatores para a estratificação de dados.

No método de estratificação é essencial conhecer as características da amostra de estudo, a divisão em estratos reduz a variabilidade da mesma, proporcionando melhores informações. O desempenho de diversas ferramentas do controle estatístico depende de uma eficiente estratificação, como por exemplo, folhas de verificação, diagramas de Pareto e Ishikawa, gráficos de controle, entre outras (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Folhas de verificação

De acordo com Werkema (2006), folhas de verificação são formulários utilizados para registrar diversos dados e informações, de forma organizada provenientes de atividades ou processos avaliados.

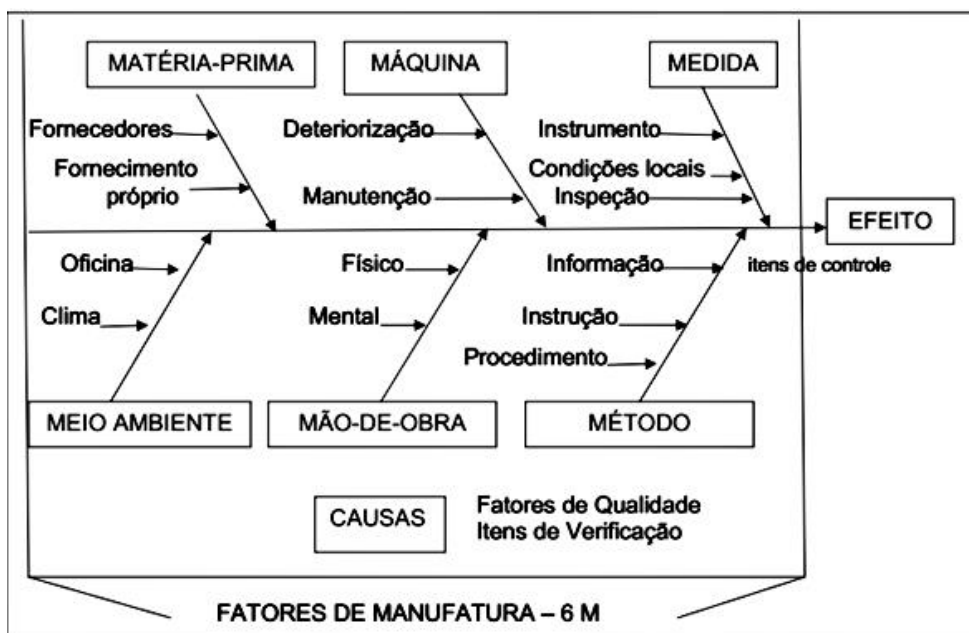
As folhas de verificação são utilizadas para a coleta de dados como um formulário impresso ou eletrônico que visa facilitar a coleta de dados de forma simples e eficiente para serem utilizados posteriormente. Podem ser utilizadas para diversas situações, como por exemplo, para a

distribuição do processo de produção, para a verificação de item defeituoso, para a localização de defeitos, para a verificação de causas e para a verificação de satisfação do cliente (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013)

Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe é utilizado para relacionar a causa e o efeito da ocorrência de diversos fatores, agrupados, conforme Figura 1, nas categorias de mão de obra, máquina, matéria-prima, métodos, medida e meio ambiente (SAMOHYL, 2009).

Figura1: Exemplo de Diagrama de Ishikawa



Fonte: Adaptado de Corrêa L. e Corrêa A. (2012, p. 200).

Esse diagrama recebe esse nome devido ter sido criado por Kaoru Ishikawa, em 1943, apresentando uma estrutura voltada para a identificação e demonstração gráfica das possíveis causas de um determinado problema, visando descobrir a sua causa raiz (WERKEMA, 2006).

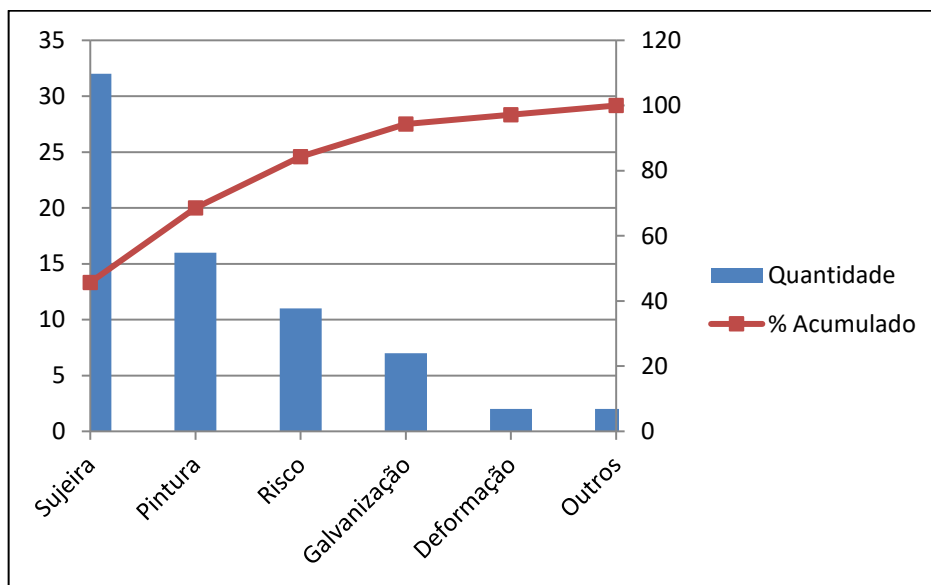
Para a construção do diagrama de Ishikawa, o 1º passo é identificar o problema(efeito) que se deseja solucionar, o 2º passo é eleger um líder que deverá explicar e discutir o problema(efeito) para todos os envolvidos, buscando deixar todos cientes da importância do mesmo, o 3º passo é ilustrar o diagrama em um quadro a vista de todos os participantes envolvidos na construção do gráfico, o 4º passo é realizar um *Brainstorming*, listando as causas por meio da participação

livre de todos e o 5º e último passo é determinar o grau de importância das causas, atribuindo notas de 0 a 10 para cada causa (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto, conforme Figura 2, é uma representação gráfica de dados por ordem de prioridade ou grau de importância. O gráfico é nomeado de Pareto em homenagem ao economista Vilfredo Pareto que demonstrou em 1987, utilizando a distribuição de renda, que uma pequena porcentagem de pessoas detinha a maior parte da renda, enquanto uma maior porcentagem de pessoas ficava com pouca renda. O gráfico de Pareto permite identificar os problemas mais críticos, de maior peso, facilitando a tomada de decisões (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Figura 2: Exemplo de Pareto de Defeitos de Inspeções de Capôs de Carros



Fonte: Adaptado de Ramos, Almeida e Araújo (2013).

Vilfredo Pareto determinou a análise de Pareto, afirmando que 80% das consequências são decorrentes de 20% das causas. Essa análise permite concentrar os esforços nos 20% das causas visando solucionar 80% dos problemas (FONSECA, 2010).

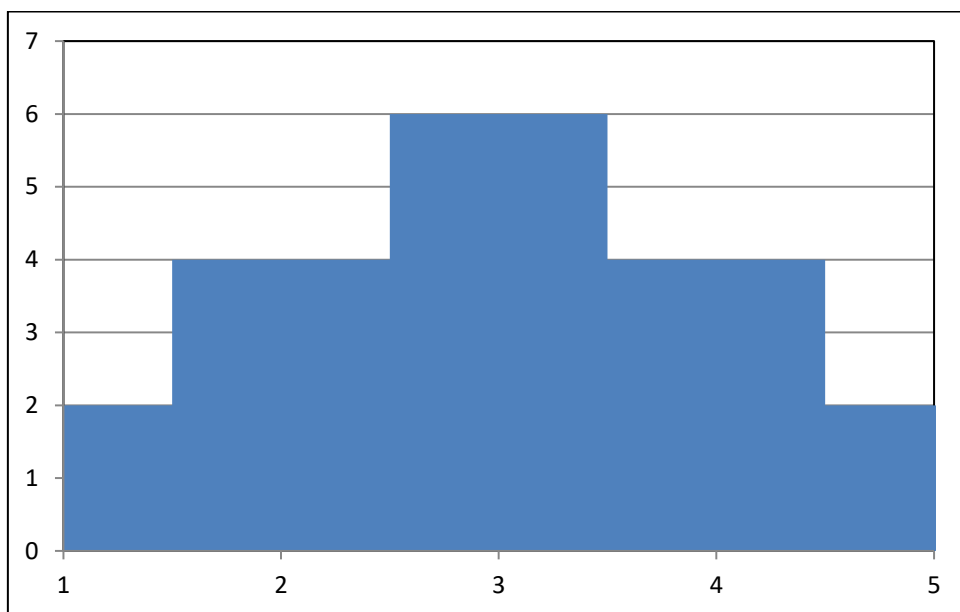
Para a construção do gráfico de Pareto, o 1º passo é identificar o problema que será analisado, utilizar uma folha de verificação para a coleta de dados, o 2º passo é organizar os dados na ordem decrescente, o 3º passo é calcular o percentual de cada defeito, o 4º passo é calcular os percentuais acumulados, do primeiro ao último defeito totalizando 100%, o 5º e último passo é

a construção do gráfico, utilizando dois eixos verticais e um eixo horizontal (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Histograma

O histograma é um gráfico que representa a distribuição de frequência de dados, sendo composto do eixo das abscissas que representa o intervalo das classes e o eixo das ordenadas que representa as frequências referentes a cada classe, conforme Figura 3. O histograma permite o comparativo da distribuição dos dados com os limites de especificação, a verificação da existência de dados dispersos dos demais dados e a obtenção de diversas estatísticas da amostra (WERKEMA, 2006).

Figura 3: Representação Gráfica de um Histograma



Fonte: Adaptado de Ramos, Almeida e Araújo (2013)

De acordo com Kurokawa e Bornia (2002), o histograma é uma ferramenta eficiente para a avaliação da produção nas empresas, ele pode representar um grande número de dados, de forma simples e rápida, convertendo esses dados em informações que podem auxiliar na tomada de decisão.

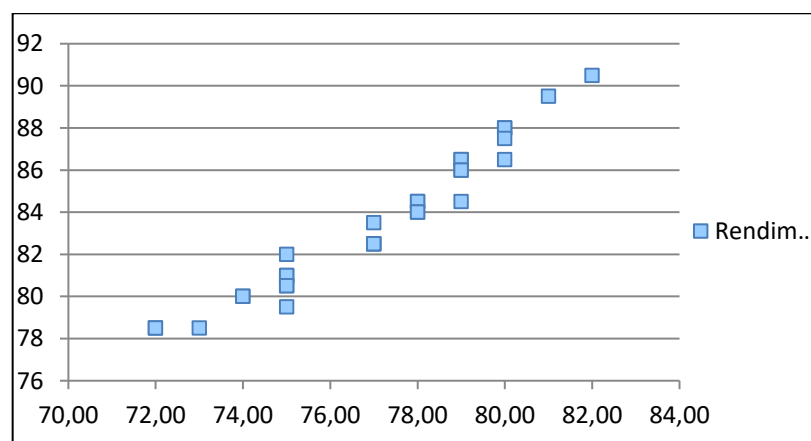
Para a construção do histograma, o 1º passo é criar a tabela de frequência, com as classes e frequências, o 2º passo é marcar no eixo das abscissas os limites das classes e marcar no eixo das ordenadas as frequências referentes a cada classe. Partindo do eixo das abscissas são criados retângulos com a largura igual a largura da classe e o comprimento igual a frequência da classe (WERKEMA, 2006).

Diagrama de correlação ou diagrama de dispersão

O diagrama de correlação ou diagrama de dispersão é um gráfico utilizado para avaliar a relação entre duas variáveis de um determinado processo, geralmente essas variáveis são representadas por X e Y, em que X representa a variável independente e Y a variável dependente. Esse tipo de gráfico é muito utilizado quando se deseja conhecer a relação linear entre um fator (causa) e característica da qualidade (efeito) (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013; WERKEMA, 2006).

A relação entre as variáveis pode ser classificada em correlação linear positiva conforme exemplo na Figura 4, que demonstra que o acréscimo na variável X proporciona um acréscimo na variável Y e vice versa e que os pontos representados no gráfico ficam pouco dispersos em relação a reta que passa nos mesmos. Pode ser classificada em correlação linear negativa, que demonstra que o acréscimo na variável X ocasiona um decréscimo na variável Y e vice-versa e que os pontos representados no gráfico ficam pouco dispersos em relação a reta e pode ser classificada em ausência de correlação que significa que não existe uma relação linear definida entre as variáveis X e Y, apresentando pontos no gráfico de forma muito dispersa (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Figura 4: Exemplo de dispersão positiva de um processo químico



Fonte: Adaptado de Ramos, Almeida; Araújo (2013).

Carpinetti (2012) enfatiza a importância de analisar se existem pontos incomuns no gráfico, denominados outliers, esses pontos não possuem relação com os demais pontos, podendo ser resultantes da coleta errada e ineficiente de dados, sendo necessário a eliminação dos mesmos do conjunto de dados.

Para construir o diagrama de correlação o 1º passo é coletar um número superior ou igual a 30 pares de dados, o 2º passo é graduar a coluna vertical de cima para baixo, começando com o valor mais alto e a coluna horizontal da esquerda para a direita com o valor mais baixo, o 3º passo é plotar no diagrama os pares ordenados e por último o 4º passo é escrever no gráfico o título dos eixos e as informações que forem necessárias (WERKEMA, 2006).

Para a quantificação da relação linear entre as variáveis X e Y é utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r), representado pela Equação 2:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \dots\dots\dots (2)$$

Esse coeficiente mede o grau de relação quantitativo entre as variáveis, indicando que a correlação será mais forte quando o coeficiente estiver mais próximo de -1 ou +1, e será mais fraca, quando o coeficiente estiver mais próximo de 0. Existem dois aspectos a serem considerados na correlação: a força e a direção. A direção é definida conforme classificação da correlação em positiva, negativa ou sem grau de correlação. Quando o coeficiente for igual a 1, significa que a correlação é positiva, se for igual a 0, não existe grau de correlação linear entre as variáveis avaliadas e se for igual a -1, significa que a correlação é negativa (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Em relação a força, a correlação é classificada em fraca, moderada e forte. Quando o coeficiente for menor que 0,30 indicará uma fraca correlação, quando for de 0,30 a 0,70 uma moderada correlação e acima de 0,70 indicará uma forte correlação entre as variáveis (SAMPAIO, 2015).

Gráficos de Controle

Os gráficos de controle são utilizados para o monitoramento e controle dos produtos e processos. Esses gráficos são compostos por faixas estatísticas definidas como limites de controle, a sua finalidade é avaliar se o processo está sob controle, se não possui causas especiais. Se uma causa especial for identificada, é efetuada a correção (SAMOHYL, 2009).

Os gráficos de controle são construídos mediante os eixos do sistema de coordenada (x, y), onde são colocadas a linha central, os limites de advertência (superior e inferior) e os limites de controle (superior e inferior). A linha central (LC) é o valor alvo do processo e as linhas de limite inferior de controle (LIC) e limite superior de controle (LSC), definem se o processo está sob controle estatístico ou com variação não aleatória (RAMOS; ALMEIDA, ARAÚJO, 2013).

Segundo Corrêa (2007), para que um processo esteja sob controle estatístico, os pontos amostrais da variável(s) devem estar localizados dentro do LSC e LIC de controle. Além disso, os pontos podem estar variando aleatoriamente ao redor da linha central, indicando a existência de causas comuns, ou seja, variações inerentes ao processo. Além das causas comuns, Pedrini (2009) enfatiza que o processo pode sofrer um outro tipo de causa de variabilidade denominada causa especial, que pode afetar o processo de maneira imprevisível, fazendo com que a amostra avaliada fique fora dos limites de controle.

Existem dois tipos básicos de gráficos de controle: para variáveis, que são utilizados quando as características estudadas são numéricas, resultantes de alguma medição e para atributos quando as características a serem avaliadas são constituídas por atributos, decorrentes de uma classificação. Os gráficos de controle para atributos são: o gráfico de p utilizados para o controle da proporção de unidades não conformes em cada amostra, gráfico de np, utilizado para o controle do número de unidades não conformes por amostra, gráfico de c: utilizado para o controle do número de não conformidades por amostra e gráfico de u utilizado para o controle do número de não conformidades por unidade do produto (WERKEMA, 2006).

Os gráficos de controle para variáveis são utilizados para monitorar o nível e a dispersão de um processo. Ao iniciar o monitoramento do mesmo, primeiramente deve-se construir o gráfico de controle para dispersão, caso ele indique que o processo está fora do controle estatístico, não será necessária a construção do gráfico de controle para o nível de processo (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

De acordo com (ibid) ao construir um determinado gráfico de controle para a dispersão de um processo, é necessário estabelecer inicialmente, se esse gráfico objetivará identificar mudanças em ambas direções ou somente em uma única direção. Caso seja somente em uma direção, um gráfico de controle unilateral para dispersão é utilizado, testando se as hipóteses, representadas pelas Equações 3 e 4:

$$H_0: \sigma_t \leq \sigma \dots\dots\dots (3)$$

$$H_1: \sigma_t > \sigma \dots\dots\dots (4)$$

Em que o H_0 é a hipótese nula, H_1 é a hipótese alternativa e σ_t é a dispersão do instante t. Caso as mudanças sejam em ambas as direções, deve se testar as hipóteses:

$$H_0: \sigma_t = \sigma \dots\dots\dots (5)$$

$$H_1: \sigma_t \neq \sigma \dots\dots\dots (6)$$

Os gráficos de controle para variáveis utilizados para monitorar a dispersão do processo, objetivam o monitoramento da variabilidade dentro da amostra, podendo ser utilizados para essa finalidade o gráfico do desvio padrão e da amplitude. Já os gráficos de controle para

variáveis, utilizados para monitorar o nível de processo, objetivam o monitoramento da variabilidade entre as amostras, podendo ser utilizado para esse monitoramento o gráfico da média (ROTONDARO, 2014).

Gráficos de controle para variáveis

A seguir serão apresentados os diferentes tipos de gráficos por variáveis, com suas características e equações.

Gráfico do desvio padrão ou gráfico S

Segundo Montgomery (2004), o gráfico de desvio padrão ou gráfico S é utilizado para monitorar a dispersão do processo com grande eficiência em situações que estejam relacionadas com tamanhos de subgrupos grandes. A linha central e os limites de controle são estimados pelas Equações 7, 8 e 9:

$$LSC = B_4 * \bar{S} \dots\dots\dots(7)$$

$$LC = \bar{S} \dots\dots\dots(8)$$

$$LIC = B_3 * \bar{S} \dots\dots\dots(9)$$

Os limites de controle são determinados mediante três erros padrão, partindo da média, para mais e para menos. (WALTER, et al., 2013).

De acordo com Samohyl (2009), o gráfico do desvio padrão ou gráfico S é indicado para subgrupos definidos pelo tamanho $n > 10$, o que ocorre com pouca frequência, sendo menos utilizado que o gráfico da amplitude ou gráfico R.

Gráfico da amplitude ou gráfico R

De acordo com Ramos; Almeida; Araújo (2013), o gráfico de controle da amplitude ou gráfico R é o mais utilizado para monitorar a dispersão do processo, devido a sua facilidade em calcular as amplitudes obtidas por meio das Equações 10, 11 e 12:

$$LSC = \bar{R} + kd3 \frac{\bar{R}}{d2} \dots\dots\dots(10)$$

$$LC = \bar{R} \dots\dots\dots(11)$$

$$LIC = \bar{R} - kd3 \frac{\bar{R}}{d2} \dots\dots\dots(12)$$

O gráfico da amplitude ou gráfico R é indicado quando se objetiva monitorar de modo direto a variabilidade do processo, já que a mesma pode interferir na qualidade do produto final(SAMOHYL, 2009).

É importante destacar, que para a utilização de todos os gráficos de controle para monitorar a dispersão, se o valor do limite inferior de controle for negativo, deverá se considerar o valor como 0 (RAMOS, ALMEIDA; ARAÚJO, 2013)

Gráfico da média ou gráfico \bar{X}

Para monitorar o nível do processo, o gráfico de controle mais utilizado é gráfico da média ou gráfico \bar{X} , devido sua facilidade no cálculo das médias e eficiência no monitoramento do processo. Suas médias são calculadas mediante as Equações 13, 14 e 15:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + (A_3 * \bar{S}) \dots\dots\dots (13)$$

$$LC = \bar{\bar{X}} \dots\dots\dots(14)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - (A_3 * \bar{S}) \dots\dots\dots(15)$$

É recomendável a utilização simultânea do gráfico de controle da amplitude ou desvio padrão em conjunto com o gráfico de controle da média para que juntos realizem o controle da variação do processo (WALTER, et al., 2013).

Os gráficos de controle da média e da amplitude permitem analisar a variabilidade de um processo em relação ao tempo, por meio da centralização e dispersão, em que a centralização pode ser analisada de acordo com a média do processo e a dispersão de acordo com a amplitude ou desvio-padrão gerados pelos dados (SAYMOHYL, 2009)

Para calcular os limites de controle dos gráficos de amplitude e da média, é preciso a coleta de 20 ou 25 amostras divididas em grupos de 5 ou 4 itens(WERKEMA, 2006).

Gráfico para Medidas Individuais

Para a criação de gráficos de controle em que as medidas são individuais $n=1$, que não será o foco do trabalho em estudo, pode ser utilizado o gráfico de controle X-Barra individual. De acordo com Vieira (1999) para construir esse tipo de gráfico de controle, calcula-se a variabilidade por meio da amplitude móvel de duas observações consecutivas.

Além do gráfico X-Barra-individual, são gráficos de medidas individuais os gráficos da Soma Cumulativa (CUSUM) e da Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) (FONSECA, 2010).

De acordo com Samohyl (2009), o gráfico CUSUM é um aperfeiçoamento do gráfico da média ou gráfico \bar{X} , sendo eficaz para a identificação de alterações pouco significativas nos processos, anteriormente aos sinais de alarmes gerados pelo gráfico da média ou gráfico \bar{X} .

Índices de Capacidade do Processo

A avaliação da capacidade de um processo, objetiva analisar se o mesmo consegue atender as especificações do produto, sendo verificado se a dispersão natural (Seis Sigma) do processo está dentro dos limites de especificação (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Segundo Montgomery (2004), para avaliar a capacidade de processos que se apresentam sob controle estatístico, podem ser utilizados os índices Cp e Cpk, mas caso o processo não esteja sob controle estatístico, devem ser utilizados os índices Pp e Ppk.

O índice Cp mede a capacidade apenas com relação a dispersão do processo, não considerando o nível do mesmo, é calculado mediante a Equação 16:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \dots\dots\dots (16)$$

Sendo LSE o limite superior de especificação, LIE o limite inferior de especificação e σ é o desvio padrão do processo. O numerador da equação representa o tamanho da amplitude sobre a qual as observações podem variar e o denominador representa o tamanho da amplitude em que o processo está variando. O Cp compara as dispersões, não considerando onde o processo está focado (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013). A análise do índice de capacidade segue os seguintes parâmetros, conforme Quadro 2:

Quadro 2: Parâmetros de análise para Cp

Parâmetro	Análise
$Cp < 1,00$	Capacidade inadequada á especificação
$1,00 \leq Cp \leq 1,33$	Capacidade dentro da especificação
$Cp > 1,33$	Capacidade do processo é adequada á especificação

Fonte: Adaptado de Ramos, Almeida e Araújo (2013, p.115)

Ao realizar a análise do Cp é necessário testar as hipóteses: H₀ (o processo não é capaz) e H₁ (o processo é capaz). Sendo estimado o índice Cp por meio das Equações 17 e 18:

$$H_0: \hat{C}_p \leq \psi \dots\dots\dots (17)$$

$$H_1: \hat{C}_p > \psi \dots\dots\dots (18)$$

Sendo ψ geralmente 1,00 ou 1,33. Como resultado, se $C_p > \psi$, a hipótese H₀ é rejeitada concluindo-se portanto que o processo é capaz. (ibid).

De acordo com Montgomery (2004), o índice Cpk foi criado para complementar o índice Cp, uma vez que além de avaliar a variação do processo em relação a variabilidade permitida, analisa também a posição do processo em relação aos limites (superior e inferior) de especificação. Para o seu cálculo são utilizadas as equações 19, 20 e 21:

$$Cpk = \text{mínimo}[Cps; Cpi] \dots\dots\dots (19)$$

$$Cps = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \dots\dots\dots (20)$$

$$Cpi = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \dots\dots\dots (21)$$

Sendo μ e σ os representantes do nível e da dispersão do processo, respectivamente. Para que o processo seja considerado capaz, o Cpk deve ser igual ou superior a um (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013).

Mapeamento de Processos

Os processos podem ser constituídos de diversas atividades executadas pelas pessoas em uma organização. O mapeamento de processos é uma ferramenta que pode contribuir para o aperfeiçoamento dos processos, por permitir reduzir custos, aumentar o desempenho da organização e facilitar o entendimento dos processos (GOMES, et al., 2015). O Mapeamento de Processos pode ser definido como um método de representação gráfica de um processo para facilitar o conhecimento e avaliação de suas etapas (JOHNSTON; CLARK, 2002).

A utilização do Mapeamento de Processos proporciona benefícios como a identificação de desperdícios, ou seja, atividades que não agregam valor, através de umavisão geral dos processos representados, permitindo a discussão e a busca pela melhoria dos mesmos (CORRÊA et al., 2005).

Quando o Mapeamento de Processos é utilizado de forma correta, é possível registrar todos os itens que compõem o processo e melhorar qualquer item que esteja apresentando problemas (MELO, 2011).

De acordo com Corrêa et al.(2005), o mapeamento de processo ocorre mediante as etapas:

- Definição dos inputs e outputs, serviços e seus processos;
- Entrevistas com os responsáveis pelas diversas atividades do processo e análise e preparação dos dados disponíveis;
- Desenvolvimento do modelo por meio das informações alcançadas, utilizando a representação visual.

Diagrama de processo, mapa de processo e modelo de processo são comumente utilizados como sinônimos, porém possuem aplicações diferentes, conforme Quadro 3:

Quadro 3: Diferenças entre Mapa e Modelode Processo

Mapa de processo	Modelo de processo
Baixa precisão	Tão preciso quanto necessário
Menos detalhado	Mais detalhado
Ícones (representando componentes do processo “inventados” ou vagamente definidos)	Ícones objetivamente definidos e padronizados
Limitado a representar ideias simples ou um contexto de alto nível.	Pode representar a complexidade adequada.
Pode ser criado com ferramentas simples de diagramação	Deve ser criado com a ferramenta adequada ao objetivo
Simple de utilizar, mas não permite explorar a informação de forma detalhada.	Pode fornecer simulação manual ou automatizada do processo.

Fonte: Adaptado de ABPMP (2013)

Existem diversas ferramentas que podem ser utilizadas para o Mapeamento de Processos, o fluxograma é uma delas, por ser uma ferramenta de uso simples e que permite esquematizar o processo, proporcionando a compreensão minuciosa e real do mesmo (ROTONDARO, 2014). Além do fluxograma existem outras notações que podem ser utilizadas para o mapeamento de processos, conforme representado no Quadro 4. As notações de modelagem de processos representam o grupo padrão de símbolos e regras a serem adotadas na modelagem ou mapeamento de processo, sendo necessária a escolha da melhor notaçãoou combinação de notações, já no início da modelagem (ABPMP Brasil, 2013).

Quadro 4: Notações de modelagem de processos

Notação	Descrição
BPM (<i>Business Process Model and Notation</i>)	Padrão criado pelo <i>Object Management Group</i> , Útil para apresentar um modelo para públicos-alvos diferentes.
Fluxograma	Originalmente aprovado como um padrão ANSI (<i>American National Standards Institute</i>), inclui um conjunto simples e limitado de símbolos não padronizados, facilita o entendimento rápido do fluxo de um processo.
EPC (<i>Event-driven Process Chain</i>)	Desenvolvido como parte da estrutura de trabalho ARIS, considera eventos como "gatilhos para" ou "resultados de" uma etapa do processo; Útil para modelar conjuntos complexos de processos.
UML (<i>United Modeling Language</i>)	Mantido por <i>Object Management Group</i> , consiste em um conjunto padrão de notações técnicas de diagramação orientado á descrição de requisitos de informações.
IDEF (<i>Integrated Definition Language</i>)	Padrão da Federal <i>Information Processing Standard</i> dos EUA que destaca entradas, saídas, mecanismos, controles de processo e relação dos níveis de detalhe do processo superior e inferior; Ponto de partida para uma visão corporativa da organização.
Value Stream Mapping	De <i>Lean Manufacturing</i> , consiste em um conjunto intuitivo de símbolos usados para mostrar a eficiência de processos por meio do mapeamento de uso de recursos e elementos de tempo.

Fonte: Adaptado de ABPMP (2013)

É importante realizar a análise dos processos, para acompanhar o desenvolvimento do trabalho que está sendo executado e redesenhar os processos, sendo possível a sua melhoria por meio de um ciclo contínuo (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009).

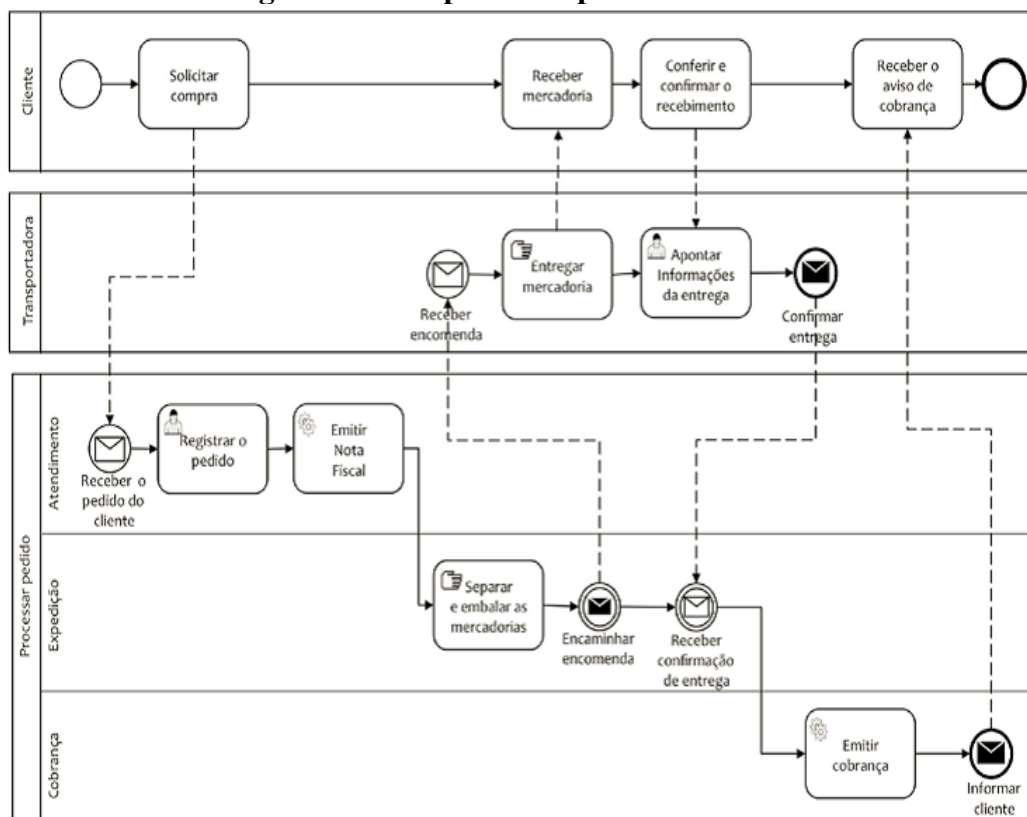
Analisar os processos vai muito além de criar modelos, sendo a análise direcionada em diferentes níveis. No nível conceitual proporciona a identificação de desconexões na empresa, enquanto que no nível tático, permite embasar esforços futuros para o aumento da produtividade

com a padronização dos processos. A análise dos processos possibilita o entendimento das atividades, seus resultados e sua capacidade em relação ao atendimento de metas estabelecidas (ABPMP Brasil, 2013).

BPMN (Business Process Model and Notation)

O BPMN pode ser definido como uma notação que consiste em uma representação gráfica para a modelagem de processos. Com uma notação de fluxograma, facilita a análise e a compreensão do processo representado. A representação de um processo fundamenta-se em estudar o problema, encontrar soluções viáveis para resolvê-lo e aplicar na ferramenta de BPMN o modelo mais indicado. Essa aplicação, conforme exemplo na Figura 5, consiste na junção entre caixas que representam os processos, interligadas as decisões e métricas que contribuem para o comportamento do processo. Cada caixa possui uma atividade que exporta um output, que por sua vez, dará origem ao começo de outro processo e assim sucessivamente até a finalização do processo (RICARDO; PINTO, 2010).

Figura 5: Exemplo de mapeamento BPMN



Fonte: ABPMP (2013, p.82)

A notação BPMN é constituída de um grupo de símbolos que descrevem relacionamentos definidos como por exemplo, o fluxo de atividades e ordem de precedência. É uma notação versátil que permite a modelagem de diferentes situações de um processo sendo indicada para representar um modelo de processos para diversos públicos-alvos. Essa notação possui como componentes principais as piscinas, que representam os processos. Essas piscinas podem ser divididas em raias, que são caracterizadas como linhas paralelas horizontais ou verticais que demonstram uma área funcional, uma atividade ou uma organização externa. A utilização de raias permite uma melhor representação dos fluxos de trabalho, cruzando informações como a transferência do controle de uma função para outra (ABPMP, 2013).

MÉTODO APLICADO

Essa pesquisa configura-se como descritiva, na qual foi realizada uma observação e descrição do processo de envase de ração animal extrusada em uma indústria alimentícia. A pesquisa descritiva consiste em descrever e correlacionar fatos através da observação e análise de suas características (CERVO et al, 2007). De acordo com Vergara (2003), a pesquisa descritiva objetiva demonstrar as características de uma determinada população, podendo adquirir relações entre diferentes variáveis e assim definir a sua natureza. No entanto, não possui a obrigação de explicar os fatos descritos, embora contribua para tal explicação.

Em relação a natureza, essa pesquisa possui natureza aplicada, pois segundo Appolinário (2004), a pesquisa de natureza aplicada objetiva solucionar o problema encontrado de forma concreta em um tempo curto. A pesquisa aplicada possui como ênfase o desenvolvimento do conhecimento para a utilização de seus resultados, visando a contribuição para fins práticos e a resolução do problema de forma mais imediata possível (BARROS e LEHFELD, 2000).

Quanto a abordagem, classifica-se em uma abordagem quantitativa, porque busca mensurar a variabilidade no envase de ração animal extrusada por meio da análise e interpretação dos resultados utilizando a metodologia Seis Sigma. De acordo com Fonseca (2002) a pesquisa quantitativa utiliza dados matemáticos e quantificáveis para explicar as causas dos fatos ou fenômenos ocorridos. A pesquisa quantitativa visa destacar o raciocínio dedutivo. Apresenta amostras relativamente extensas e que geralmente representam a população estudada. Concentrada na objetividade, defende que só é possível compreender a realidade por meio da análise de dados brutos e matemáticos que descrevem as relações entre as causas e variáveis existentes.

Essa pesquisa refere-se a um estudo de caso que segundo Gil (2008), pode ser definido como o estudo detalhado de um determinado objeto de forma a adquirir um maior conhecimento do mesmo. De acordo com Fonseca (2002), em um estudo de caso, o foco é bem definido, geralmente concentra-se em um sistema, objeto ou área, sendo realizado um estudo detalhado do mesmo, objetivando conhecer bem o contexto em que ocorre a situação.

A trabalho foi realizado em uma indústria de ração animal extrusada localizada na região sul de Goiás. O atributo analisado foi o peso da ração em sacarias de 25 kg.

Para a coleta de dados foi necessária a utilização de uma balança de precisão. Para isso, foi verificada a precisão da balança que a empresa utiliza para a pesagem das sacarias. Foi utilizada uma folha de verificação para registrar os dados obtidos para análise, por ser uma ferramenta simples e de fácil utilização.

O estudo foi realizado com 10 linhas de produtos diferentes, sendo linhas A, B, C, D, E, F, G, H, I e J. Sendo avaliada a variabilidade no envase de cada uma das linhas produtivas, devido os produtos possuírem densidades e granulometrias diferentes.

A coleta dos dados ocorreu em dias aleatórios, conforme produção de cada uma das linhas produtivas. Foram coletados 25 pesos de cada linha de produto, totalizando ao final das medições 250 dados.

Seguindo a metodologia DMAIC, cuja primeira etapa *Define* consiste na identificação do problema e definição de qual processo será aplicado o Seis Sigma, foram realizadas observações diretas do processo produtivo de ração animal extrusada na indústria em estudo, especificamente no setor de envase, no intuito de identificar se havia variabilidade nos pesos das sacarias de 25 kg, e se eram respeitados os limites de especificação, limite inferior de 25,100 kg e limite superior de 25,200 kg.

Em seguida, na etapa *Measure*, foi realizado o mapeamento do processo, com a identificação das fontes de variações e a coleta de dados. De acordo com Rotondaro (2014), nessa etapa é necessário realizar a modelagem do processo, com as definições das entradas e saídas de cada etapa, utilizando para isso o mapeamento do processo.

Na sequência, conforme etapa *Analyse*, foi realizada a análise dos dados coletados na etapa anterior, sendo utilizadas as ferramentas de controle estatístico do processo: gráficos de controle por variáveis da amplitude, para monitorar a dispersão do processo e gráfico de controle da média para monitorar o nível do processo. Foi utilizado o Diagrama de Ishikawa e *Braistorming* para a identificação e representação das principais causas raízes da variabilidade. Foi calculado o nível sigma de cada linha de produção e a capacidade do processo: Cp e Cpk, com o auxílio do Software Minitab.

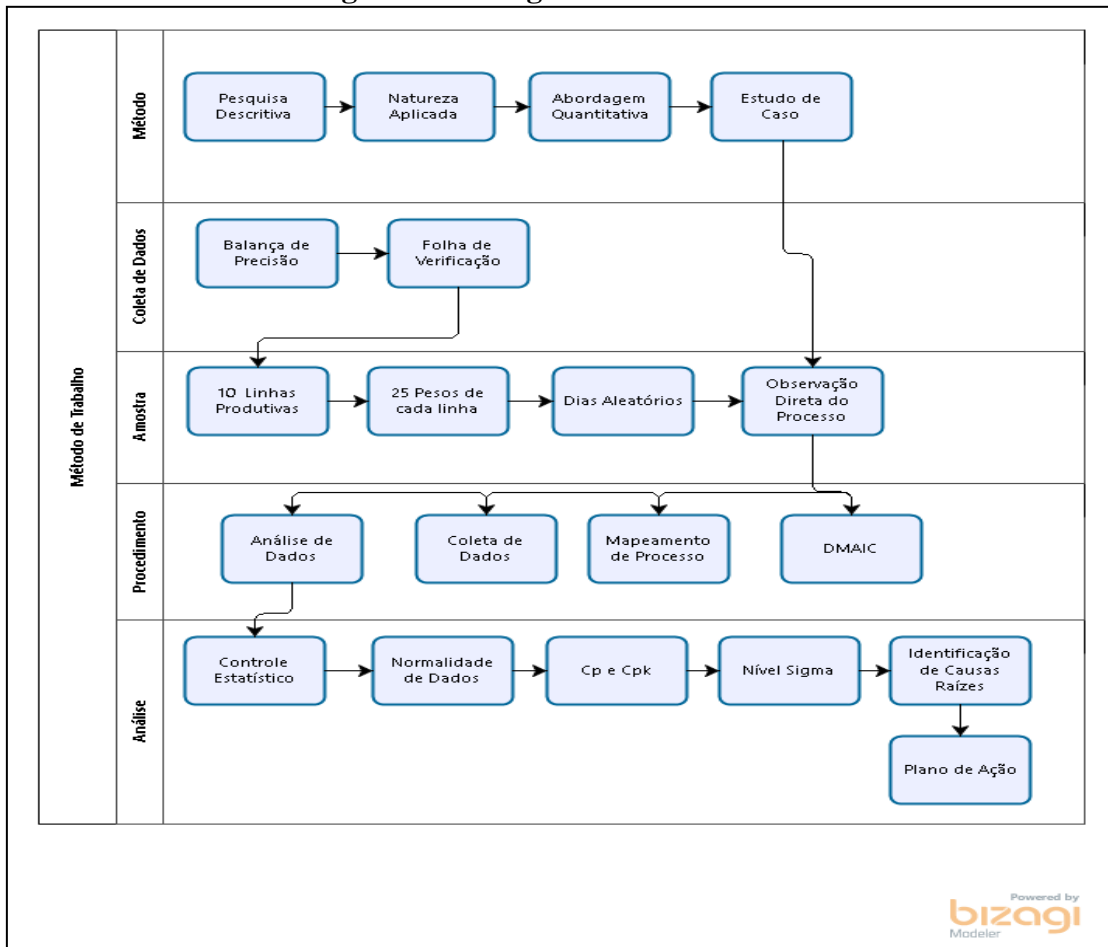
Após mensurar a variabilidade das linhas de produtos no setor de envase e levantar suas causas raízes, foi elaborado um plano de ação para propor melhorias para a eliminação ou redução da variabilidade encontrada, sendo essa etapa caracterizada como *Improve*.

A última etapa da metodologia DMAIC, *Control*, só será possível ser realizada, caso a indústria estudada implemente as melhorias sugeridas, pois de acordo com Werkema (2012), essa etapa

tem o objetivo de avaliar o alcance da meta estabelecida, para isso é necessário realizar um comparativo utilizando os dados coletados antes e após adotar a melhoria, em seguida deve-se adotar métodos para manter as melhorias de forma contínua.

A análise de dados consistiu em avaliar o nível sigma, o controle estatístico e o índice de capacidade de cada linha produtiva utilizando o software Minitab©. Essa análise ocorreu conforme descrito na etapa *Analyse*. A Figura 6, representa as etapas do Método de Trabalho:

Figura 6: Fluxograma Método de Trabalho



Fonte: autores

ESTUDO DE CASO

Esse estudo foi realizado em uma indústria alimentícia que produz ração animal extrusada na região sul de Goiás, com a finalidade de levantar dados referente a variabilidade no processo de envase de ração animal extrusada. A presente indústria possui as BPF(Boas Práticas de Fabricação), que são práticas que devem ser obedecidas por quem manipula as matérias primas durante os processos que envolvem a produção dos alimentos até a entrega do produto acabado ao consumidor. As suas práticas devem ser adotadas por indústrias de alimentos com o objetivo de evitar que ocorram doenças provocadas pelo consumo de alimentos contaminados (BRASIL, 2004).

Durante as visitas no setor de produção foi possível observar que são cumpridos procedimentos de produção e de qualidade, como por exemplo a granulometria dos produtos são padronizadas de acordo com a matriz utilizada para cada produto. Os operadores de moagem e extrusão possuem acesso aos parâmetros de peneira para moagem e matriz para extrusão. O auxiliar de laboratório tem acesso aos parâmetros de análises de umidade, densidade e fluatibilidade. Foi possível identificar alguns procedimentos operacionais padrões em equipamentos, estes procedimentos detalham passo a passo para o operador saber como operar cada equipamento. Porém foi possível observar que não existe POP para todos os equipamentos e para os setores produtivos, como por exemplo, setor de pesagem, moagem, extrusão e envase.

Em relação ao monitoramento de equipamentos existe um programa de manutenção preventiva e calibração de instrumentos de medições. Porém apesar desse programa existir e a balança de pesagem ser calibrada anualmente por uma empresa qualificada, ainda existe a deficiência em relação a configuração dessa balança por parte dos colaboradores do setor de envase, que não possuem conhecimento para configurar a balança constantemente, conforme necessário.

Foi possível notar que a indústria adotou vários procedimentos na produção voltados para a limpeza, que ainda é um fator crítico, com grande acúmulo de pó gerado pelo processo produtivo. Existem planilhas com instruções de limpeza em todos os setores produtivos, que devem ser preenchidas a cada limpeza realizada no setor, principalmente nas trocas de produto, para que não ocorra contaminação de um produto com outro, visto que a indústria possui uma única linha de produção para todos os produtos.

Seguindo o raciocínio de limpeza e higiene todos os colaboradores recebem frequentemente treinamentos sobre higiene pessoal e de trabalho, sendo abordados diferentes assuntos, como

manter sempre a barba feita, unhas aparadas e limpas, cabelos curtos, uniforme sempre limpo, não usar desodorantes ou perfumes. E para garantir que eles cumpram com os procedimentos estabelecidos, um analista de qualidade sempre visita os setores com uma planilha de não conformidade e verifica o cumprimento das normas, caso algum funcionário não esteja cumprindo ele pode ser punido.

A água utilizada na indústria é submetida constantemente a análises físicas e químicas a fim de garantir a qualidade do produto final. Sendo monitorado diariamente o teor de cloro e mensalmente, análise completa físico-química. Essas análises são realizadas pelo laboratório da indústria, por pessoas capacitadas que também recebem treinamento frequentemente pela garantia da qualidade e cumpre todos os procedimentos necessários. Os resultados obtidos são comparados com exigências da fiscalização vigente que estabelece os parâmetros a serem seguidos.

O laboratório da indústria realiza análise bromatológica das matérias-primas recebidas, com o objetivo de avaliar a sua qualidade, sendo liberadas para a utilização somente com a aprovação do auxiliar de laboratório. Caso as matérias-primas não atendam aos níveis de garantia exigidos, são devolvidas ao fornecedor e notificado o mesmo. Também são realizadas análises do produto acabado para garantir que os níveis de garantia atendam as especificações exigidas.

A indústria possui um programa que gerência seus resíduos sólidos e líquidos gerados pela produção, sendo destinados de forma correta por empresa terceirizada especializada na destinação de resíduos industriais, garantindo a preservação do meio ambiente.

Foi possível observar que apesar da indústria cumprir com os requisitos de qualidade, ainda existem muitas melhorias a serem realizadas no processo produtivo, como por exemplo, falta de treinamentos específicos para todos os setores produtivos, criação de POP's, conscientização dos colaboradores da importância de respeitar os POP's e apresentar a eles a ferramenta Seis Sigma como forma de reduzir a variabilidade dos processos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão abordadas e discutidas as análises realizadas, as causas raízes encontradas, os principais resultados do trabalho.

Define

Nessa etapa foi definido qual o problema seria aplicado o Seis Sigma. A definição do problema ocorreu mediante a observação direta de todas as etapas do processo de produção de ração animal extrusada, sendo escolhida a etapa do envase, devido ser observada a grande variabilidade nos pesos das sacarias de 25kg.

Após definição do problema, foi elaborado o *Team Charter* conforme Figura 7e solicitada a aprovação do projeto pelo gerente e diretor de produção.

Figura 7: *Team Charter*

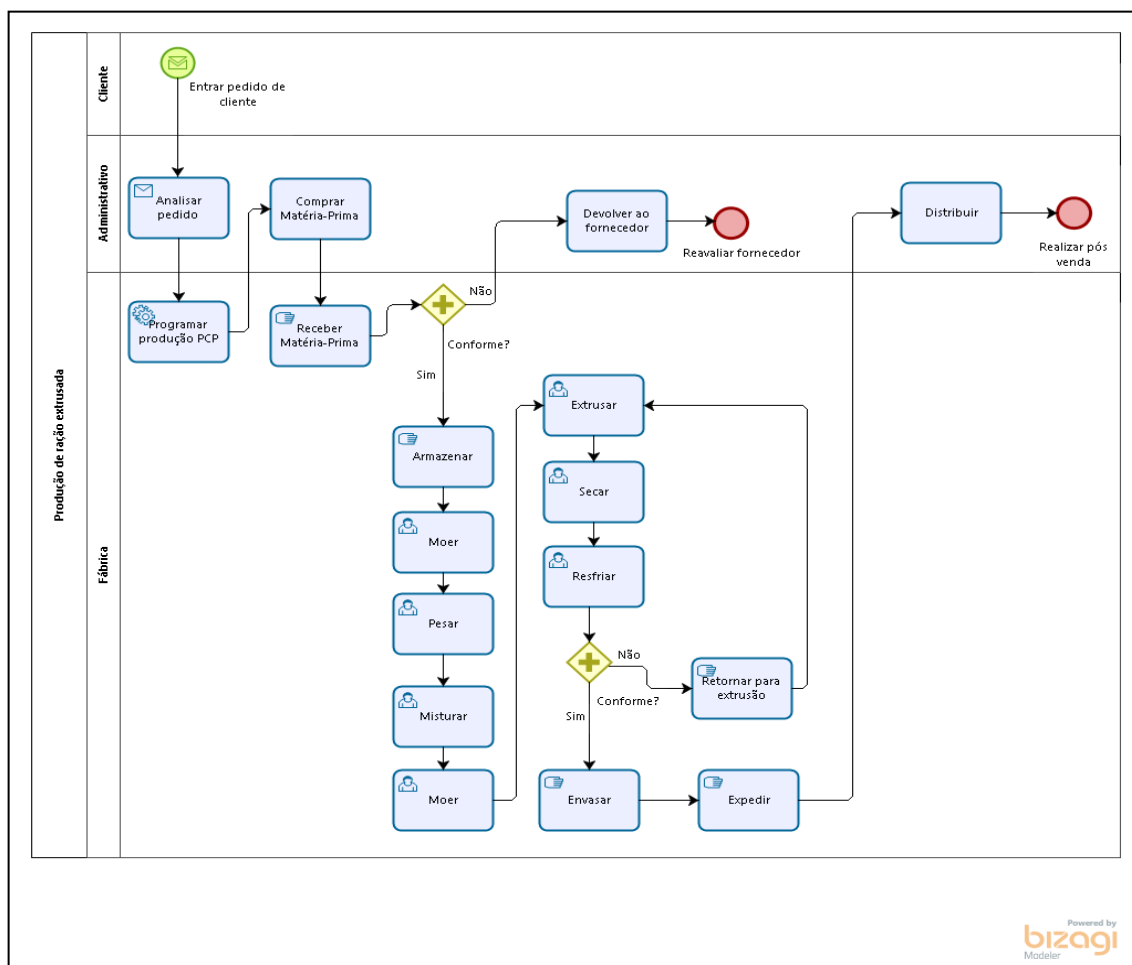
Projeto: Redução da variabilidade no processo de envase de ração animal extrusada					
Data: 05/08/2018					
Impacto nos Negócios			Declaração de Oportunidades		
Atualmente existe grande variabilidade nos pesos, acima e abaixo dos limites de especificação, o que pode gerar prejuízos financeiros para a empresa e possíveis reclamações de clientes.			Redução da variabilidade no processo de envase de ração animal extrusada. Eliminar reclamações de clientes.		
Declaração de Objetivos e Metas			Escopo do Projeto		
Reduzir a variabilidade no processo de envase de ração animal extrusada em 80%			O projeto irá focar na redução das causas da variabilidade nos pesos de 10 linhas produtivas.		
CRONOGRAMA					
Atividades	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18
Formação de Equipe	■				
Finalizar <i>Team Charter</i>	■				
Coletar Dados		■			
Analisar Dados			■		
Validar Causas e Soluções				■	
Implementar Melhorias					■
Controlar Resultados					■
Relatar Resultados					■
SELEÇÃO DE TIME					
Função	Área				
Gerente de Produção	Administração				
Diretor de Produção	Eng.Processos				
Operadores de Painél	Painél				
Operadores de Extrusora	Extrusão				
Analista de Qualidade	Qualidade				
Operadores de ensaque	Envase				

Fonte: Autores.

Measure

Após a definição do problema e aprovação do projeto, foi realizado o mapeamento do processo de produção de ração animal extrusada, com as definições das entradas e saídas de cada etapa conforme representado na Figura 8.

Figura 8: Mapeamento BPMN do processo de produção de ração extrusada



Fonte: Autores.

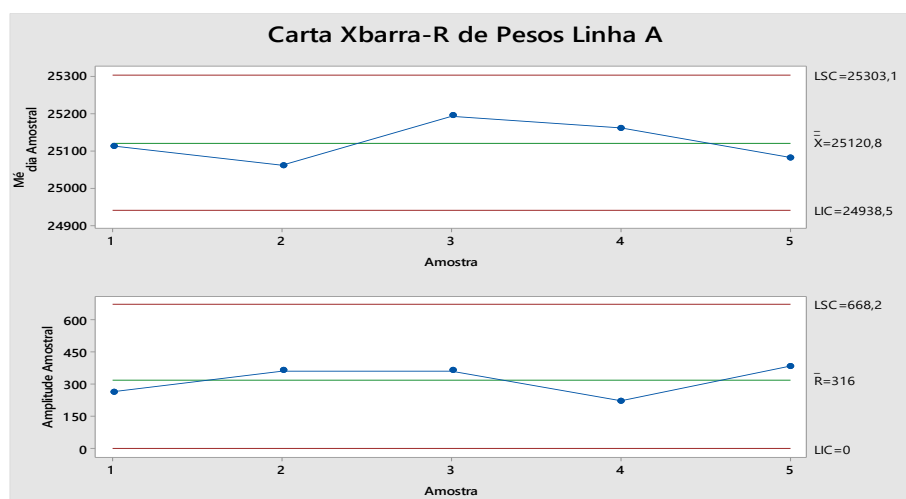
Em seguida foi realizada a coleta de dados por meio da observação direta do processo de envase. Os dados foram coletados em dias aleatórios, conforme a produção de cada uma das 10 linhas produtivas.

Analyse

Após a coleta dos dados, foi utilizado o software Minitab 18 para a criação dos gráficos a serem analisados.

Conforme indica Ramos, Almeida, Araújo (2013), para iniciar o monitoramento estatístico de um processo, primeiramente deve-se construir o gráfico de controle para dispersão, caso ele indique que o processo está fora do controle estatístico, não será necessária a construção do gráfico de controle para o nível de processo. O gráfico de controle escolhido para monitorar a dispersão do processo foi o gráfico da amplitude, também conhecido como gráfico R. A escolha desse gráfico justifica-se pelo número de subgrupos $n=5$. A primeira linha analisada é a linha A.

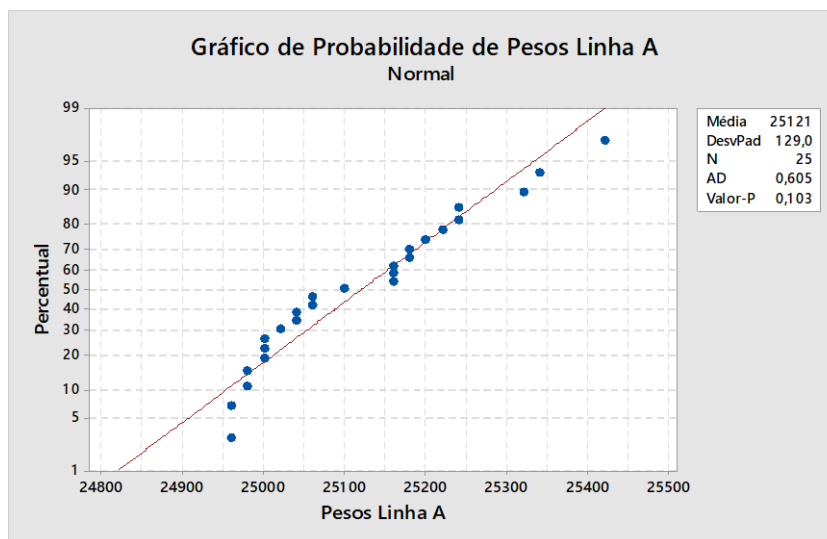
Figura 9: Gráfico de controle de Pesos da Linha A



Fonte: Autores.

Conforme construção do gráfico acima na Figura 9, ao analisar os resultados é possível visualizar que não existem pontos fora dos limites inferior e superior de controle, sinalizando que o processo de envase da linha A está sob controle estatístico, pois segundo Côrrea (2007), para que um processo esteja sob controle estatístico, os pontos amostrais da variável(s) devem estar localizados dentro do limite superior (LSC) e limite inferior (LIC) de controle. Porém é possível visualizar que apesar do processo de envase da Linha A estar sob controle estatístico, os dados estão variando muito, ou seja há muita variabilidade nos pesos, o que pode influenciar diretamente do nível Sigma da linha.

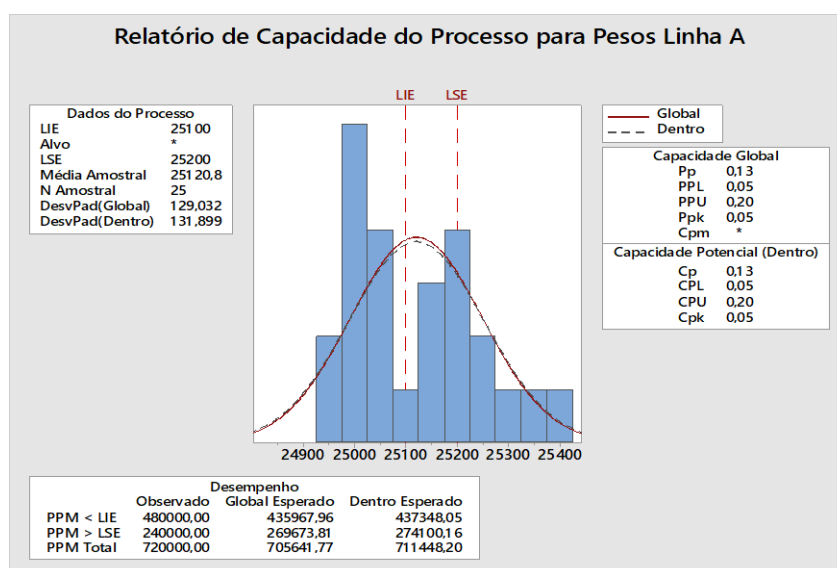
Figura10: Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha A



Fonte: Autores.

Em seguida, foi realizada a análise da normalidade dos pesos da Linha A, conforme Figura 10. Para classificar os dados em normais ou não normais, deve-se seguir o seguinte parâmetro: Valor-P $\geq 0,05$ dados normais ou Valor-P $< 0,05$ dados são não normais (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013). Nesse sentido obtemos a relação: Valor P=0,103 $> 0,05$ sendo possível concluir que os dados coletados são normalmente distribuídos.

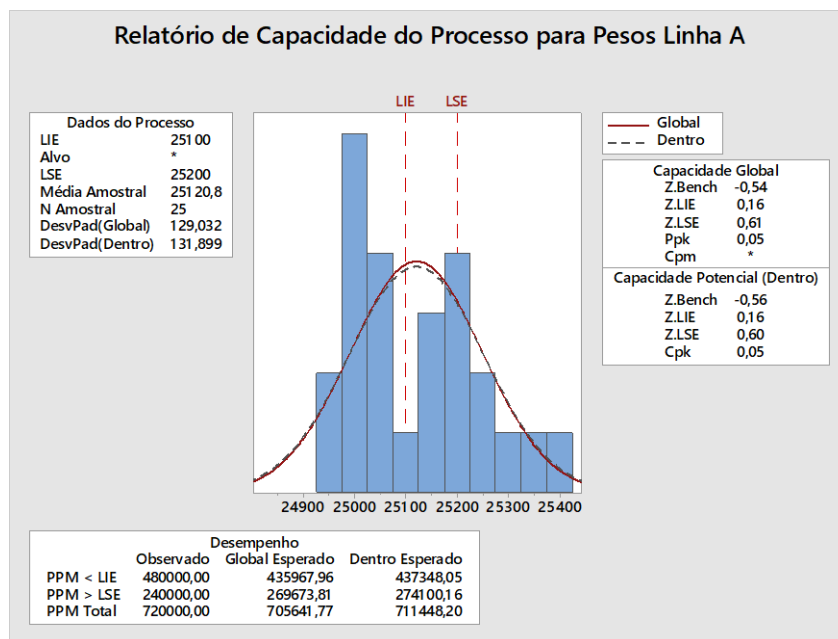
Figura 11: Relatório de Capacidade do Processo para Pesos - Linha A



Fonte: Autores.

O próximo cálculo realizado foi o do Cp e Cpk. Conforme afirma Rotondaro (2014), quando $Cp < 1,00$ a capacidade do processo é inadequada á especificação exigida. Nesse sentido, conforme resultado na Figura 11, obtemos: $Cp = 0,13 < 1,00$, indicando que o processo não atende aos requisitos de especificação. O mesmo ocorre quando analisa-se o Cpk, que de acordo com Rotondaro (2014), deve ser igual ou superior a 1. Sendo obtido: $Cpk = 0,05 < 1$.

Figura 12: Nível Sigma Linha A

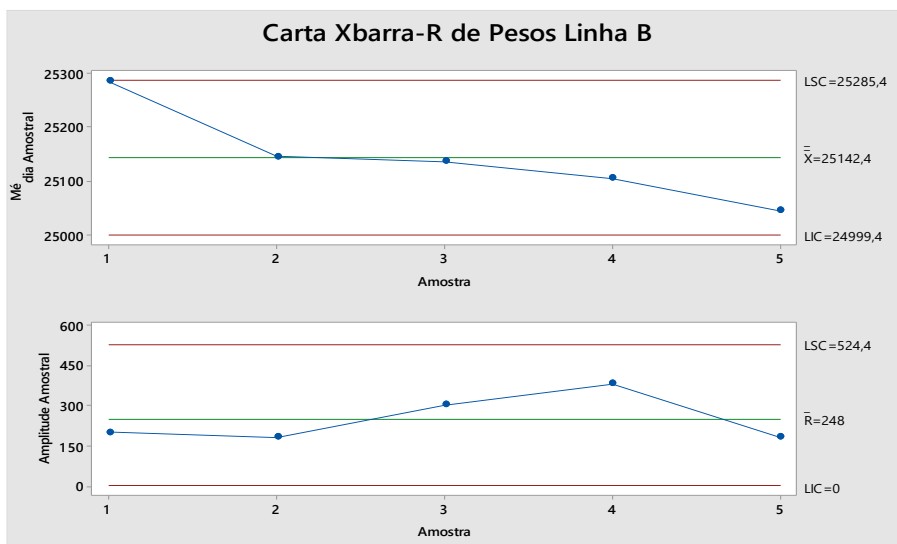


Fonte: Autores.

Após calcular o Cp e Cpk do processo de envase de ração extrusada da Linha A, foi calculado o Nível Sigma, representado na Figura 12 como *ZBench*. Conforme Domenech (2004) afirma, para conhecer a capacidade sigma de um processo é necessário a avaliação do seu nível sigma, conhecido como *ZBench*, que é proveniente da curva de distribuição normal, com média zero e desvio padrão igual a um. O nível sigma é uma medida estatística que verifica o nível de qualidade de um processo ou produto.

Ao avaliar o resultado obtido: $ZBench = -0,56$ significa que o processo avaliado não atingiu o menor nível sigma 1, ou seja a variabilidade é muito grande, o que representa um grande problema para a indústria estudada, que pode acarretar em alto custo da não qualidade. Sendo necessária a elaboração de um plano de ação para a redução da variabilidade do processo. A mesma análise foi realizada para as demais linhas.

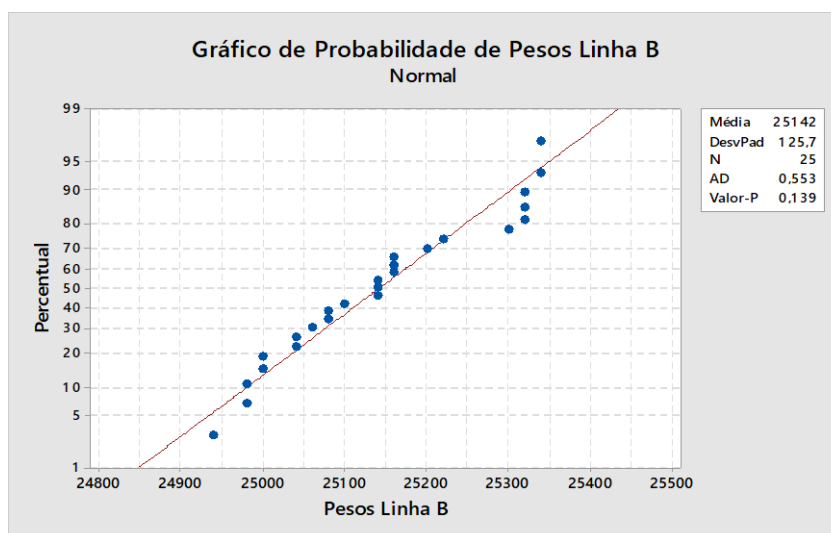
Figura 13:Gráfico de controle de Pesos da Linha B



Fonte: Autores.

A Linha B, conforme disposição dos dados na Figura 13, também está sob controle estatístico, porém conforme Linha A, também apresenta muita variabilidade nos dados.

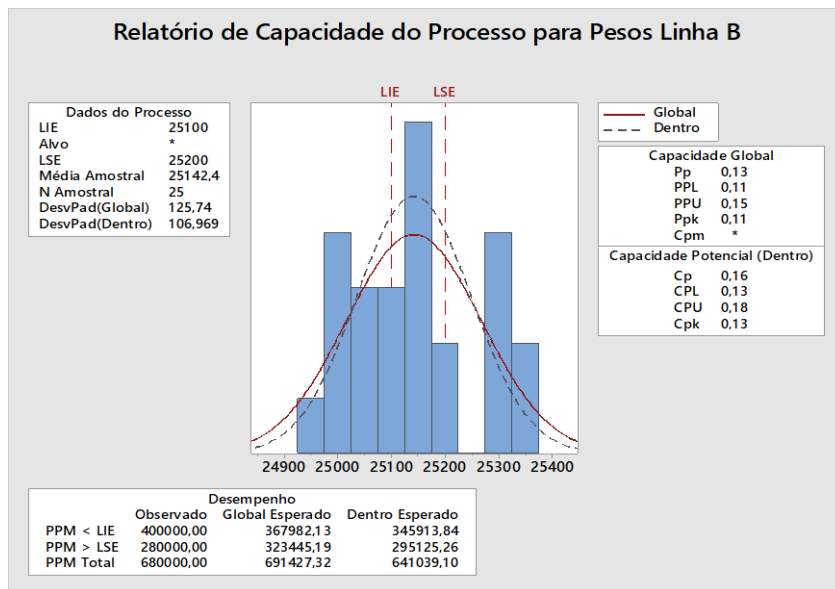
Figura 14:Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha B



Fonte: Autores.

Os dados da Linha B, conforme Figura 14, também apresentaram normalidade, Valor $P=0,139 > 0,05$.

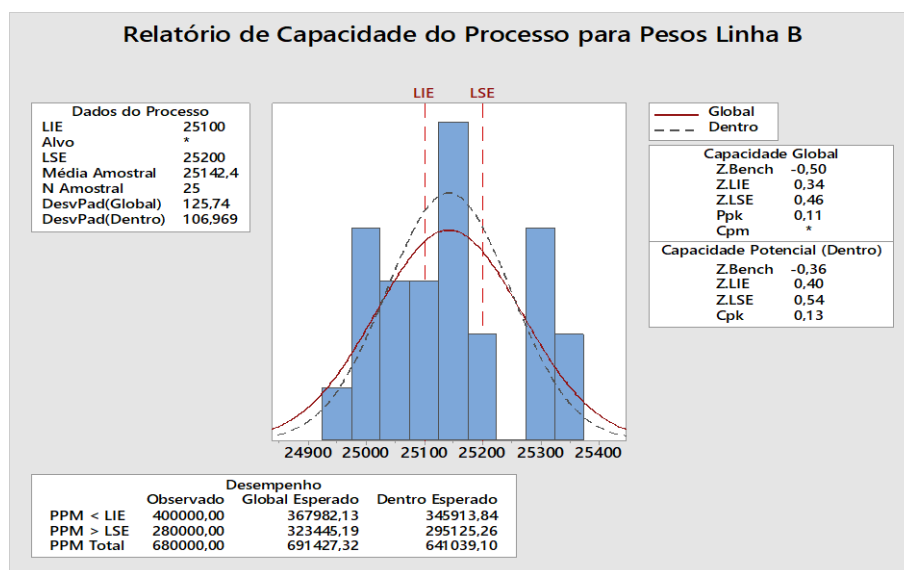
Figura 15: Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha B



Fonte: Autores.

Ao analisar Cp e Cpk da Linha B, conforme Figura 15, obtemos: $Cp=0,16 < 1,00$ e $Cpk=0,13 < 1$, demonstrando assim como a Linha A, que a capacidade do processo não atende aos requisitos de especificação, sendo necessária a redução da variabilidade.

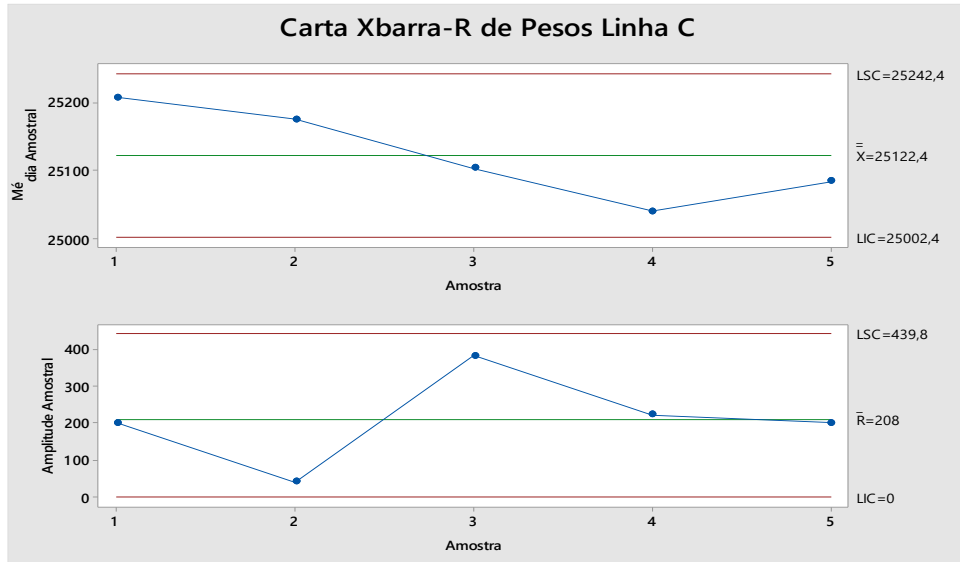
Figura 16: Nível Sigma Linha B



Fonte: Autores.

Conforme Figura 16 oZBench da Linha B= -0,36 significa que o processo avaliado não atingiu nem 1 sigma, ou seja há muita variabilidade.

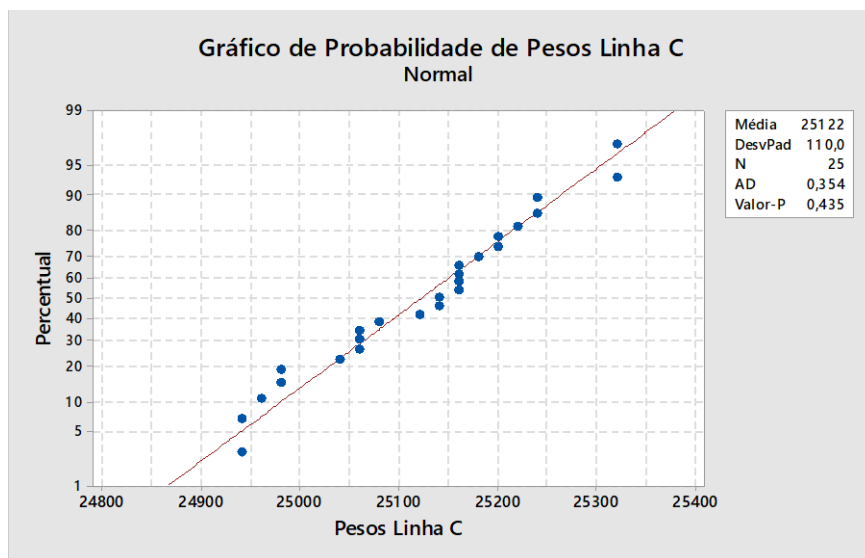
Figura 17: Gráfico de controle de Pesos da Linha C



Fonte: Autores.

Conforme Figura 17, o processo de envase da Linha C, também está sob controle estatístico, porém com muita variação nos dados.

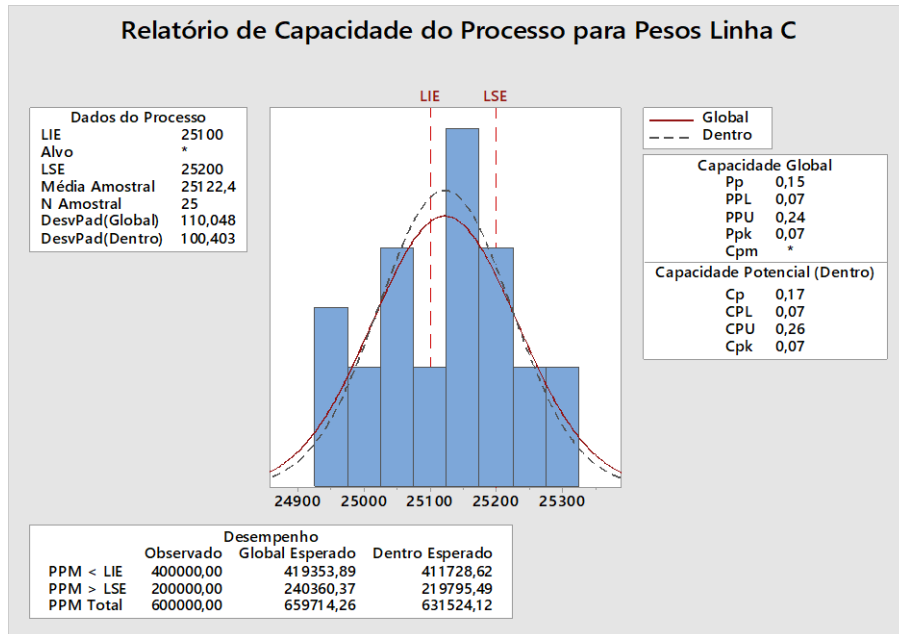
Figura 18: Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha C



Fonte: Autores.

A Linha C, conforme Figura 18, também apresentou dados normais, obedecendo a uma distribuição normal. Valor $P=0,435 > 0,05$

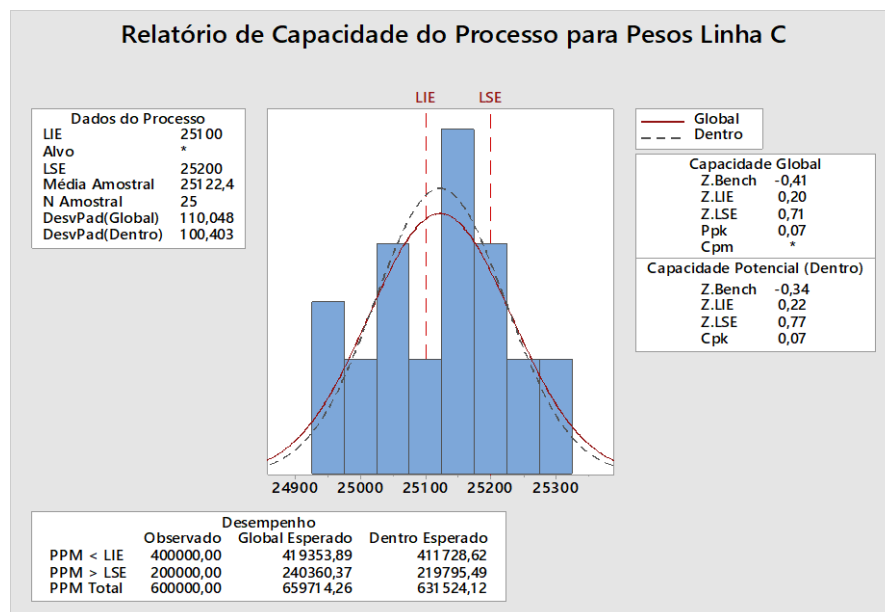
Figura 19: Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha C



Fonte: Autores.

Ao analisar C_p e C_{pk} da Linha C, conforme Figura 19, obtemos: $C_p=0,17 < 1,00$ e $C_{pk}=0,07 < 1$, demonstrando assim como a Linha A e B, que a capacidade do processo não atende aos requisitos de especificação, sendo necessária a redução da variabilidade, também nessa linha.

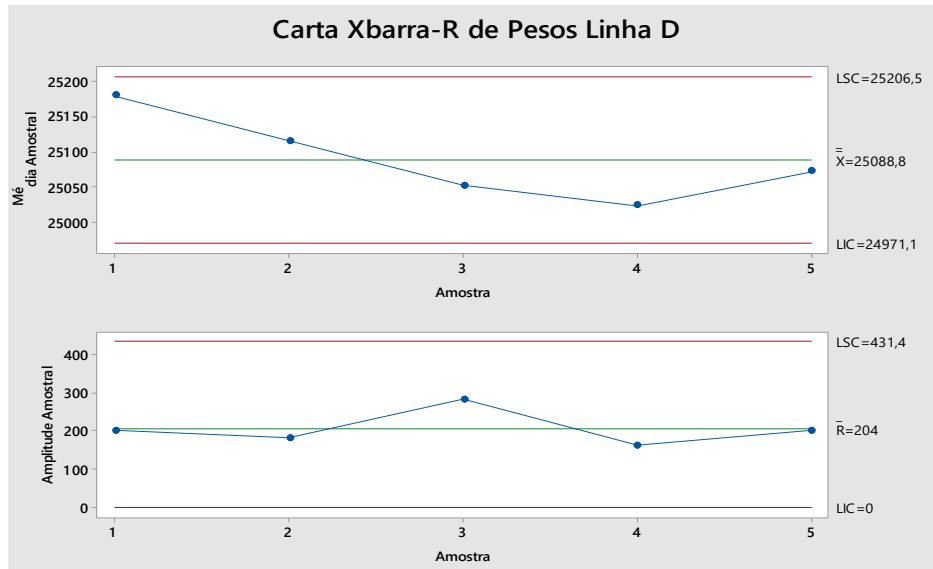
Figura 20: Nível Sigma Linha C



Fonte: Autores.

Conforme Figura 20, o Z_{Bench} da Linha C= -0,34 significa que assim como as Linhas A e B, o processo avaliado não conseguiu atingir o menor nível sigma 1, ou seja há muita variabilidade.

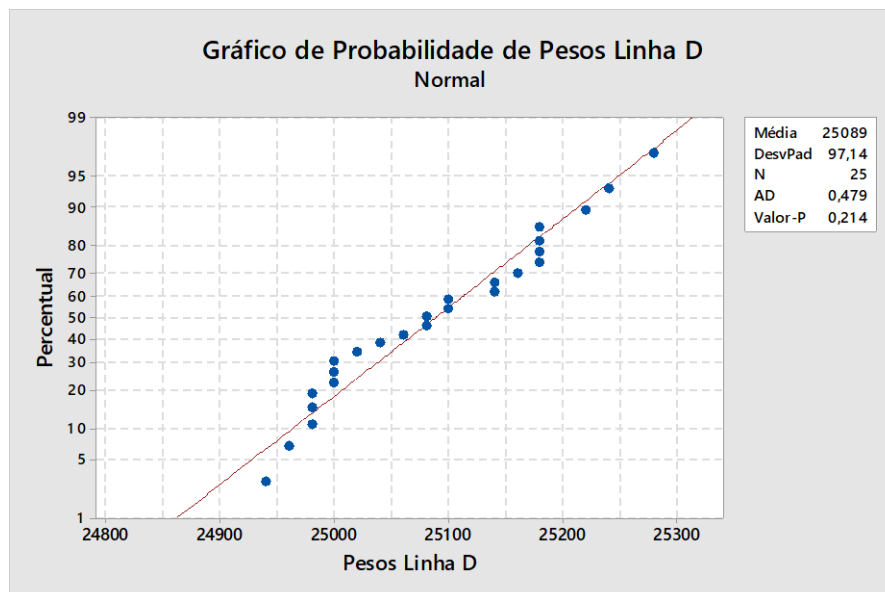
Figura 21:Gráfico de controle de Pesos da Linha D



Fonte: Autores.

Conforme Figura 21, os pontos amostrais estão dentro dos limites de controle, sinalizando que o processo de envase da Linha D, está sob controle estatístico, porém assim como linhas anteriores, os dados estão variando muito.

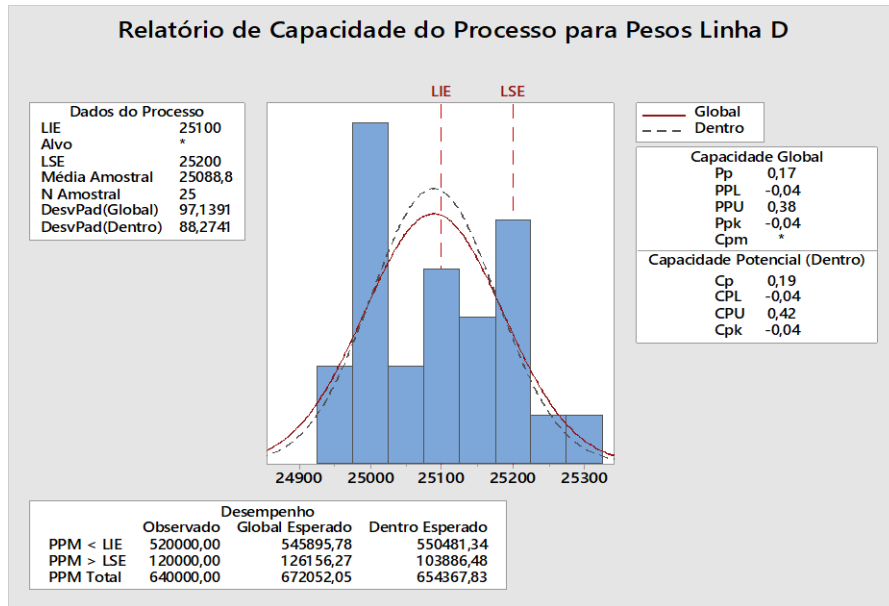
Figura 22:Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha D



Fonte: Autores.

A Linha D, conforme Figura 22, também apresentou dados normais: Valor P=0,214>0,05.

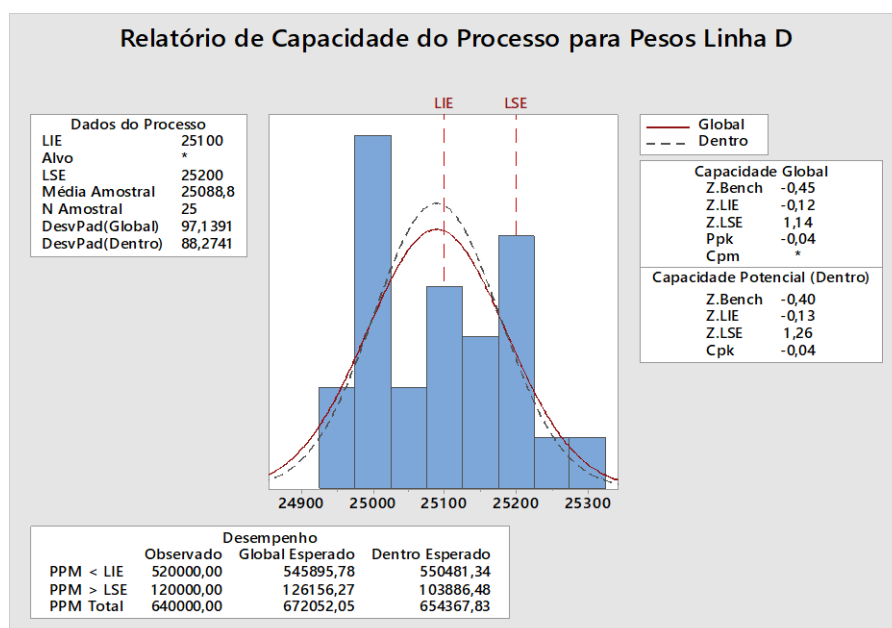
Figura 23:Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha D



Fonte: Autores.

Ao analisar Cp e Cpk da Linha, conforme Figura 23, obtemos: $Cp=0,19 < 1,00$ e $Cpk=-0,04 < 1$, sinalizando assim como as Linha A, B e C que a capacidade do processo não atende aos requisitos de especificação, sendo necessária a redução da variabilidade, também nessa linha.

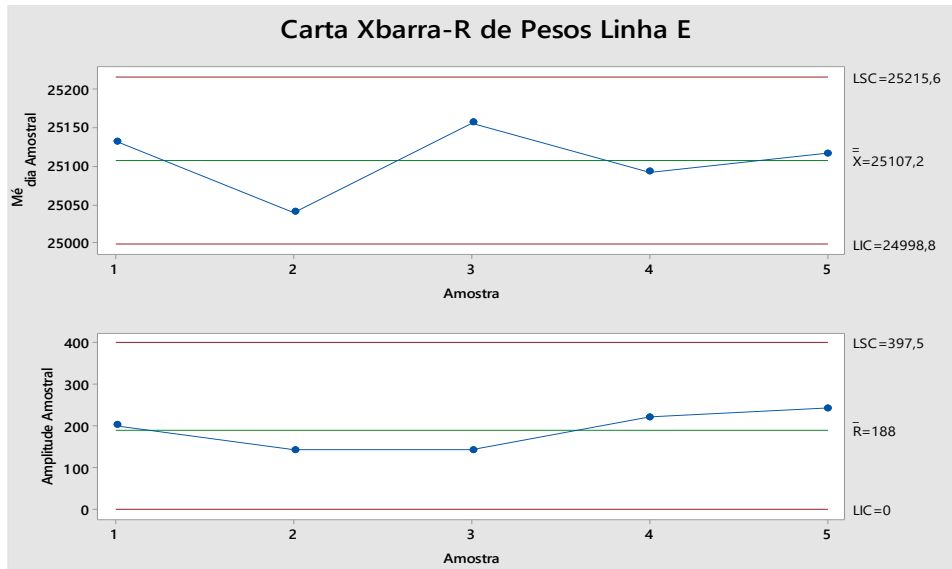
Figura 24:Nível Sigma Linha D



Fonte: Autores.

Conforme Figura 24, o Z_{Bench} da Linha D= -0,40 significa que assim como as Linhas A, B e C o processo avaliado não atingiu nem 1 sigma, ou seja há muita variabilidade.

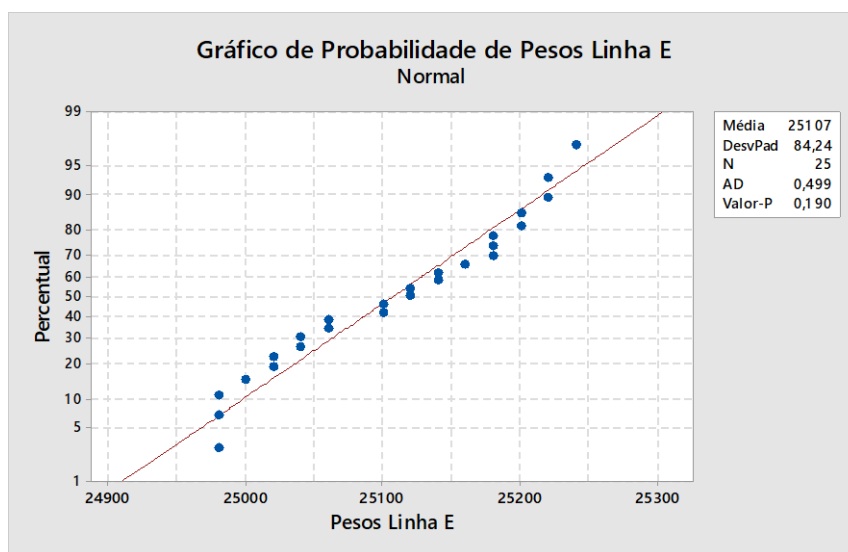
Figura 25:Gráfico de controle de Pesos da Linha E



Fonte: Autores.

Conforme visualizado na Figura 25, o processo de envase da Linha E, está sob controle estatístico, porém conforme linhas anteriores, os dados apresentam muita variação.

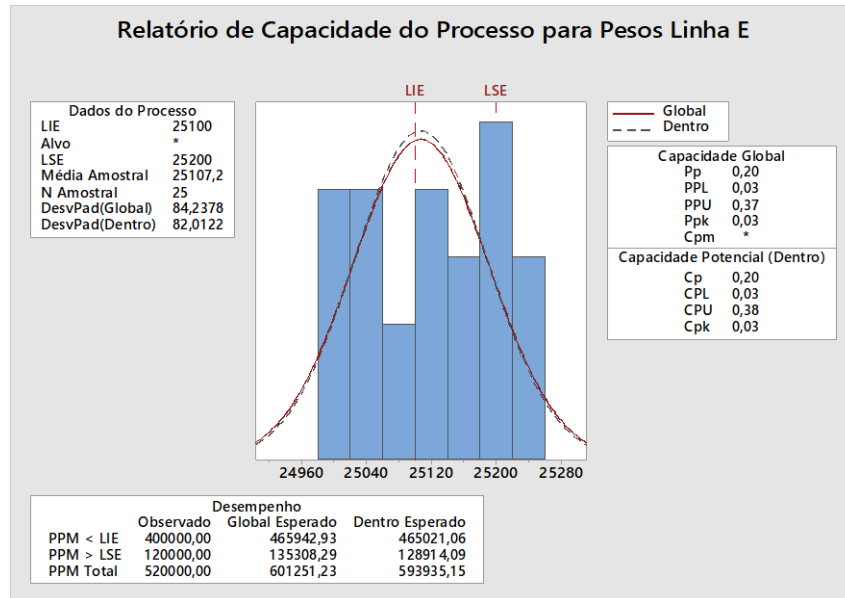
Figura 26:Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha E



Fonte: Autores.

A Linha E, conforme Figura 26, apresentou a relação: Valor-P=0,190>0,05, indicando dados normais e obedecendo a uma distribuição normal.

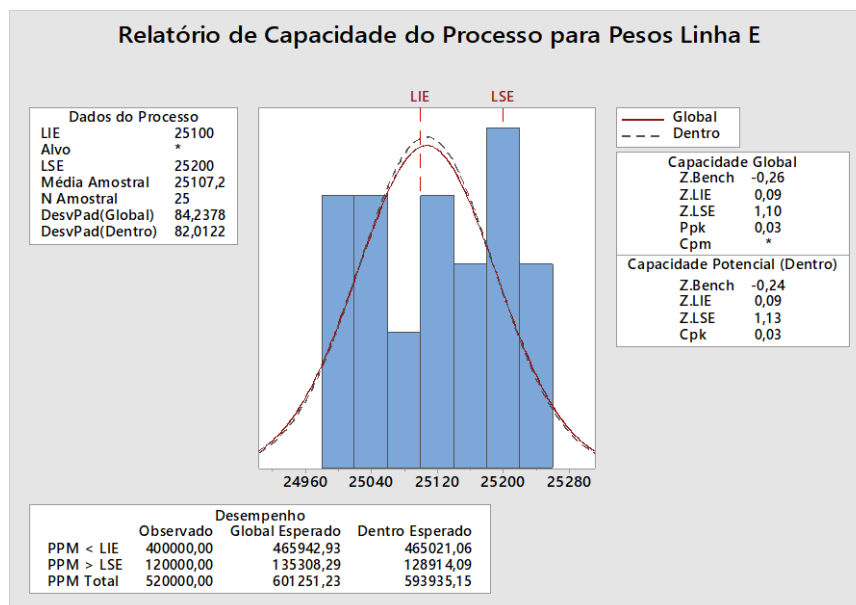
Figura 27: Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha E



Fonte: Autores.

Analisando Cp e Cpk da Linha E, conforme Figura 27, obtemos: $Cp=0,20 < 1,00$ e $Cpk=-0,03 < 1$, evidenciando assim como as Linhas A, B, C e D que a capacidade do processo não atende aos requisitos de especificação, sendo necessária a redução da variabilidade, também nessa linha.

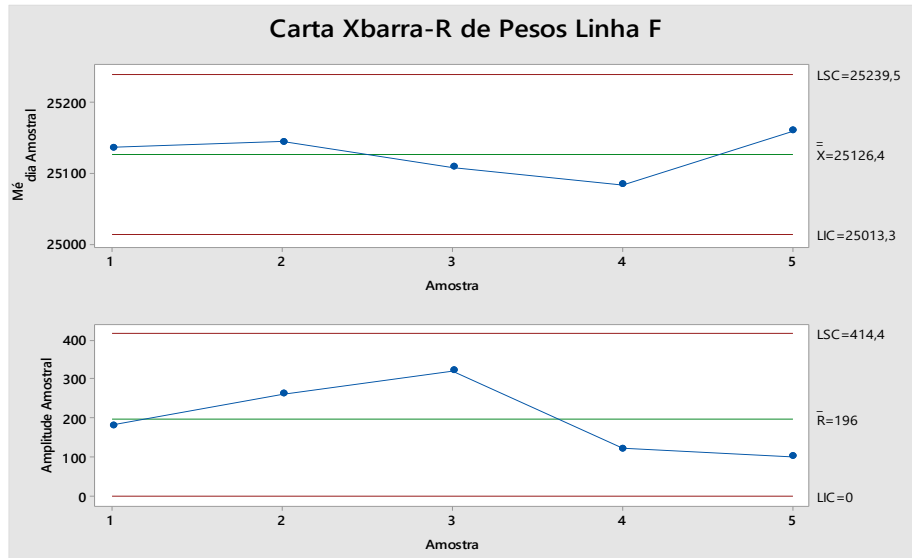
Figura 28: Nível Sigma Linha E



Fonte: Autores.

Ao analisar o nível Sigma da Linha E, conforme Figura 28, obtemos $Z_{Benchmark} = -0,24$ indicando que como as demais linhas anteriores analisadas o processo avaliado possui um nível Sigma muito baixo, se tornando necessária a redução da variabilidade.

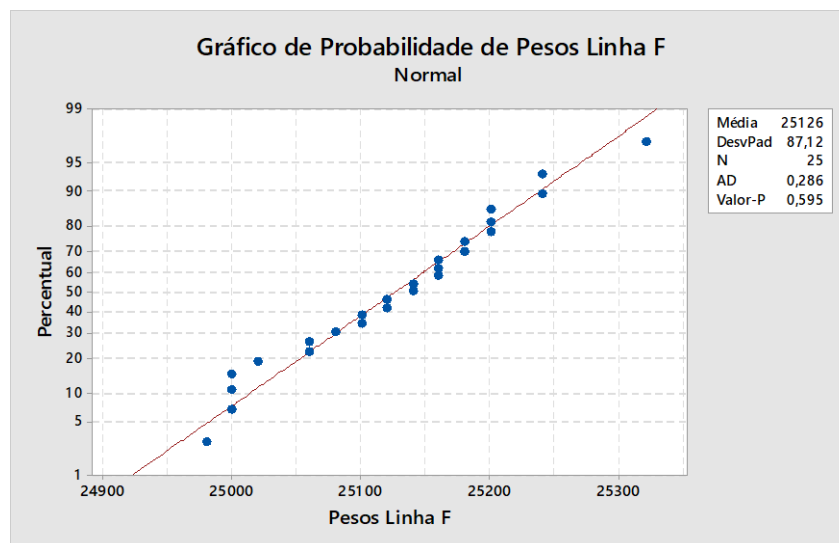
Figura 29: Gráfico de controle de Pesos da Linha F



Fonte: Autores.

Assim como os processos de envase das demais linhas anteriores analisadas o processo de envase da Linha F, conforme Figura 29, também está sob controle estatístico, pois os dados amostrais estão dentro dos limites de controle, porém apresentam muita variação em seus dados.

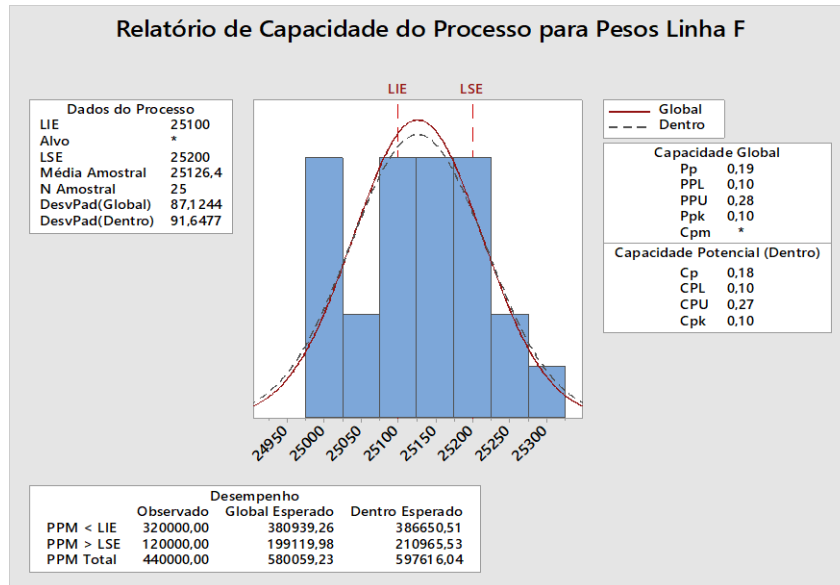
Figura 30: Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha F



Fonte: Autores.

A Linha F, conforme Figura30, de acordo com a relação: Valor-P=0,595>0,05 também apresentou dados normais, obedecendo uma distribuição normal.

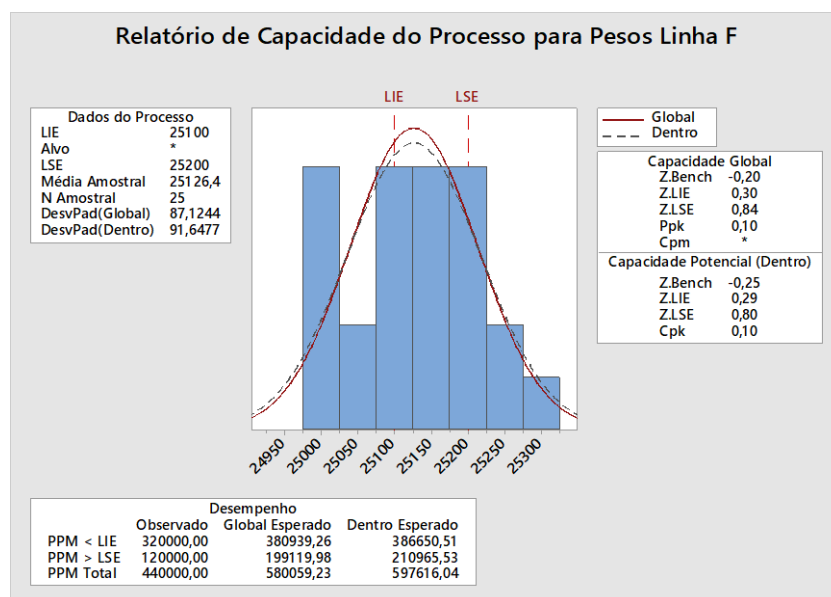
Figura 31:Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha F



Fonte: Autores.

Analisando Cp e Cpk da Linha F, conforme Figura31, obtemos: $Cp=0,18 < 1,00$ e $Cpk=0,10 < 1$, sinalizando assim como as Linhas A, B, C, D e E que a capacidade do processo não atende aos requisitos de especificação, sendo necessária a redução da variabilidade, também nessa linha.

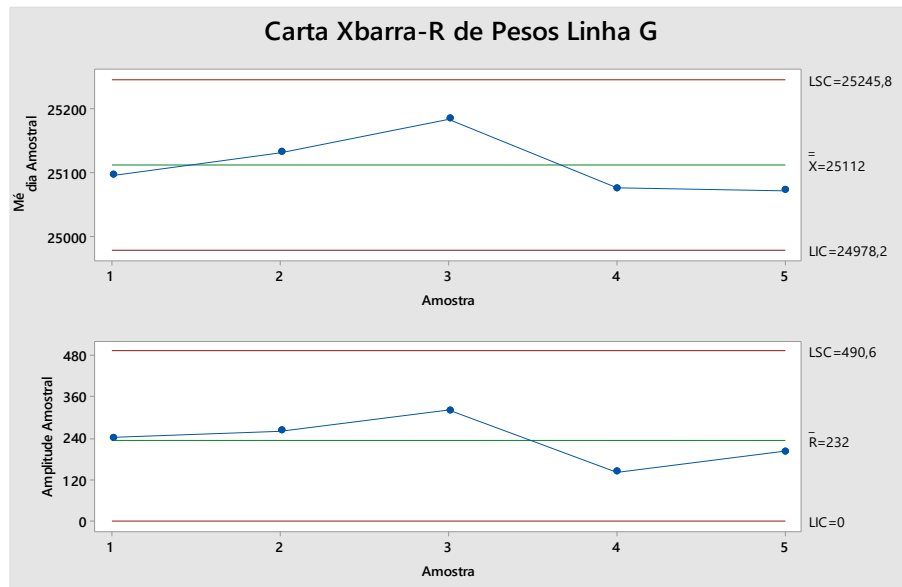
Figura 32:Nível Sigma Linha F



Fonte: Autores.

Ao analisar o nível Sigma da Linha F, conforme Figura 32, obtemos $Z_{Benchmark} = -0,25$ indicando que como as demais linhas anteriores analisadas que o processo avaliado possui um nível Sigma muito baixo, se tornando necessária a redução da variabilidade, também nessa linha.

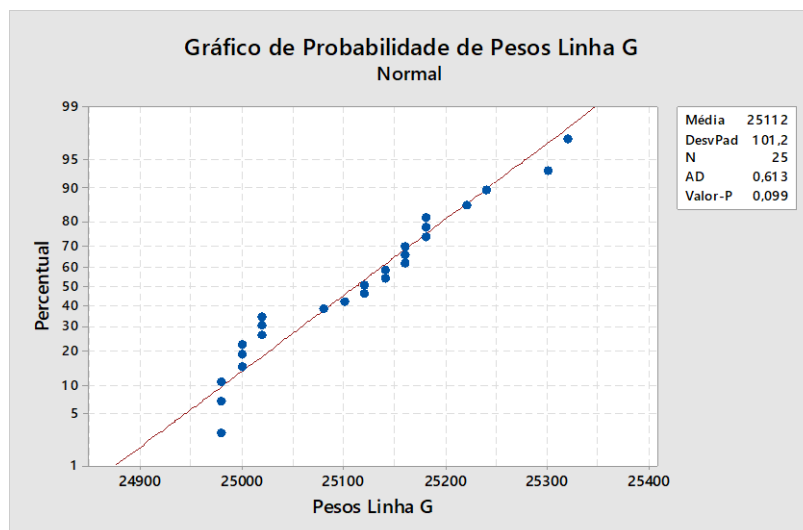
Figura 33: Gráfico de controle de Pesos Linha G



Fonte: Autores

De acordo com a Figura 33, é possível visualizar que os pontos amostrais da Linha G, estão dentro dos limites de controle, sinalizando que o processo de envase de ração extrusada da Linha G, está sob controle estatístico.

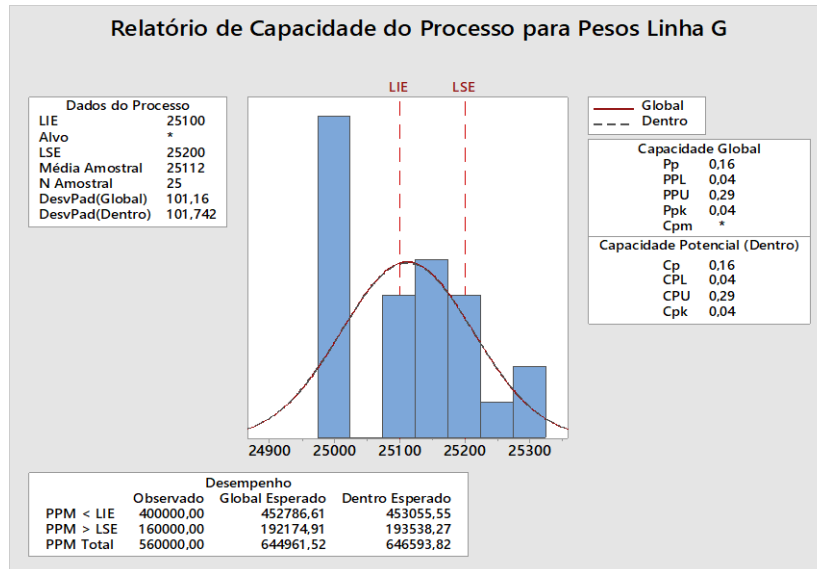
Figura 34: Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha G



Fonte: Autores.

Conforme Figura 34, obedecendo a relação: Valor-P=0,099>0,05 os dados da Linha G, também apresentou normalidade, seguindo uma distribuição normal.

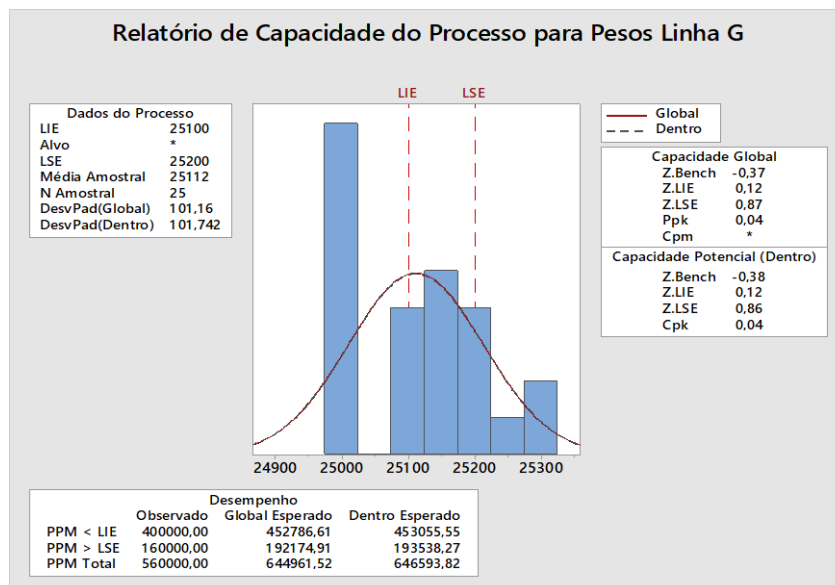
Figura 35:Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha G



Fonte: Autores.

Conforme Figura 35, a Linha G apresentou valores muito baixos de Cp e Cpk, sendo a relação: Cp=0,16<1,00 e Cpk=0,04<1, sinalizando que esse processo também não atende aos requisitos de especificação, sendo necessária a redução da sua variabilidade.

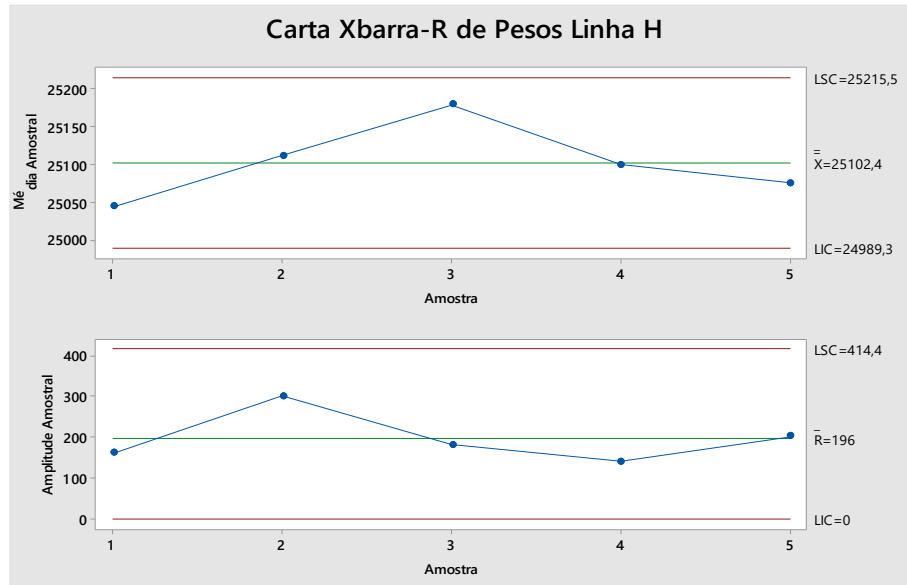
Figura 36:Nível Sigma Linha G



Fonte: Autores.

Conforme Figura 36, o nível Sigma da Linha G, também apresentou um valor muito baixo: $Z_{\text{Bench}} = -0,38$, sinalizando que o processo precisa de melhorias para atingir um nível Sigma maior.

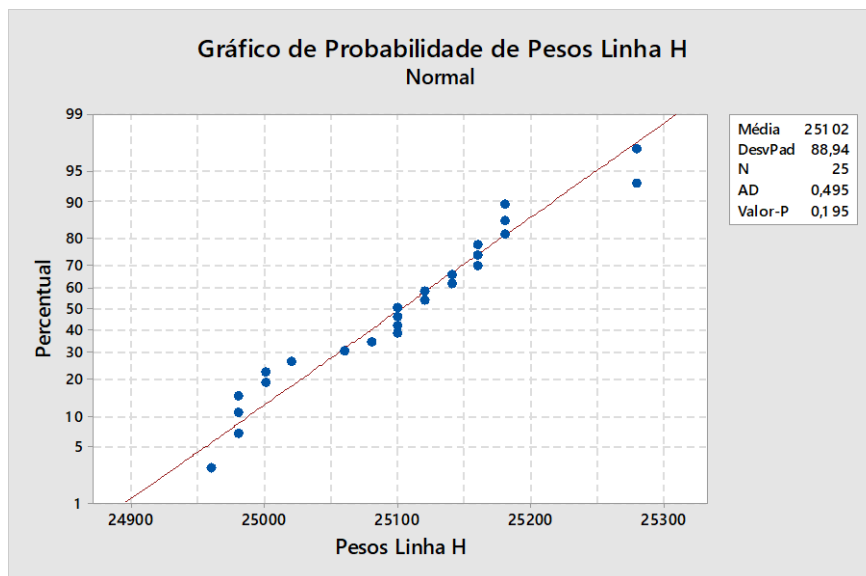
Figura 37: Gráfico de controle de Pesos Linha H



Fonte: Autores.

Assim como os processos de envase das demais linhas anteriores analisadas o processo de envase da Linha H, conforme Figura 37, também está sob controle estatístico, pois os dados amostrais estão dentro dos limites de controle, porém apresentam muita variação em seus dados.

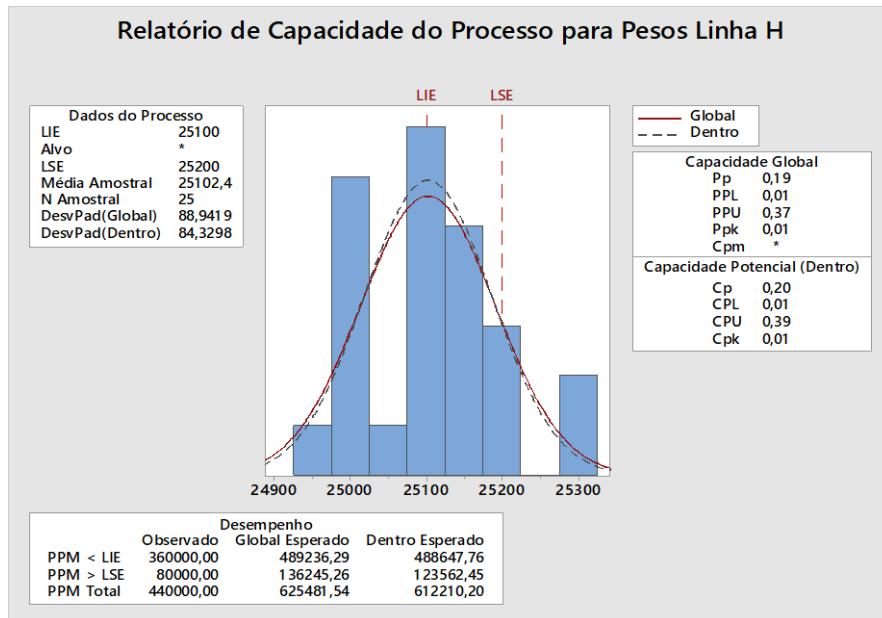
Figura 38: Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha H



Fonte: Autores.

A Linha G, conforme Figura38, assim como as demais linhas anteriores analisadas, também apresentou normalidade em seus dados, obedecendo a relação: Valor-P=0,195>0,05, seguindo uma distribuição normal.

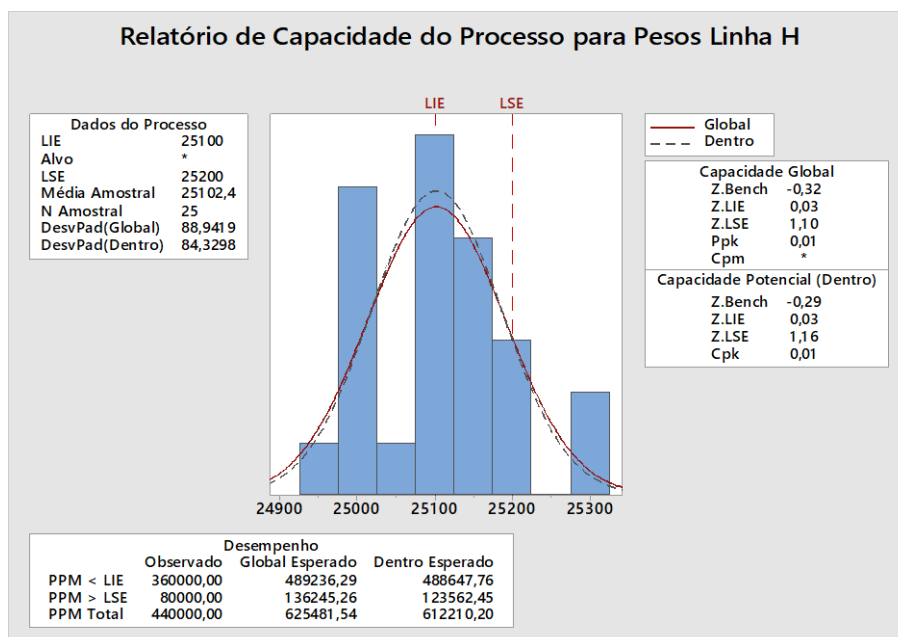
Figura 39:Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha H



Fonte: Autores.

Analisando Cp e Cpk da Linha H, conforme Figura 39, obtemos: Cp=0,20<1,00 e Cpk=0,01<1, valores muito baixos, sinalizando que a capacidade do processo não atende aos requisitos de especificação, sendo necessária a redução da variabilidade nessa linha.

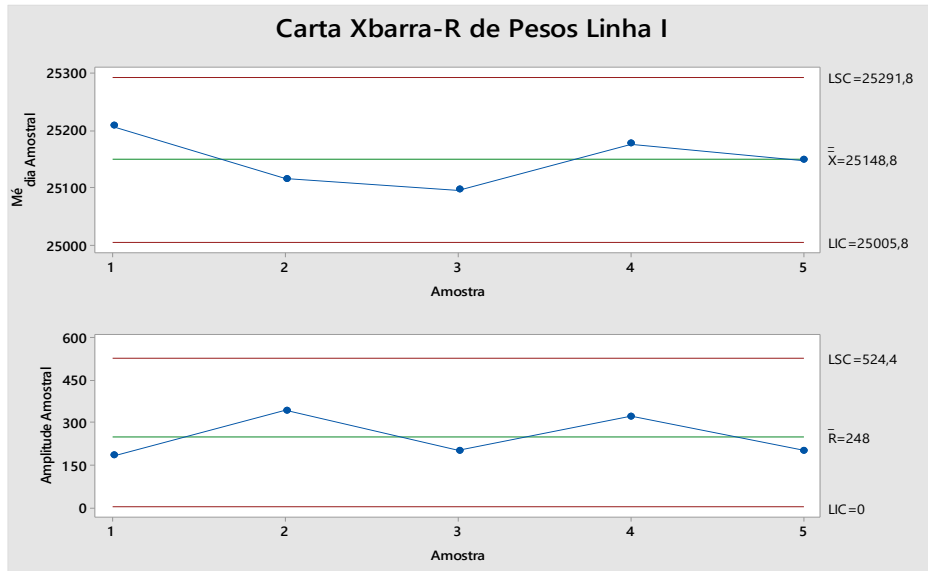
Figura 40:Nível Sigma Linha H



Fonte: Autores.

A Linha H, conforme Figura40, apresentou um nível Sigma muito baixo, conforme relação: $Z_{Benchmark} = -0,29$, ou seja se faz necessária a redução da variabilidade também nessa linha produtiva.

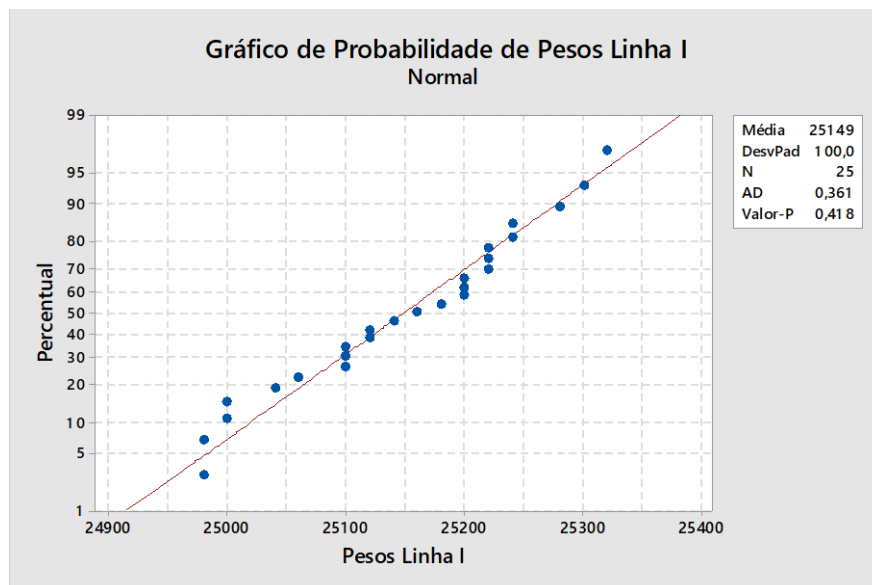
Figura 41:Gráfico de controle de Pesos Linha I



Fonte: Autores.

Conforme Figura41, os dados amostrais da Linha I estão dentro dos limites de controle, indicando que o processo de envase da Linha I, assim como os demais processos avaliados anteriormente, está sob controle estatístico, porém com muita variabilidade em seus dados.

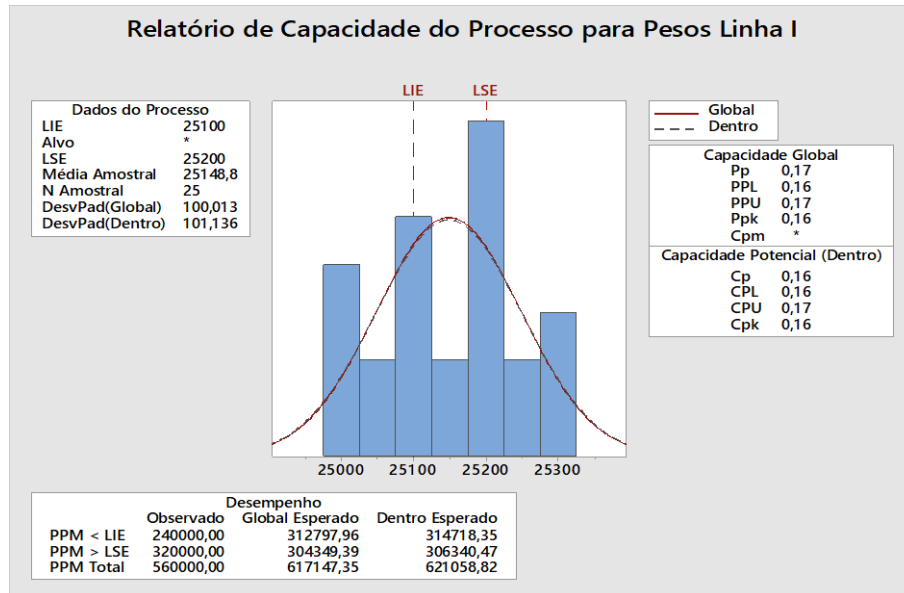
Figura 42:Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha I



Fonte: Autores.

A Linha I, conforme Figura 42, assim como as demais linhas anteriores analisadas, também apresentou normalidade em seus dados, obedecendo a relação: Valor-P=0,418>0,05, seguindo uma distribuição normal.

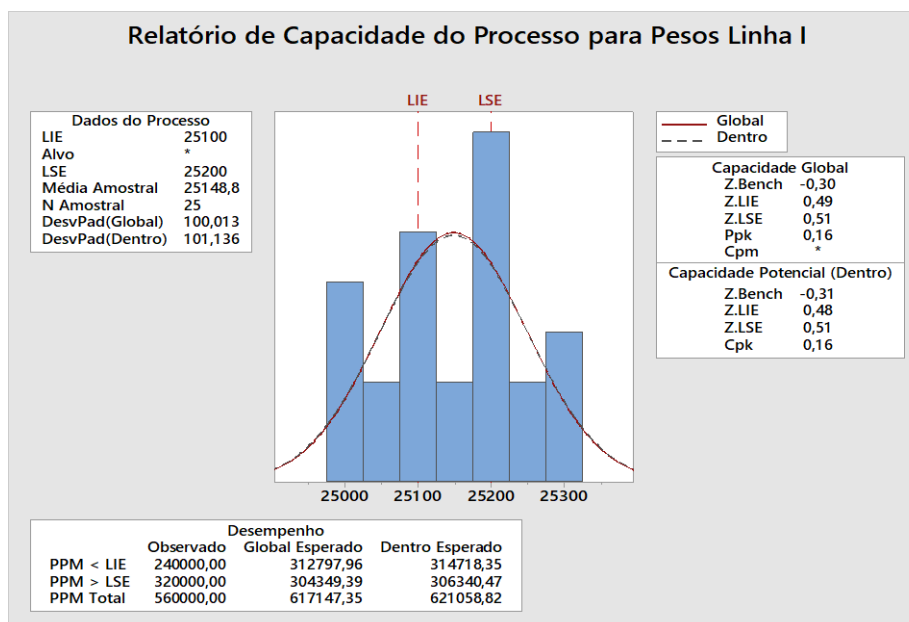
Figura 43:Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha I



Fonte: Autores.

Ao analisar Cp e Cpk da Linha I, conforme Figura 43, obtemos: $Cp=0,16 < 1,00$ e $Cpk=0,16 < 1$, sinalizando assim como as linhas anteriores analisadas que a capacidade do processo não atende aos requisitos de especificação, sendo necessária a redução da variabilidade, também nessa linha.

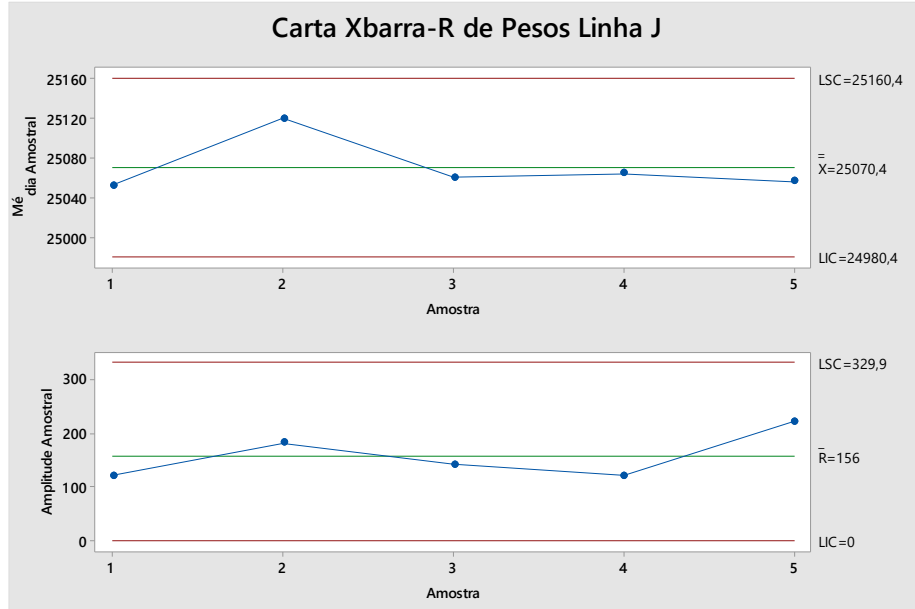
Figura 44: Nível Sigma Linha I



Fonte: Autores.

Conforme Figura 44, o nível Sigma da Linha I, também apresentou um valor muito baixo: $Z_{\text{Bench}} = -0,31$, sinalizando que o processo precisa de melhorias para atingir um nível Sigma maior.

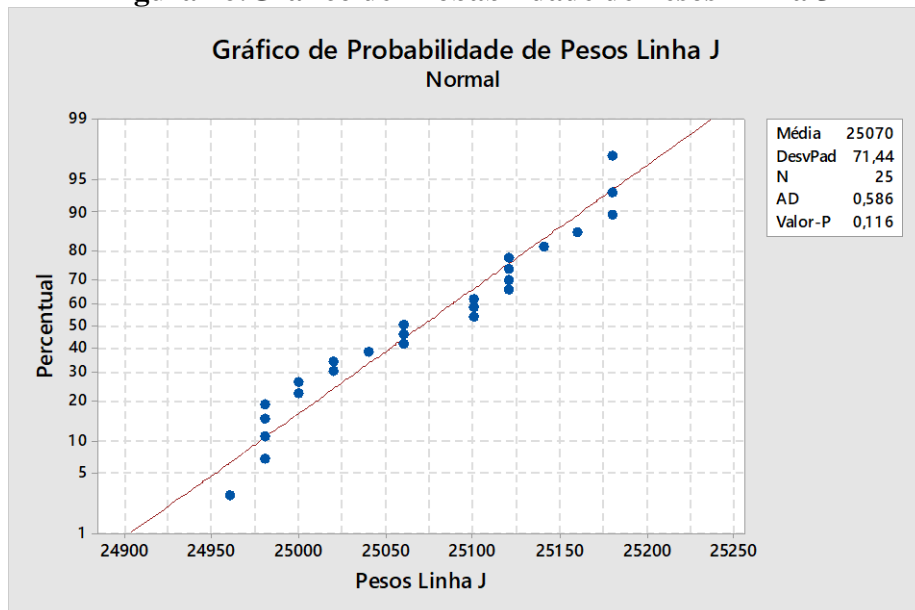
Figura 45: Gráfico de controle de Pesos Linha J



Fonte: Autores.

A linha J, conforme Figura 45, assim como as demais linhas analisadas, conforme Figura 42, apresentou dados amostrais dentro dos limites de controle, indicando que o processo de envase da Linha J, está sob controle estatístico, porém com variabilidade nos dados.

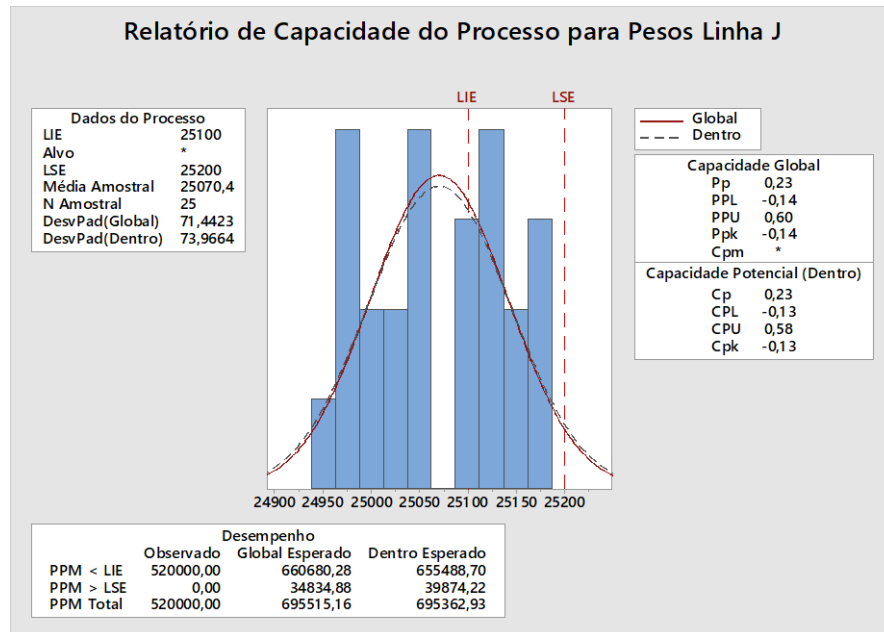
Figura 46: Gráfico de Probabilidade de Pesos Linha J



Fonte: Autores.

A Linha J, conforme Figura 46, assim como as demais linhas anteriores analisadas, também apresentou normalidade em seus dados, obedecendo a relação: Valor-P=0,116>0,05, seguindo uma distribuição normal.

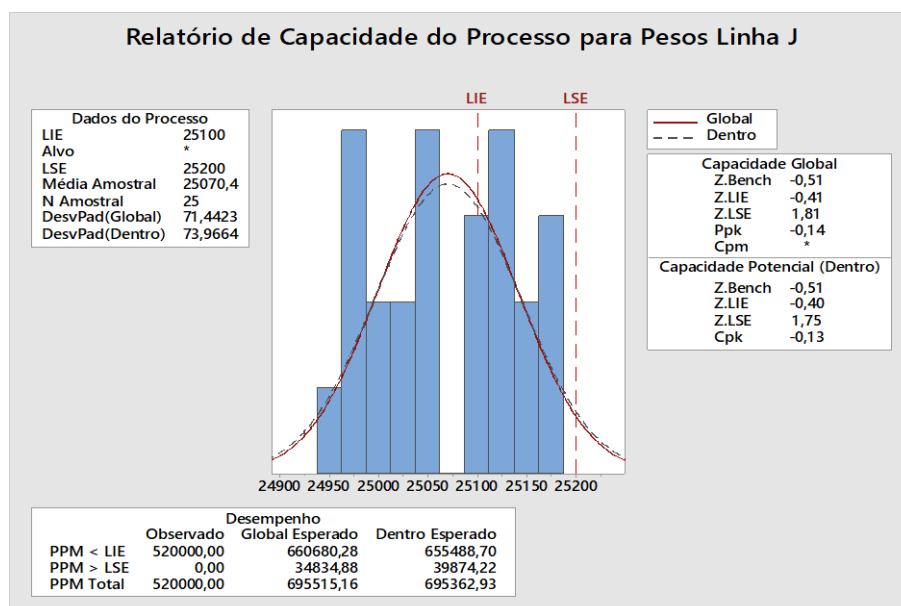
Figura 47:Relatório de Capacidade do Processo para Pesos Linha J



Fonte: Autores.

A Linha J, conforme Figura 47, apresentou valores muito baixos de Cp e Cpk, sendo a relação: Cp=0,23<1,00 e Cpk= -0,13<1, indicando que esse processo também não atende aos requisitos de especificação, sendo necessária a redução da variabilidade do mesmo.

Figura 48:Nível Sigma Linha J



Fonte: Autores.

Conforme Figura 48, o nível Sigma da Linha J, também apresentou um valor muito baixo: $Z_{Benchmark} = -0,51$, indicando que o processo precisa de melhorias para atingir um nível Sigma maior.

Após a análise dos dados coletados, foi realizado um *Brainstorming* com a equipe do setor de envase. Posteriormente as principais causas encontradas foram colocadas em um Diagrama de Ishikawa, conforme apresentado na Figura 49. Antes de realizar o Brainstorming, foi realizado um comparativo das médias amostrais das 10 linhas produtivas para avaliar se existia diferença significativa entre elas.

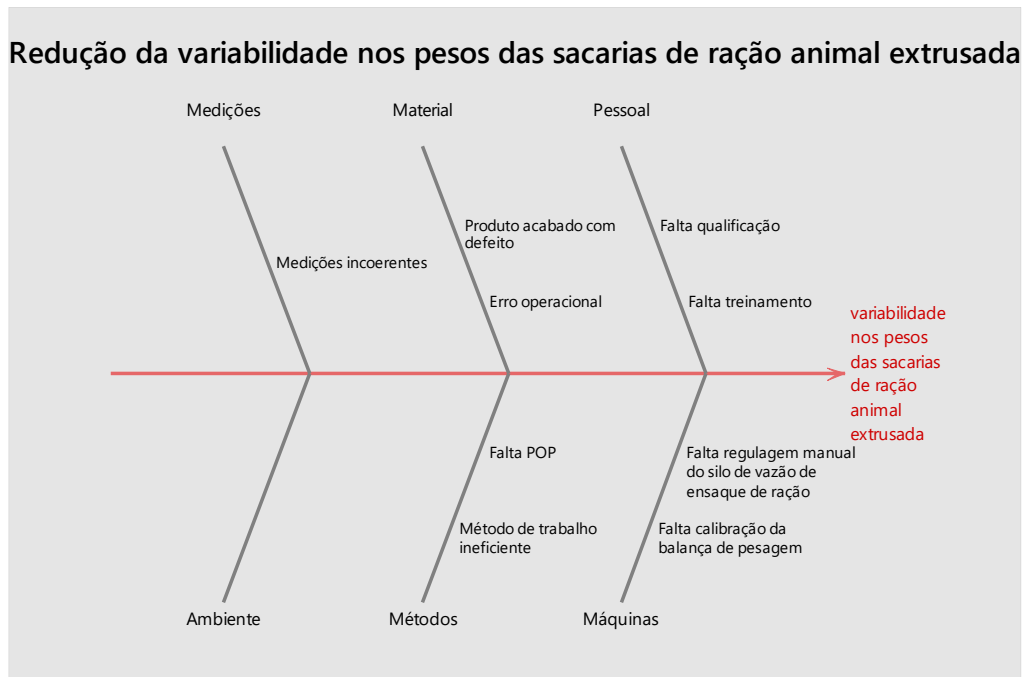
Quadro 5: Comparativo entre médias amostrais

Linhas Produtivas	Médias Amostrais
A	25120,8
B	25142,4
C	25122,4
D	25088,8
E	25107,2
F	25126,4
G	25112
H	25102,4
I	25148,8
J	25070,4
Desvio Padrão	23,6
Coefficiente de Variação	0,094%

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

O processo produtivo é igual para todas as linhas produtivas, conforme Quadro 5, ao comparar as médias amostrais dos pesos das 10 linhas produtivas, é possível observar que as médias são bem próximas, com apenas 0,094% de variação entre elas, sendo levantadas as mesmas causas de variabilidade.

Figura 49: Diagrama de Ishikawa para a variabilidade dos pesos



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Após o *Brainstorming*, as principais causas raízes encontradas foram discutidas para a sua melhor compreensão e estudo.

Discussões das Causas Raízes

Ao analisar a causa caracterizada como Medições Incoerentes, foi possível observar que os colaboradores do envase, em alguns momentos, não zeram a balança de pesagem e a balança de verificação, o que pode acarretar em medições incoerentes e erradas.

Ao analisar a causa identificada como Produto Acabado com Defeito, foi possível observar que, se caso ocorrer um erro de produção, especificamente nas etapas de pesagem, moagem e extrusão do produto, em três situações diferentes, pode influenciar no peso da sacaria. A 1ª situação é o operador de painel errar a dosagem das matérias-primas a granel no sistema, seja para mais ou menos que pode influenciar na densidade do produto final.

A 2ª situação é o operador de painel usar a peneira errada na moagem da ração. Cada produto possui uma peneira padrão que define a sua espessura farelada mais fina ou farelada mais grossa que pode influenciar na densidade do produto após ser extrusado.

A 3ª situação refere-se ao operador de extruso a utilizar uma matriz errada para o produto. Cada ração possui um matriz padrão que define a sua granulometria (tamanho) e, conseqüentemente,

a sua densidade padrão, que por sua vez, pode influenciar diretamente no peso e volume da sacaria.

Durante a coleta das 10 linhas produtivas não foi observado nenhum erro de operação, sendo que os produtos obedeceram aos parâmetros necessários de tamanho e densidade.

Ao analisar a causa identificada como Falta de Calibração da balança de pesagem, foi observado que nenhum dos colaboradores do setor de envase, dos 2 turnos existentes, possuem conhecimento para configurar a balança de pesagem. Quando ela começa a variar, eles não sabem regular a sua configuração, sendo que apenas um único operador no setor de operação de painel sabe realizar a sua configuração, sendo essa uma situação crítica, porque muitas vezes esse único operador não está disponível para realizar essa configuração, devido ter outras atividades para fazer. A única regulagem que os colaboradores do envase sabem fazer é na vazão do silo que despeja a ração para dentro da sacaria, a qual deve ser feita constantemente conforme os pesos das sacarias forem variando, porém, conforme observado, também não é feita constantemente, agravando a variabilidade dos pesos da ração ensacada.

Ao analisar a causa identificada como Falta de Qualificação, verificou-se que essa causa é semelhante a Medições Incoerentes, ou seja, falta treinamento para os colaboradores para que eles consigam configurar a balança de pesagem, quando eles notarem que ela está variando na sua contagem, o que pode influenciar, diretamente, na variabilidade dos pesos das sacarias.

Ao analisar a causa identificada como Método de Trabalho Ineficiente, foi possível observar que não existe um procedimento padrão de trabalho, ou seja, falta POP para essa atividade.

Improve

Após analisar cada uma das causas identificadas por meio do Diagrama de Ishikawa, foi utilizada a ferramenta da qualidade 5W1H como auxílio para a busca da redução da variabilidade do processo de envase de ração animal extrusada, conforme representado na Quadro6.

Quadro 6: Plano de Ação 5W1H

<i>What?</i> (O que?)	<i>Why?</i> (Por que?)	<i>Who?</i> (Quem?)	<i>Where?</i> (Onde?)	<i>When?</i> (Quando?)	<i>How?</i> (Como?)
Falta de calibração da balança de pesagem	Descalibração da balança de pesagem ocasionando a variabilidade nos pesos das sacarias.	Supervisor de Manutenção	Balança de pesagem no setor de ensaque.	Programar para o período de parada paramanutenção, dezembro de 2018	Verificar se existe falha no equipamento durante o seu funcionamento, ou seja se precisa trocar alguma peça que esteja com defeito ou fazer a reparação.
		Supervisor de Manutenção, Gerente de Produção, Operador de Painel			Estabelecer um tempo padrão de calibragem que não prejudique a operação de envase.
		Supervisor de Manutenção			Realizar reunião para avaliar a disponibilidade do operador de painel realizar o treinamento dos colaboradores do setor de envase, na calibração da balança de pesagem.
		Supervisor de Manutenção e Analista de Qualidade.			Estabelecer a frequência para a calibração da balança em todo início de turno, durante o turno, caso a balança descalibre e uma calibração semanal de reforço, caso precise.
		Supervisor de Manutenção, Operador de Painel e Analista de Qualidade.			Estabelecer procedimento e data para o treinamento da balança de pesagem.
					Realizar reunião para levantar informações sobre como deve ser realizada a calibração da balança de pesagem.

<i>What?(O que?)</i>	<i>Why? (Por que?)</i>	<i>Who?(Quem?)</i>	<i>Where?(Onde?)</i>	<i>When?(Quando?)</i>	<i>How?(Como?)</i>
		Qualidade			
		Supervisor de Manutenção			Orientar o operador de painel de como preencher o checklist de verificação de dosagem das matérias-primas.
	Errooperacional da escolha da peneira de moagem	Supervisor de Manutenção	Moinhos		Elaborar checklist semanal de verificação da calibração da balança de pesagem e orientar o operador de painel de como preencher o formulário de registro da peneira utilizada na moagem.
		Supervisor de Qualidade, Gerente de Produção e Operador de Painel Produção			Elaborar checklist semanal de verificação da calibração da balança de pesagem e orientar o operador de painel de como preencher o formulário de registro da peneira de forma correta.
					Nomear um líder do setor de ensaque de cada turno para preencher o checklist de calibração semanal e diário da balança de pesagem.
		Líder de Ensaque			Elaborar POP com o procedimento de moagem do produto. Ao realizar o checklist da balança de pesagem, ao detectar que a balança está descalibrada, o líder de ensaque deverá efetuar a calibração da mesma para registro da matriz utilizada na extrusão.
Produto acabado com defeito	Erro operacional da escolha da matriz de extrusão e pesagem das matérias-primas.	Analista de Qualidade, Gerente de Produção e Operador de Extrusora	Balança de dosagem, painel de operações.	Programar para o período de parada para manutenção, dezembro de 2018	Realizar reunião para levantar informações sobre como deve ser o procedimento de pesagem das matérias-primas.
					Elaborar POP com o procedimento de pesagem das matérias-primas.
					Realizar reunião para levantar informações sobre como deve ser o procedimento de extrusão correta.
					Elaborar checklist de verificação da dosagem das matérias-primas.
					Elaborar POP com o procedimento de extrusão do produto.

Medições Incoerentes	Ocorrência de grande variabilidade dos pesos das sacarias.	Gerente de Produção	Setor de envase	dezembro de 2018.	Avaliar se existe dificuldade de manuseio pelos colaboradores ao envasar a sacaria.
-----------------------------	--	---------------------	-----------------	-------------------	---

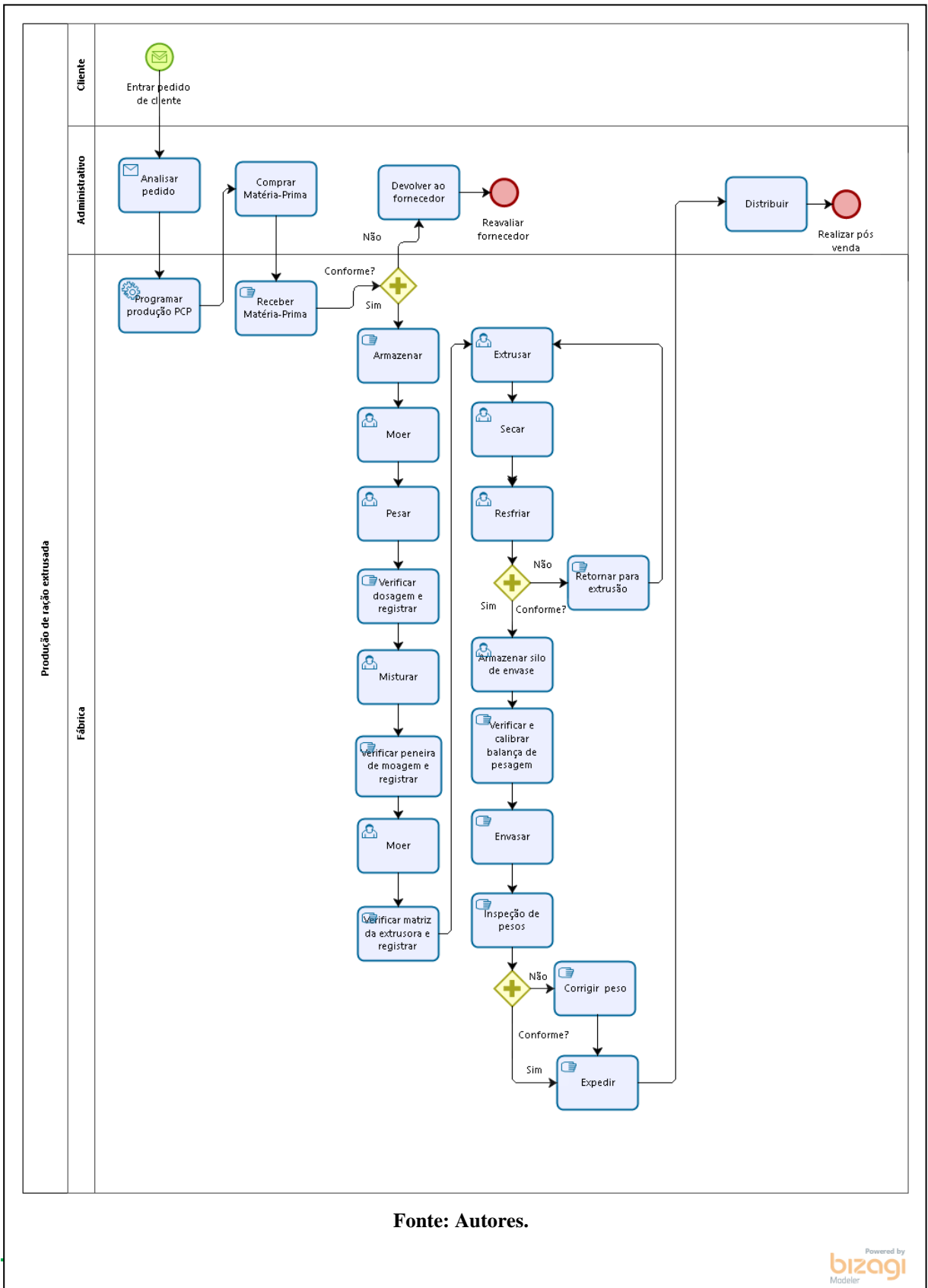
<i>What?(O que?)</i>	<i>Why? (Por que?)</i>	<i>Who?(Quem?)</i>	<i>Where?(Onde?)</i>	<i>When?(Quando?)</i>	<i>How?(Como?)</i>
		Supervisor de Manutenção e Analista de Qualidade.			Orientar os colaboradores a zerar a balança de verificação antes de realizar a verificação da pesagem.
		Analista de Qualidade			Elaborar formulário de inspeção de verificação de pesos de sacarias.
		Gerente de Produção e Analista de Qualidade			Elaborar um plano de inspeção de qualidade com frequência diária para avaliar o envase e a confiabilidade dos pesos das sacarias.
Falta de qualificação dos colaboradores	Ocorrência de grande variabilidade dos pesos das sacarias, decorrentes de erros operacionais.	Supervisor de Manutenção, Gerente de Produção e Analista de Qualidade	Setor de produção de ração animal extrusada	dezembro de 2018.	Elaborar método de avaliação de desempenho para os colaboradores da produção de ração animal extrusada.
		Supervisor de Manutenção, Gerente de Produção e Recursos Humanos			Avaliar a disponibilidade para a realização de reuniões semanais com cada um dos setores produtivos.
					Elaborar plano de treinamentos específicos para cada setor produtivo.
	Ocorrência de grande		Setor de envase.	dezembro de 2018.	Elaborar POP para setor de envase.

Método de trabalho ineficiente	variabilidade dos pesos das sacarias.	Gerente de Produção e Analista de Qualidade			Elaborar treinamento específico para o correto envase do produto.
What?(O que?)	Why? (Por que?)	Who?(Quem?)	Where?(Onde?)	When?(Quando?)	How?(Como?)
Falta de regulagem manual da vazão do silo de ensaque de ração	Ocorrência de grande variabilidade dos pesos das sacarias.	Supervisor de Manutenção, Gerente de Produção e Analista de Qualidade	Silo de vazão.	dezembro de 2018.	Elaborar formulário de registro de regulagem manual da vazão do silo de ensaque de ração.
					Orientar os colaboradores de como preencher o formulário corretamente e da importância do preenchimento do mesmo.
					Orientar os colaboradores a realizar a regulagem manual da vazão do silo de ensaque sempre que necessário e da importância dessa regulagem para a redução da variabilidade.

Fonte: Autores.

Após a elaboração do plano de ação com a proposta das melhorias a serem implementadas, foi realizado um novo mapeamento conforme Figura 48, com a previsão do processo já com as melhorias adotadas.

Figura 50: Mapeamento BPMN do processo de produção de ração extrusada-melhorias



Fonte: Autores.

Após realizar o mapeamento com a previsão das melhorias a serem implementadas é possível notar que essas melhorias não possuem custo para a indústria estudada, ou seja são medidas simples que podem ser implementadas de imediato pelos próprios colaboradores da indústria, não sendo necessário contratar mão de obra externa, e que podem trazer grandes benefícios para a indústria, pois ao reduzir a variabilidade no processo de envase de ração animal extrusada é possível reduzir os desperdícios com sobrepeso que geram custos e aumentar a confiabilidade do produto ensacado dentro do peso correto, evitando futuras reclamações de clientes e garantindo a qualidade do produto.

Ao realizar um comparativo entre o mapeamento atual Figura 8 e o mapeamento com as melhorias propostas Figura 50, é possível visualizar algumas melhorias propostas, conforme Quadro 7:

Quadro 7: Melhorias propostas

Setor	Melhoria proposta	Objetivo
Pesagem	Verificação da dosagem de matéria prima e registro em formulário específico pelo operador de painel	Evitar a dosagem incorreta de matérias primas e a alteração em seus níveis nutricionais.
Moagem	Verificação da peneira de moagem e registro em formulário específico pelo operador de painel	Evitar a utilização da peneira de moagem errada e a alteração na densidade do produto.
Extrusão	Verificação da matriz de extrusão e registro em formulário específico pelo operador de extrusora.	Evitar a utilização da matriz de extrusão errada e a alteração na densidade e no formato do produto.
Envase	Verificação e calibração da balança de pesagem pelo líder de ensaio do turno e registro em checklist diário.	Evitar a pesagem incorreta em sacarias de 25Kg e a variabilidade nos pesos.
Envase	Inspeção e Verificação dos pesos das sacarias de 25Kg pelo Analista de Qualidade.	Evitar que as sacarias saiam com os pesos errados.
Envase	Correção manual dos pesos.	Evitar a variabilidade dos pesos.

Fonte: Autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do estudo de caso utilizando a metodologia Seis Sigma em uma indústria de ração animal extrusada, possibilitou que os colaboradores conhecessem melhor essa metodologia e seus benefícios para os processos. Por meio das observações durante as visitas ao setor produtivo de ração animal extrusada, foi possível perceber que a maioria dos colaboradores não conheciam a metodologia Seis Sigma e, ao conhecê-la, ficaram motivados de como cada um poderia contribuir para a melhoria dos processos, baseando-se nessa metodologia.

Durante o estudo de caso, foi possível verificar que a indústria estudada precisa estabelecer um plano de treinamentos para os colaboradores, sendo possível verificar a ausência de treinamentos em todos os setores.

Após analisar o nível sigma de cada umas das 10 linhas produtivas, foi constatado que a variabilidade em todas as linhas está muito elevada, o que pode acarretar em prejuízos financeiros para a indústria e reclamações dos clientes, colocando em risco a qualidade do produto oferecido, sendo importante a implementação de melhorias que reduza essa variabilidade.

Diante dos resultados obtidos pelo estudo de caso, é possível concluir que é viável a aplicação da metodologia Seis Sigma na identificação das causas da variabilidade e em seu controle, proporcionando a melhoria dos processos e, conseqüentemente, o aumento da confiabilidade e qualidade de seus produtos e serviços prestados aos clientes. Para isso, é necessário seguir corretamente as suas etapas, que são baseadas na metodologia DMAIC, com o auxílio das ferramentas de qualidade necessárias e ter a participação de todos os envolvidos no processo.

Por meio do estudo realizado foi possível concluir que apesar das 10 linhas produtivas estarem sob controle estatístico de processo, ou seja, dentro da variação permissível do processo, todas apresentaram os índices de capacidade, (C_p e C_{pk}) muito baixos indicando que a capacidade do processo não atende aos requisitos de especificação. Além disso, todas as linhas produtivas apresentaram nível sigma muito baixos indicando grande variabilidade em seus processos de envase, sendo importante a implementação do plano de ação sugerido, objetivando a redução da variabilidade e o aumento do nível sigma.

CAPÍTULO II

APLICAÇÃO DA
METODOLOGIA DMAIC NA
REDUÇÃO DA
VARIABILIDADE NO
PROCESSO DE TRATAMENTO
DO CALDO DA CANA-DE-
AÇÚCAR

APRESENTAÇÃO

Uma das grandes dificuldades na redução de falhas de um processo é adequar de forma sistemática, os esforços nas resoluções dos problemas de acordo com o objetivo da organização. Ferramentas de gestão de processos como Seis Sigma e método DMAIC são amplamente utilizadas para reduzir variabilidade em parâmetros de processos e proporcionar ganhos competitivos dentro das indústrias. O presente estudo fez uso de tais ferramentas para detectar falhas no processo de tratamento do caldo de cana para produção industrial de açúcar em uma usina na região sul do estado de Goiás, especificamente avaliando as principais variáveis de qualidade do processo de tratamento do caldo: pH do caldo dosado, sulfito adicionado ao caldo, pH do caldo após sulfitação, temperatura e transmitância do caldo, em uma amostragem de resultados de análises laboratoriais de 2 em 2 horas em um período de abril a julho 2018. Desta forma, este trabalho teve como objetivo geral apresentar a aplicabilidade do controle estatístico para o controle de qualidade do processo de tratamento do caldo da cana de açúcar. Tendo objetivos específicos: demonstrar o mapeamento de todo o processo; identificar as variáveis no processo produtivo específico para análise dos índices de capacidade e nível sigma; identificar os potenciais variáveis que podem causar defeito no produto final; planejar, estruturar, realizar e analisar um estudo conforme cada etapa da metodologia DMAIC; sugerir um plano de ação que possam contribuir para melhorar o processo para atingir os resultados de produção de açúcar conforme especificação. Após aplicação do método DMAIC, verificou-se que, através da mensuração dos dados visualizados com Diagrama de Ishikawa e Cartas de Controle, todos os parâmetros avaliados se encontravam fora das especificações praticadas por outras indústrias e encontradas em literatura. O cálculo do nível Sigma para cada variável indicou defeitos no processo e descentralização das curvas nos histogramas. Nenhuma variável atingiu nível Sigma 1, todas se encontraram abaixo deste valor, especialmente a variável sulfito e pH do caldo sulfitado. Dessa maneira, uma Matriz de Priorização e um Plano de Ação utilizando a ferramenta 5W2H foram aplicados a fim de oferecer alternativas para minimizar as variabilidades presentes durante o processo de tratamento. Foi sugerido melhorias também como a implementação de elaboração de Procedimento Operacional Padrão, método Poka Yoke para maior controle das variáveis, treinamentos para o departamento de qualidade a fim de diagnosticar as falhas e estabelecer ações que mitigarão a ocorrência de novos desvios no processo.

INTRODUÇÃO

O sistema Seis Sigma vem ganhando cada vez mais evidência no século 21, dada a sua capacidade de redução da variabilidade e consequente ganho de competitividade. Sua aplicabilidade não vem de inovar em métricas, mas utilizar de forma prática as já existentes, de forma sistemática, minimizando as falhas nos processos de produção (WERKEMA, 2012).

Para Rotondaro (2014), a gestão de operações ocupa-se das atividades de gerenciamento visando a atender as necessidades de qualidade, tempo e custo de seus clientes. Assim, para avaliar se realmente há efetividade nos procedimentos deve-se realizar uma análise de desempenho específico e sistêmica para o monitoramento e aperfeiçoamento dos processos. O uso de ferramentas da qualidade adequadas à utilização da metodologia Seis Sigma pode levar a melhorias no acompanhamento e controle da produção e garantir que as atividades planejadas e programadas sejam cumpridas para o alcance das metas estabelecidas

Segundo Kessler (2004) a ferramenta de gestão Seis Sigma utiliza metas e objetivos quantificáveis, dividindo o problema em fases para melhor avaliação de cada etapa do projeto, levando a obter tomadas de decisões que trarão resultados comprovados e satisfatórios, buscando reduzir a variabilidade nos resultados do processo ou controlá-lo. Quanto mais complexo o processo de produção, mais deve ser fragmentado para melhor compreensão de suas fases e detecção de possíveis falhas, utilizando-se da metodologia Seis Sigma, a qual se vale do método DMAIC, objeto do presente estudo (ARAÚJO, 2012).

O método DMAIC visa também atender com eficiência o uso dos recursos que os objetivos estratégicos da organização requerem. O nível de desempenho de uma operação é medido pelo resultado de eficiência, eficácia e efetividade que suas ações têm. É importante ressaltar que o aumento da produtividade decorre de se corrigir os pontos que apresentam deficiências e resolução de problemas detectados durante o processo produtivo (ROTONDARO, 2014).

Destarte, o presente trabalho busca identificar o problema: como reduzir a variabilidade do processo de tratamento de caldo na produção de açúcar, atendendo as especificações

estabelecidas do produto, diminuindo o número e porcentagem de produção de açúcar fora do padrão de qualidade?

No processo de tratamento de caldo da cana-de-açúcar existe o envolvimento de várias pessoas, recursos e operações, sendo mais propícia a ocorrência de variabilidade nos resultados e dificuldades na produção de açúcar branco. Mediante essa variabilidade, faz-se necessário avaliar as melhorias a serem tomadas e acredita-se que tais variações possam interferir tanto no desenvolvimento do processo quanto na entrega do produto final com a qualidade determinada pelo cliente.

Sendo assim, esta pesquisa teve como objetivo geral apresentar a aplicabilidade do controle estatístico para o controle de qualidade do processo de tratamento do caldo da cana de açúcar em uma usina de produção de açúcar no interior de Goiás. Teve ainda como objetivos específicos:

- Demonstrar o mapeamento de todo o processo;
- Identificar as variáveis no processo produtivo específico para análise dos índices de capacidade e nível sigma.
- Identificar os potenciais variáveis que podem causar defeito no produto final;
- Planejar, estruturar, realizar e analisar um estudo conforme cada etapa da metodologia DMAIC
- Sugerir um plano de ação que possam contribuir para melhorar o processo para atingir os resultados de produção de açúcar conforme especificação.

A realização deste trabalho justifica-se em relação ao seu aspecto teórico, em função de pesquisas já vinculadas a essa aplicação de metodologia, invariavelmente citam a necessidade de implantação de melhorias nas organizações, sejam a fim de atender os clientes ou ganho de lucros. O fato é que qualquer mudança, simples ou complexa deve ser analisada, planejada e controlada para que o resultado esperado seja alcançado.

Por exemplo, Costa (2006) afirma que apesar da carência e iniciativas de sistematização dos processos, ainda foram desenvolvidos ao longo dos anos, como podemos citar a metodologia Seis Sigma (DMAIC), Metodologia de Sistema Flexíveis em 1987; Metodologia da Transformação em (2000), desta forma é notável o quanto o tema gestão de qualidade ainda está aberto as novas descobertas quanto às suas eficiências.

Alguns métodos de análise e controle de qualidade são utilizados por grande parte das empresas, porém se não aplicados de forma correta ou se não seguirem o procedimento adequado, não mostrarão resultados eficazes e, com o intuito de observar como as características dos processos e conseqüentemente o sistema como um todo tem se comportado em relação à padronização e controle baseado nas metas serem alcançadas,

esse estudo utilizará as cartas de controle, uma ferramenta importante do controle estatístico de processo,) aponta os limites superiores e inferiores de controle. (OLIVEIRA, 2010)

Dessa forma, a metodologia do controle estatístico de processo, de acordo com o método DMAIC, utiliza técnicas de monitoramento, controle e melhoria de processos, mediante análise estatística, e tem por finalidade analisar, identificar e eliminar as causas especiais de variação e outras condições operacionais anormais, colocando o processo sob controle estatístico.

REFERENCIAL TEÓRICO

Técnicas, ferramentas, sistemas e métodos que visam traçar métricas sobre processos e projetos são mais remotos do que as datas que a literatura sobre o tema pretende lançar mão. Porém, na conceituação de Werkema (2012), foi com o advento da Revolução Industrial que tais instrumentos de análise, medição e controle ganharam corpo e, por conseguinte, avanço literário. Surgido na década de 1980, por Bob Galvin, então um dos executivos da Motorola, o método Seis Sigma é uma dessas inovações no estudo dos processos de produção, reforça a autora.

Sendo assim, é persecução da presente pesquisa apresentar o conceito de gestão de qualidade ao longo da história industrial, sua evolução à medida que evoluem as interações sociais e culturais, desembocando no método Seis Sigma e sua ferramenta DMAIC (sigla em inglês cujo significado é: Definir, Mensurar, Analisar, Incrementar e Controlar) dentro do processo de produção de açúcar.

Gestão da Qualidade

O mundo está cada vez mais globalizado e vivendo uma era de grandes transformações, sendo que a garantia da qualidade dos produtos começa a desempenhar um papel fundamental com o aumento das exigências dos consumidores. A garantia da qualidade engloba atividades relacionadas ao processo, assegurando que o produto final seja adequado às necessidades do cliente (LOPES, 2003) “O controle de qualidade teve início com Walter Andrew Shewhart, que trabalhava com forças armadas dos Estados Unidos e o objetivo de obter maior qualidade possível” (SELEME, 2008, p. 17).

De acordo com Sicsú e Castelar (2009, p. 11), após a Segunda Guerra Mundial, quando a necessidade de melhores produtos e a concorrência obrigou as empresas a desenvolverem melhor seus bens e serviços, o Japão, preocupado com sua economia estabeleceu a relação de estruturação com a colaboração dos Estados Unidos, que ocorreu por intermédio de Deming e Juran. Esse encontro ocorreu na década de 1960, no qual se percebeu a importância de relacionar o fator técnico e fator humano representados nas

teorias de Maslow, Herzberg e McGregor, de forma que com a combinação foram criados os grupos chamados de Círculos de Controle da Qualidade.

Conforme as mudanças e aumento da concorrência, o desejo das organizações passa a ser a sobrevivência, em que moral, segurança, qualidade, entrega e custo são atributos da qualidade inseridos como meio para se sobressair. A qualidade intrínseca refere-se à qualidade dos produtos e serviços, à entrega no local certo, na hora e qualidade certa, ao custo tanto de produção e ao que incide sobre os consumidores e segurança traduzida como segurança dos internos e externos. (SELEME, 2008) A figura 1 mostra a evolução da qualidade segundo os conceitos dos principais autores da qualidade:

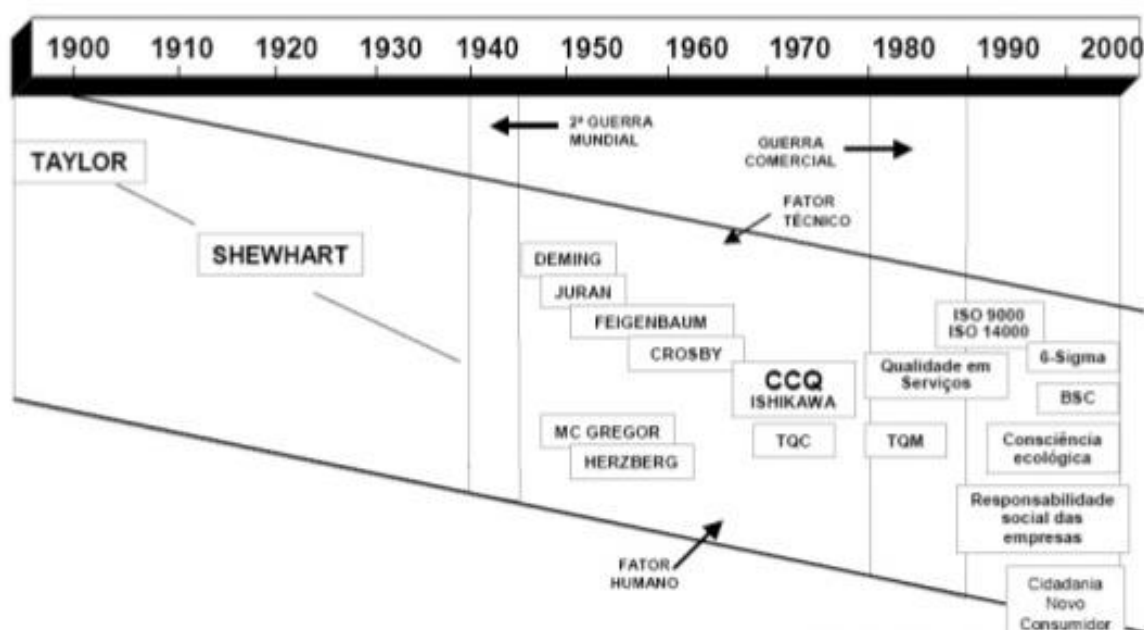


Figura 1: Evolução da Qualidade.
Fonte: Campos (2004, p. 15)

E pela concepção de Deming (1994) qualidade é a perseguição das necessidades dos clientes e homogeneidade dos resultados do processo. O controle de qualidade total é um modelo gerencial com foco no controle do processo, tendo como meta a satisfação das necessidades dos clientes. O controle da qualidade é abordado com três objetivos: planejar a qualidade desejada pelos clientes, manter a qualidade, e melhorar a qualidade. Ela deve ser desenvolvida visando seu público alvo.

O controle da qualidade exige um processo de melhoria contínua, envolvendo mudanças organizacionais e culturais e para mudar faz-se necessário aplicar ferramentas que ajudarão a encontrar as soluções para os problemas das atividades diárias.

A Gestão da Qualidade Total é um processo que envolve o monitoramento e a avaliação do alcance dos objetivos, utilizando métodos de medição de melhoria e de verificação do funcionamento das ações de processo. Outro lado importante refere-se ao gerenciamento da qualidade, em que as organizações devem seguir procedimentos, representados por métodos e pela utilização adequada de ferramentas. (SELEME, 2008)

Seleme (2008) define método como a sequência lógica empregada para atingir o objetivo desejado e ferramenta é o recurso utilizado no método, deste modo o que resolve os problemas nos processos produtivos e operacionais é o método e não a ferramenta.

Um dos princípios para a gestão de qualidade é a abordagem do controle de processos. Cada empresa, cada pessoa deve ter autoridade e responsabilidade sobre o seu processo. Com base no gerenciamento, o a padronização do trabalho onde o controle não existiria, conduzindo a variações de produtividade e qualidade, sabendo-se que as decisões gerenciais não podem ser tomadas através de intuições, de forma correta significa analisar os fatos e dados confiáveis do problema para evitar enganos (ABREU, 2007).

O controle de processos assume significativa importância devido a muitos deles não serem viáveis economicamente sem o controle satisfatório, onde um processo complexo que sai do controle pode gerar muitas perdas (CAMPOS, 2004).

Ainda de acordo com o autor supramencionado, o controle da qualidade com ênfase no controle de processos caracteriza-se por toda a produção desde o projeto até o acabamento. A definição da autoridade e da responsabilidade de cada pessoa, padronização dos processos, a monitoração dos resultados, a ação corretiva a partir dos desvios encontrados, são fatores importantes para o gerenciamento em busca da melhoria contínua para a qualidade.

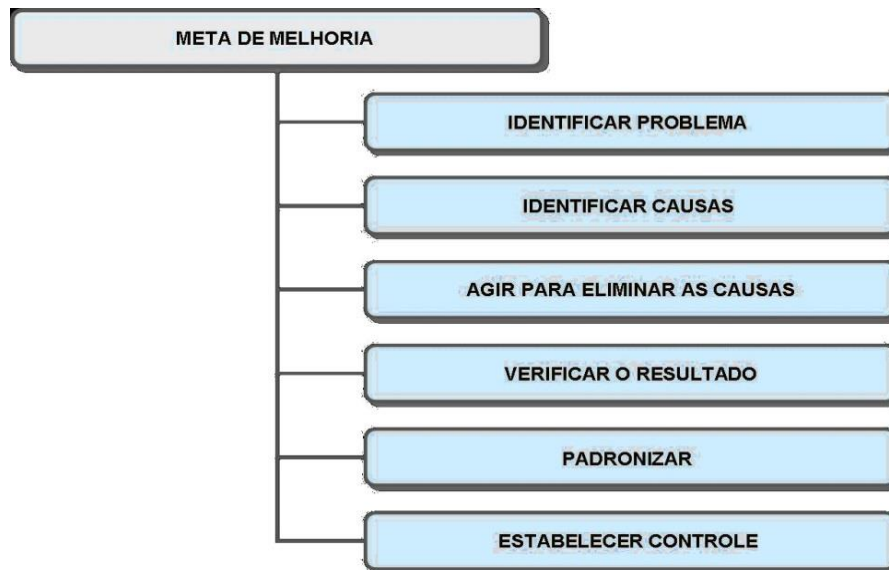


Figura 2: Etapas para o controle de processos
Fonte: Campos (2004) adaptado pela pesquisadora.

Para se atingir as metas e objetivos, as organizações adotam ações que aumentam a probabilidade de que elas sejam alcançadas, com isso a necessidade de melhoria contínua do desempenho (CAMPOS, 2004).

Segundo Gonçalves e Musetti (2009), o processo conjunto de causas que provocam efeitos e controle de um processo é o ato de buscar as causas da impossibilidade de se atingir uma meta e estabelecer contramedidas, promover melhorias ocorre quando são trabalhados os processos e modificados os fatores capazes de influenciar os atributos que compõem a qualidade do produto. O controle dos processos ocupa grande importância, é por meio dele que os processos são estabelecidos e se obtêm previsibilidade.

A Metodologia Seis Sigma

A “letra *Sigma* é representada pelo símbolo (σ), que significa a medida de dispersão em torno da média gerada por um determinado processo, e *Seis* indica o número de desvios padrões que um determinado processo deve ou deveria ter entre sua média e os requisitos do cliente (PEREIRA, 2013, p. 2).

Seis Sigma é uma filosofia de trabalho para alcançar, maximizar e manter o sucesso profissional, por meio da redução da variabilidade e melhor atendimento às necessidades dos clientes. É um conceito que se concentra no cliente e no produto, vindo a ser uma metodologia estruturada que incrementa a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos envolvidos na produção de um bem ou serviço, levando em conta todos os aspectos importantes. (ROTONDARO, 2014)

Para Silva (2014) o sistema Seis Sigma foi criado em 1990, com uma combinação de procedimentos do Sistema Toyota e a produção enxuta, tendo por premissas atender a satisfação total dos clientes, funcionários, fornecedores e acionistas. A metodologia surgiu na Motorola americana, em 1986, a fim de padronizar a produção, diminuir os defeitos e ter maior lucro.

O objetivo do Seis Sigma é conseguir a excelência na competitividade pela melhoria contínua dos processos. O termo sigma mede a capacidade do processo em trabalhar livre de falhas.

O Seis Sigma significa redução à variação no resultado entregue aos clientes numa taxa de 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de perfeição. Portanto, é uma metodologia rigorosa que utiliza ferramentas e métodos estatísticos para definir os problemas e situações a melhorar, medir para obter informação e os dados, analisar a informação coletada, incorporar e empreender melhorias nos processos e, finalmente, controlar os processos ou produtos existentes, com a finalidade de alcançar etapas ótimas, o que por sua vez gerará um ciclo de melhoria contínua. (MAGALHÃES e OLIVEIRA, 2011, p. 6).

Domingues (2013) define Seis Sigma como um método utilizado de forma organizada e sistemática para a aplicação na melhoria estratégica de processos, utilizando-se de métodos estatísticos e científicos em busca de reduções na taxa de defeitos definida pelo cliente. Sendo assim, o nível sigma de um processo está associado ao valor de DPMO identificado no processo.

Nessa linha, Duarte (2011) sugere que o nível sigma está associado à variabilidade de um processo, sendo o seu valor medido em desvios padrão relacionado entre os limites de especificação e a média do processo. Para a elaboração da execução de cada fase da metodologia Seis Sigma seguindo o ciclo DMAIC, são utilizadas várias ferramentas que são fundamentais para que a implementação seja bem-sucedida. Tais ferramentas são representadas na figura 3 abaixo.

Definir	<i>Project Charter, Key Performance; Indicators ; Gráfico Seqüencial , Carta de Controle; Análise de Séries Temporais; Análise Econômica; Voz do Cliente; Suppliers; Inputs; Process; Outputs; SIPOC</i>
Mensurar	<i>Avaliação de Sistema de Medição; Estratificação; Plano para Recolha de Dados; Folha de Verificação; Amostragem; Diagrama de Pareto; Gráfico Seqüencial; Carta de Controle; Análise de Séries Temporais; Histograma; Boxplot; Índices de Capacidade; KPI; Análise Multivariada;</i>
Analisar	<i>Fluxograma; Mapa do Processo; Mapa do Produto; Análise do Tempo de Ciclo; Análise de Modos de Falhas e Efeitos; Histograma; Estratificação; Diagrama de Dispersão; Brainstorm; Carta de Controle; Análise de Variância</i>
Implementar	<i>Brainstorm; Diagrama de Ishikawa; Matriz de Prioridades; Teste de Hipóteses; Diagrama de Gantt; Diagrama de Árvore;</i>
Controlar	<i>Diagrama de Pareto; Carta de Controle; Histograma; Índice de Capacidade; Poka Yoke; Folha de Verificação; Auditorias; Reuniões e Formações;</i>

Figura 3: Ferramentas utilizáveis em cada fase do ciclo DMAIC.
 Fonte: Wekerma (2012). Adaptado pela pesquisadora.

As técnicas estatísticas são à base de todo o processo e na experiência de utilização, algumas ferramentas tornam-se mais úteis que outras, as ferramentas estatísticas também estão vinculadas ao tipo de processo que quer se controlar. (WEKERMA, 2012). Desta forma foram destacamos algumas ferramentas/métodos que podem ser utilizada no trabalho apresentado.

O Método DMAIC

Os projetos Seis Sigma passam por cinco fases, que são conhecidas pela sigla DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*).

Segundo Rotondaro (2014), a metodologia DMAIC, como representada na Figura 4 abaixo, significa seguir determinadas etapas na condução de uma análise do processo ou produto, visando à redução de custos e aumento de produtividade, tais etapas são compostas por:

1. D - *Define* (Definir): Definir com precisão o escopo do projeto Seis Sigma que está sendo aberto, o time de trabalho, o detalhamento do problema e sua interface com o cliente, bem como seu objetivo. São determinadas as condições dos clientes, por meio do CTQ - Características Críticas da Qualidade. Desse modo, o “olhar” dos clientes é importante para a empresa, visto que os requisitos solicitados pelos mesmos serão atendidos a fim de fidelizar e conquistar novos clientes para o crescimento da organização.

2. *M - Measure* (Medir): Determinar a localização ou foco do problema. Nesta fase, as métricas das variáveis dependentes do processo são medidas numa série temporal, da qual se identifica o valor da média e se quantifica a variabilidade atual do processo. A medição é feita para saber quais as carências do processo e dos subprocessos. Posteriormente, a equipe colhe informações do processo por meio de provas ocasionais e evidentes.
3. *A - Analyse* (Analisar): Determinar as causas de cada problema prioritário. A fase de análise identifica as possíveis variáveis independentes (*X's*), prioriza-as e quantifica seu poder explicativo sobre o comportamento da variável dependente (*Y*). É necessário o uso de software estatístico para a realização de cálculos e gráficos que permite conhecer as não conformidades dos processos e as suas variações.
4. *I - Improve* (Implementar ou Melhorar): Propor, avaliar e implementar soluções para cada problema prioritário. Uma vez comprovadas as variáveis independentes (*X's*) relevantes na fase de Análise, a fase de melhorias testa ou simula mudanças nas variáveis independentes selecionadas. Com isso cria-se um protótipo de solução. Realiza a melhoria do processo já existente. Para tanto, necessário se faz que os dados obtidos na fase anterior tenham sido convertidos em elementos do processo e, por conseguinte, a equipe necessitará de observar as alterações que deverão ser empregadas.
5. *C - Control* (Controlar): Garantir que o alcance da meta seja mantido em longo prazo. Nessa fase criam-se novos procedimentos de trabalho e novas atribuições de papéis e responsabilidades, para se garantir que as melhorias atingidas pelo projeto sejam mantidas continuamente. Aqui é preparada a documentação, além do monitoramento da situação atual dos procedimentos por meios de métodos estatísticos de controle de processo. Como também será feita a avaliação da disposição do processo para saber o que se precisa melhorar ou quais as fases que necessitam de correções.

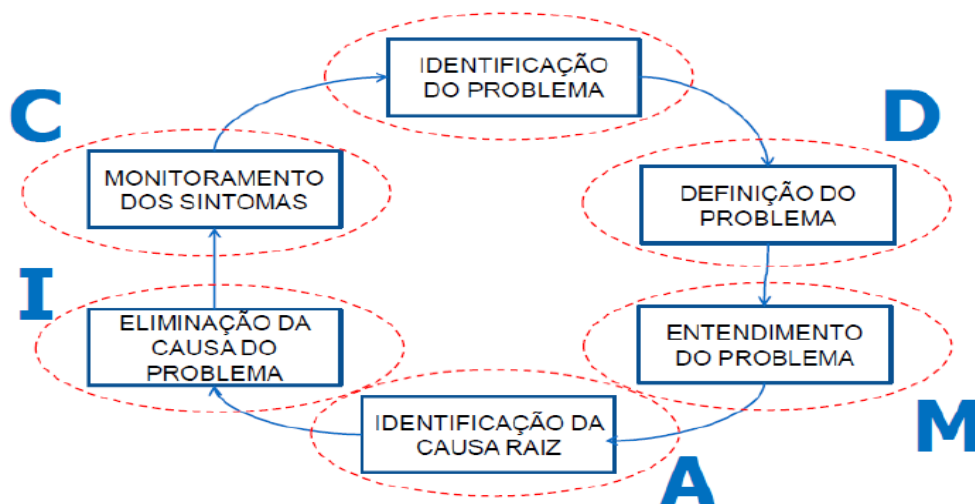


Figura 4: As fases da metodologia DMAIC.
 Fonte: Carvalho (2012, p. 05)

Como visto na figura acima, o método DMAIC é cíclico, ou seja, a partir de novas detecções de sintomas é que o processo se refaz, até que se atinja o nível desejado.

Controle Estatístico de Processos - CEP

A utilização do controle estatístico remonta, no estudo de Inesul (2007) há quatro milênios antes de Cristo, quando os povos que venciam batalhas sobre outras nações, faziam o levantamento territorial, bélico e de bens móveis conquistados dos vencidos. Esse dado é importante pois ilustra a busca do homem pelo controle e gerenciamento de determinada atividade em que ele intervinha diretamente.

Nos tempos atuais, Ribeiro e Caten (2012) lecionam que o controle estatístico do processo é uma métrica por amostragem, cuja finalidade é averiguar a presença de causas não naturais no processo que podem trazer danos à produção e que, uma vez detectado tal dano, possa ser mitigado através de ações de gestão de qualidade.

Rosa (2001, p. 24) assim preconiza a função do controle estatístico:

O controle é atingido através de ações corretivas sistemáticas tomadas frequentemente para cada observação ou em pontos determinados pela observação dos dados. Estas ações sistemáticas podem tipicamente ser descritas através de uma fórmula matemática e frequentemente implantadas utilizando-se reguladores automáticos ou dispositivos similares. A qualidade do controle efetuado é mensurada através variância na saída do sistema.

Ou seja, a medição pode ser feita tanto no andamento do processo (amostragem) como na saída, em que comumente são utilizados meios eletrônicos para alimentação e gerenciamento desses dados, e a partir deles, trabalhar na melhoria, que é a fase M – Mensurar- do DMAIC.

Conforme Oliveira (2010), o CEP ajuda a reduzir a variabilidade do processo de produção, aumentando a qualidade final do produto, conseguindo reduzir os custos em função de amostragem e redução de rejeitos.

Deste modo, o CEP possui ferramentas para monitoramento e melhoria de processo, utilizando um conjunto de técnicas para auxiliar na identificação das causas de variação e atuar na prevenção de erros. Por outro lado, utilizando o contexto do CEP, a qualidade está diretamente ligada à variabilidade do processo, em que a qualidade é a conformidade às especificações e se traduz para o CEP em fazer corretamente e repetidas vezes as tarefas necessárias sem que haja muita variação nos resultados para conseguir resultados do processo de produção que refletem o desejo do consumidor (RIBEIRO e CATEN, 2012, p. 5).

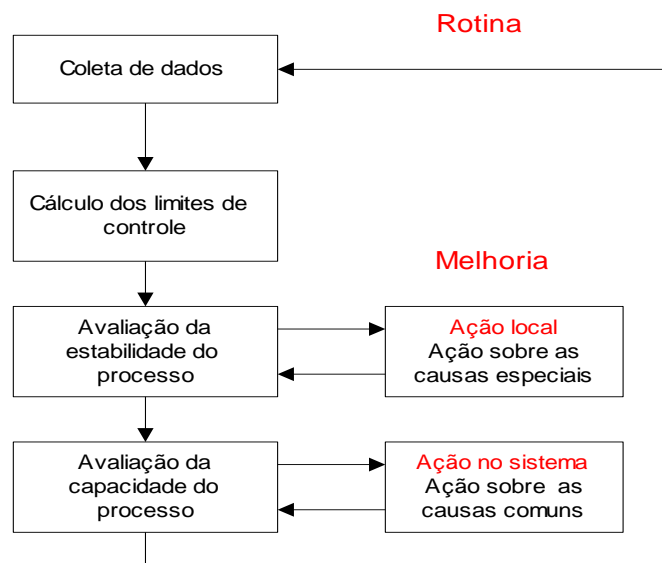


Figura 5: Estratégia para melhorias no controle estatístico de processos.
Fonte: Alves, (2003)

O CEP tem como objetivo detectar rapidamente alterações dos parâmetros de determinados processos para que os problemas possam ser corrigidos antes que muitos itens não conformes sejam produzidos (MINGOTI & FIDELIS, 2001). Na figura 5 são identificadas as etapas envolvidas no controle estatístico de processos:

Ramos (2013) cita que a partir do século XX os métodos estatísticos foram uma mistura de tecnologia, ciência e lógica, buscando solução e investigação de problemas em vários processos. Sendo assim, a estatística foi conhecida e atrelada à evolução da civilização.

Desta forma, de acordo com Rosa (2001), a Estatística é a ciência que se utiliza da coleta, análise, interpretação e apresentação de dados e auxiliam nas tomadas de decisões.

A estatística pode ser dividida em descritiva e indutiva, estabelecendo hipóteses sobre a população e previsões com base na teoria das probabilidades.

No estudo para utilização adequada dos métodos estatísticos deve-se saber ao certo qual o problema a ser resolvido e dentre estas técnicas estão compostas algumas ferramentas básicas do controle estatístico: 5W's e 2H's, Estratificação, Folha de Verificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Histograma, Diagrama de Dispersão e Gráfico de Controle:

Project Charter é o formulário ou documento que define entre a equipe do projeto o escopo, metas, descrição do problema, os objetivos principais e demais necessidades para que sejam formalizadas e documentadas as informações (OLIVEIRA, 2012, p. 3), conforme demonstrado no modelo da figura 6.

PROJETO: REDUÇÃO DAS FALHAS DE PENSAGEM									
Data: 06/01/2015					Revisão: 10/02/15				
Impacto nos Negócios					Declaração de Oportunidades				
Atualmente o problema de falhas no processo de prensagem representa R\$ 500.000,00/ano além de impactar 20% o total das despesas da empresa, e gerar muitas reclamações de clientes. Isto impacta negativamente no lucro operacional da empresa					Redução dos defeitos apresentados na operação de prensagem Eliminar reclamações de clientes				
Declaração de Objetivos e Metas					Escopo do Projeto				
Reduzir as falhas do processo de prensagem na linha 10 em 80%. Eliminação dos problemas de qualidade no cliente devido a problemas de prensagem					O projeto irá focar a eliminação das causas de defeitos de prensagem da Linha 10				
Cronograma					Seleção do Time				
Atividades	1º Mês	2º Mês	3º Mês	4º Mês	5º Mês	Nome	Área	Nome	Área
Formação de Equipe						João Gabriel	Eng. Processos		
Finalizar Team Charter						Maurício Dantas	Compras		
Coletar Dados						Francisco Assis	Manufatura		
Analisar Dados						Emília Santiago	Manufatura		
Validar Causa e Soluções									
Implementar Melhorias									
Controlar Resultados									
Relatar Resultados									

144

Figura 6: Modelo Project Charter.

Fonte: Pincerato (2018)

Diagrama SIPOC é formado por cinco etapas: *supplier* (fornecedor), *input* (entrada), *process* (processo), *output* (saída), *customer* (cliente) e tem por objetivo descrever graficamente o principal processo, facilitando a visualização sistêmica de todas as áreas envolvidas (TEIXEIRA, 2013, p. 3).

Além disso, a declaração de propósito para o processo; a definição do responsável; a definição do início e o fim são elementos que agregam mais informações para facilitar o entendimento do projeto, de acordo com a figura 7.

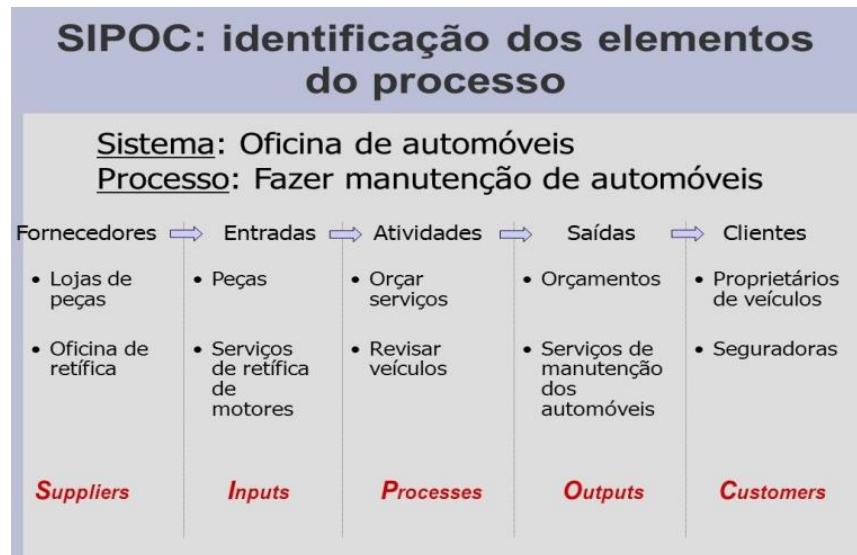


Figura 7: Modelo SIPOC
Fonte: Pincerato (2018) Adaptado pela pesquisadora.

Estratificação: tem-se a intenção de realizar a separação de grupos em subgrupos específicos, a fim de possibilitar a análise por segmentos menores, até que se encontre a raiz dos problemas apresentados por Carpinetti (2012, p. 77), de acordo com a figura 8.

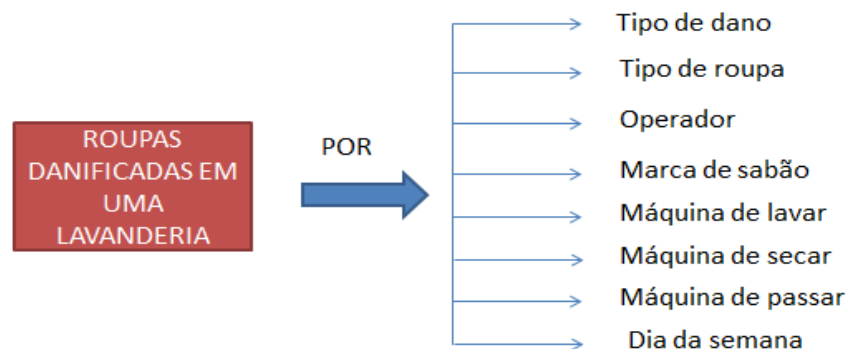


Figura 8: Modelo Estratificação.

Fonte: Wekerma (2012). Adaptado pela pesquisadora.

5W's e 2H's: A figura 9 representa o modelo, que se compõe da utilização de perguntas elaboradas em língua inglesa, tendo como objetivo gerar respostas que esclareçam o problema a ser resolvido e que organizem as ideias e resolução de problemas. A

utilização de tal ferramenta permite que um processo em execução seja dividido em etapas, com o intuito de serem encontradas as falhas que impedem o término do processo.

Medida WHAT	Responsável WHO	Prazo WHEN	Local WHERE	Razão WHY	Procedimento HOW	Custo HOW MUCH
1-						
2-						

Figura 9: Modelo 5W's e 2H's.
Fonte: Wekerma (2012). Adaptado pela pesquisadora.

Folha de Verificação: são documentos utilizados para registrar anotações já direcionadas aos problemas a serem resolvidos, destinam-se ao acompanhamento produtivo, equipamentos utilizados e com que frequência ocorrem as não-conformidades. Os principais objetivos da folha de verificação são: facilitar a coleta de dados, organizarem os dados evitando reorganização após a coleta e padronização. (IGNÁCIO, 2010, p. 178). Com a utilização da folha de verificação pode-se facilitar a dificuldade de encontrar as causas raízes dos defeitos, uma vez que já se sabe aonde se concentram os defeitos, conforme mostrado na figura 10.

Folha de Verificação Para Localização de Bolha	
Nomes do produto: para-brisa modelo <u>xyz</u>	
Material: Vidro	
Data: 04/01/2012	
Observações:	

Figura 10: Modelo Folha de Verificação.
Fonte: Wekerma (2012). Adaptado pela pesquisadora.

Histograma é o gráfico de barras que dispõe de informações com dados que apresentem variação, de maneira ordenada e redigidos por certa regra, podendo-se estabelecer as maiores ocorrências e frequências dos problemas. Os gráficos de controle foram

idealizados por Shewhart com finalidade de separar as chamadas assinaláveis, aquelas passíveis de serem identificadas e acompanhadas, aquelas cuja ocorrência pode ser prevista (FABRIS, 2014, p. 29). A análise pode ser quantitativa com interesse de determinar a variação dos desvios que ocorrem no processo e as características de qualidade que não são medidas, representada no modelo da figura 11.

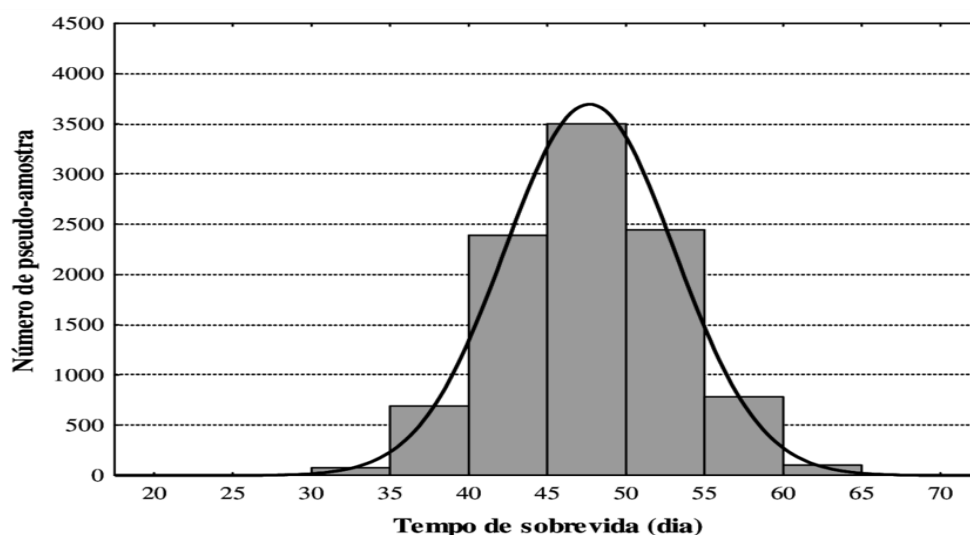


Figura 11: Modelo de Histograma.
Fonte: Wekerma (2012). Adaptado pela pesquisadora.

Diagrama de Pareto é uma ferramenta desenvolvida por Joseph Juran a partir de análises e estudos realizados pelo economista italiano Vilfredo Pareto e pelo americano Max Otto Lorenz, em que se estabeleceu uma classificação dos problemas de qualidade, dividindo-os em pouco vitais e muito triviais, ou seja, a maior quantidade dos defeitos se refere a poucas causas. Podem-se obter resultados por causas, cujo objetivo é identificar a maior causa do problema; e por efeito, identificando-se o maior problema a partir de efeitos indesejados apresentados no processo, conforme representado na figura 12.

Resumidamente, no Diagrama de Pareto, 20% das principais causas, vitais e difíceis de serem apontadas, são responsáveis por 80% dos problemas presentes em um processo. Portanto, encontrar estes 20% da causa pode ajudar a solucionar 80% dos problemas. O foco principal não deve ser estabelecido nas causas mais triviais e rotineiras- 80% das causas- pois se resolve somente 20% dos resultados. A figura 12 do diagrama mostra claramente a importância, inversamente proporcional, da porcentagem acumulada para cada fonte de problemas em um determinado processo. Dessa forma, a frequência de causas é maior no processo de fabricação e menor em instalações e outros, porém, uma

maior atenção deve ser voltada para as causas devido às instalações e outros e não no processo de fabricação (FABRIS, 2014, p. 26).

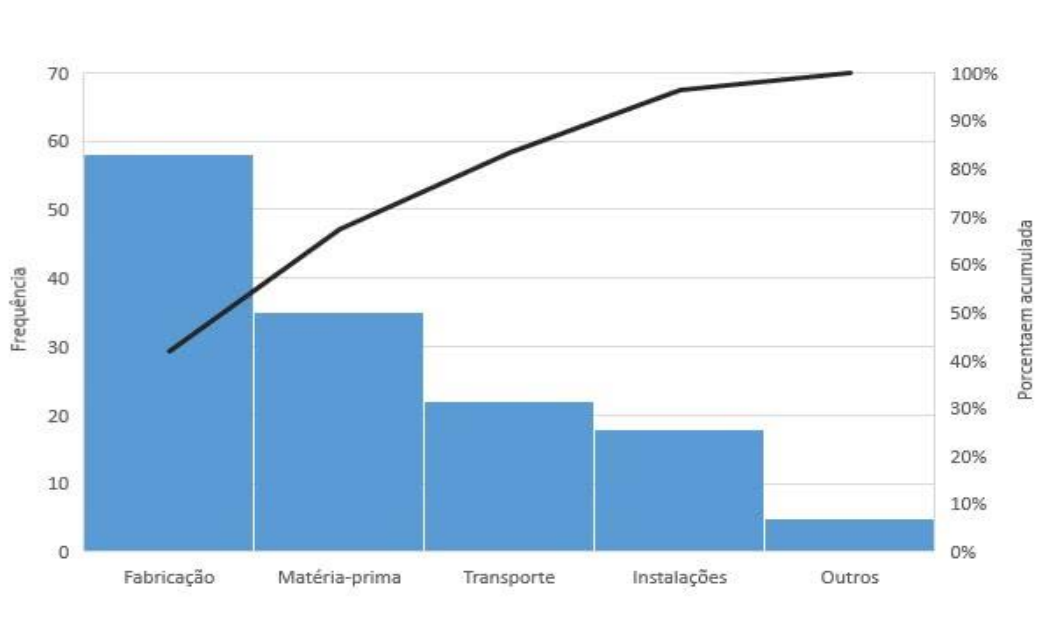


Figura 12: Diagrama de Pareto.
Fonte: Wekerma (2012). Adaptado pela pesquisadora.

Diagrama de Causa e Efeito: é uma representação gráfica de acordo com Ishikawa que permite estabelecer após uma análise criteriosa quais são as causas que fazem com que o efeito ocorra, podem ser ajustadas as necessidades da organização representada pelos 6 M's: materiais, máquina, método, meio ambiente, mão-de-obra e medida, segue abaixo modelo da figura 13.

Este diagrama é conhecido como espinha de peixe pelo seu formato (Figura 13) em que o efeito ou problema se encontra na extremidade direita do diagrama (cabeça de peixe), e nas espinhas são localizadas as principais causas daquele problema. Cada causa é separada por famílias (6 M's), a espinha dorsal é a geradora e sustentadora de todo o problema em foco (FABRIS, 2014, p. 27). Esta ferramenta é muito eficaz durante os processos de *brainstormings* em uma instituição, direcionados para análise e resolução de todos os efeitos ou problemas identificados (CARVALHO, 2012).

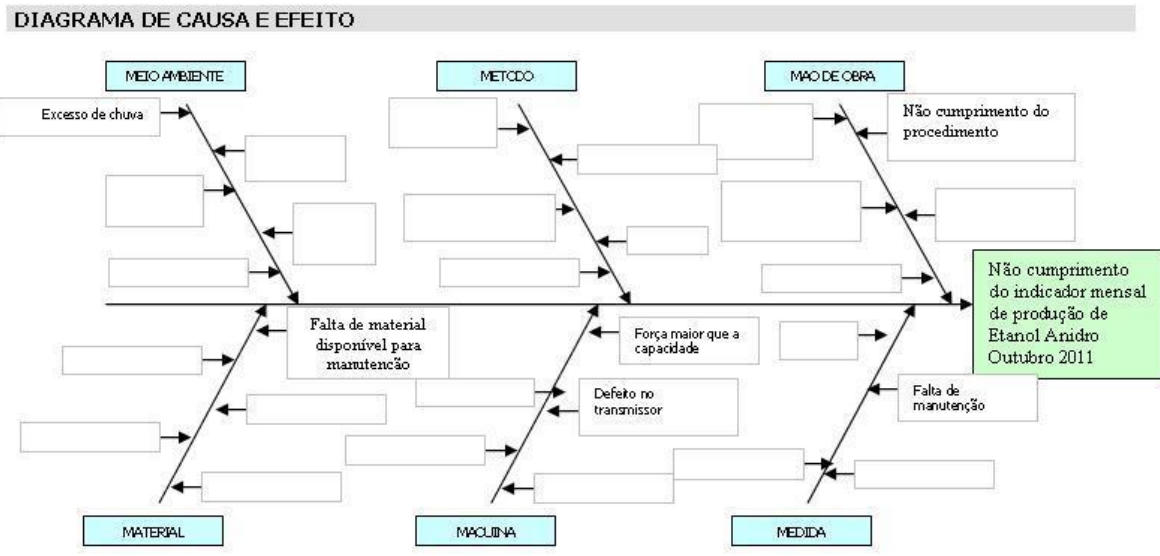


Figura 13: Diagrama de Causa e Efeito.
Fonte: Wekerma (2012). Adaptado pela pesquisadora

Diagrama de Dispersão: é uma ferramenta que possibilita o estudo dos parâmetros de variação definindo o padrão de qualidade, identificando se existe uma tendência de variação conjunta entre dois fatores que afetam a qualidade, ou duas características que se relacionam, facilitando a identificação dos possíveis problemas e para o planejamento de ações (CARVALHO, 2012). Entre as etapas de construção do gráfico de dispersão estão a coleta de pelo menos 30 pares de observação para problema relacionado; o registro desses dados em uma tabela, observando os valores máximos e mínimos; o registro do título e período da coleta, conforme ilustrado na figura 14.

O Diagrama de dispersão é uma ferramenta essencial para demonstrar a relação entre duas variáveis bem definidas, é muito útil na comparação entre estas e como se comportam em determinado processo. Neste tipo de gráfico é possível visualizar a variável causa e a variável efeito, demonstradas nos eixos x e y, respectivamente. Geralmente vemos padrões ou relações em diagramas de dispersão. Deste modo quando a variável yy tende a aumentar enquanto a variável xx aumenta, dizemos que existe uma correlação positiva entre as variáveis, ou a variável yy tende a diminuir enquanto a variável xx aumenta, dizemos que existe uma correlação negativa entre as variáveis e também quando não existe uma relação clara entre as duas variáveis, dizemos que não há correlação entre as duas variáveis. (FABRIS, 2014, p. 30).

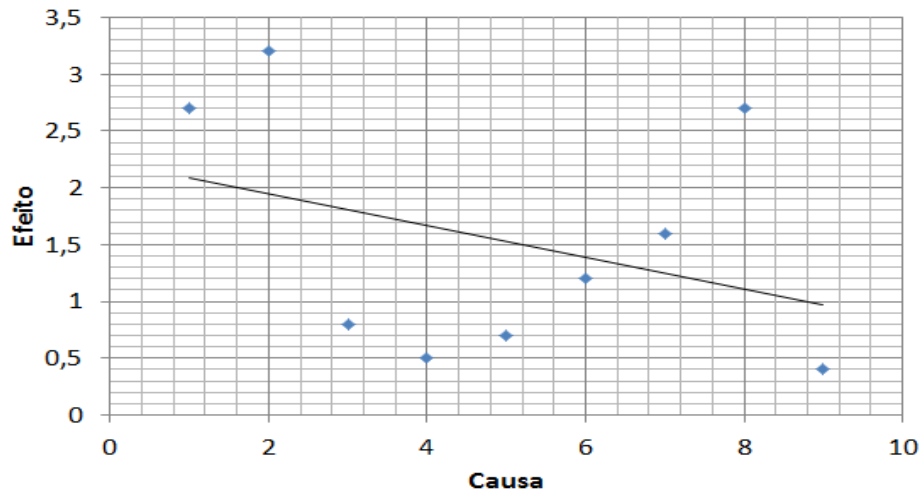


Figura 14: Diagrama de Dispersão.
Fonte: Wekerma (2012). Adaptado pela autora.

Além disso, essa relação entre estas variáveis pode ser positiva ou negativa. Positiva quando o aumento de uma variável resulta no aumento da outra, negativa quando o aumento de uma variável acarreta na diminuição da outra e inexistente quando nenhuma das variáveis possuem correlação entre si (CARPINETTI *et al.*, 2012).

Mantendo o Processo Controlado

De acordo com Rondotaro (2014), manter algo sob controle significa observar, medir, avaliar, analisar, decidir e propor correções para assegurar a estabilidade do processo. Sendo assim, qualquer processo apresenta variabilidade, podendo ser de causa comum, em que a variação afeta todos os valores individuais do processo ou especial que gera variações imprevisíveis no comportamento do processo.

Segundo Donadel (2008, p.14) para distinguir as variações do processo a ferramenta mais utilizada no controle estatístico de processo são Cartas ou Gráficos de Controle. As funções destes gráficos são:

1. 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.
2. “Manter o estado de controle estatístico estendendo a função dos limites de controle como base de decisões.
3. Apresentar informações para que sejam tomadas ações gerenciais de melhoria dos processos.

Quanto a isso Rondotaro (2014) explica que existem dois tipos de gráficos de controle: variáveis que possuem características cujo valor é o resultado de dados como peso, tempo, valor, comprimento; ou por atributos tendo como dados números defeituosos, números de erros, etc.

A figura 15 a seguir apresenta as etapas necessárias para a aplicação de CEP a um processo. Na etapa de “Amostragem”, definem-se: as características de qualidade e estatística a serem analisadas; métodos de medida e amostragem; estratégias para determinar subgrupos de dados, incluindo tamanho e frequência do subgrupo e critérios para sinalizar uma causa especial. (MAESTRELLI, 2014).



Figura 15: Etapas de Aplicação do CEP.
Fonte: Maestrelli, (2014)

De acordo com Oliveira (2010) o gráfico de controle é um diagrama que apresenta um limite superior denominado LSC (limite superior de controle), um limite inferior denominado LIC (limite inferior de controle), e uma linha de centro denominada LM (linha média). Os gráficos de controle fornecem uma forma para uma simples tomada de decisão em que podem ser identificados os pontos dispostos fora dos limites de controle, os quais indicam que o processo está “fora de controle” ou se todos os pontos dispostos estão dentro dos limites, avaliamos que “não existem evidências de que o processo esteja fora de controle”.

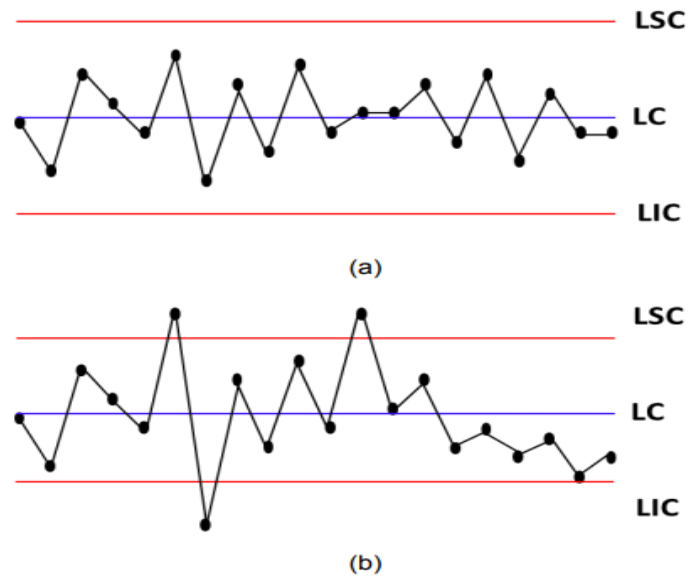


Figura 16: Exemplos de Cartas de Controle: a) Sob controle; b) Fora do controle.
Fonte: Oliveira (2010)

Gráfico para as médias:

Limite Superior de Controle: $LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R}$

Linha Central: $LC = \bar{\bar{X}}$

Limite Inferior de Controle: $LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R}$

Gráfico para as amplitudes:

Limite Superior de controle: $LSC = D_4 * \bar{R}$

Linha Central: $LC = \bar{R}$

Gráfico da Média e Desvio Padrão

Limite Superior de Controle: $LSC = \bar{\bar{X}} + A_{3*S}$

Linha Central: $\bar{\bar{X}}$

Limite Inferior de Controle: $LSC = \bar{\bar{X}} - A_{3*S}$

Onde:

Média das médias: $\bar{\bar{X}}$

Média das amplitudes: \bar{R}

Tamanho da amostra: n

Tabela de fatores para cálculos de limite de controle: A_2 ; A_3

Para Silveira (2016), o mapeamento de processos possibilita a visualização sistêmica e melhor compreensão das atividades executadas pela organização, sendo uma estrutura básica para a análise. Para a implantação desta ferramenta, é importante executar três etapas iniciais:

1. Definir cada processo e seus respectivos clientes identificando as entradas e saídas do fluxo de trabalho;
2. Realizar entrevistas com os responsáveis pelas atividades de cada processo organizacional documentando cada etapa;
3. Criar um modelo com base na informação adquirida e realizar a análise deste modelo conforme a lógica adotada na metodologia.

A modelagem de processos com a notação BPMN conta com dados que facilitam a interpretação e a representação de processos. Há sete elementos chave que permitem representar cada processo (Pool, Lane, Atividade, Data Object, Evento, Fluxo e Gateway). É importante salientar que a modelagem de processos em padrão BPMN deve obter como resultado um diagrama facilmente compreensível. A Figura 17 abaixo demonstra os elementos básicos da notação BPMN (SILVEIRA, 2016).

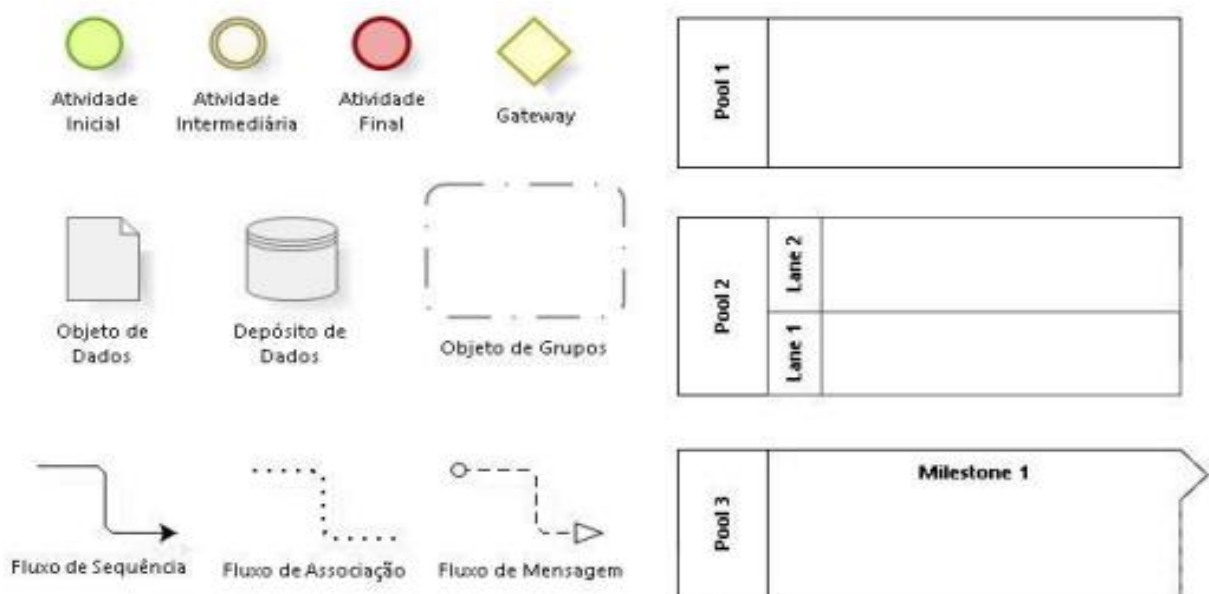


Figura 17: Elementos da Notação BPMN.
Fonte: Silveira (2016).

Segundo Costa (2016), modelar processos significa construir modelos que são importantes durante os vários estágios do ciclo de vida BPM, em que há vários motivos para se modelar os processos como a simplificação e compartilhamento da compreensão com as pessoas que os estão operando diariamente. O BPMN fornece às empresas a compreensão dos procedimentos em uma notação gráfica, dando capacidade de comunicar esses procedimentos de uma forma padrão. Além disso, a notação gráfica facilita o entendimento de todos garantindo um desempenho maior entre os envolvidos.

Processo de tratamento do caldo da cana-de-açúcar

Neste capítulo são apresentadas considerações gerais sobre o processo de tratamento do caldo da cana-de-açúcar, principal matéria-prima do açúcar produzido no Brasil. Também estão descritas as operações unitárias do processo de tratamento do caldo da cana-de-açúcar destinado à produção de açúcar branco.

A cana-de-açúcar teve como origem a região leste da Indonésia e Nova Guiné e ao longo de muitos séculos, e se disseminou para outros locais como as ilhas do sul do Oceano Pacífico, Indochina, Arquipélago da Malásia e Bengala. Os Persas foram os primeiros a desenvolver técnicas de produção do açúcar, logo avançando o conhecimento entre os países asiáticos e africanos. No Brasil, o plantio da cana-de-açúcar teve início em São Paulo, especificamente no ano de 1522 se tornando o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. (HAMERSKI, 2009).

O propósito do processo de tratamento do caldo ou clarificação representa a remoção de impurezas do caldo da cana o mais rápido possível no processo de fabricação do açúcar, pois o caldo contém quantidades consideráveis de impurezas coloidais e de materiais finos em suspensão.

O tratamento do caldo de cana-de-açúcar para a produção de açúcar branco consiste na adição de dióxido de enxofre gasoso (SO₂) ao caldo misto, até atingir o pH entre 3,8 e 4,2 e posterior alcalinização com leite de cal até pH 7,0-7,2. A neutralização do caldo sulfitado conduz à formação do precipitado pouco solúvel, sulfito de cálcio, o qual atua na adsorção dos compostos coloridos e outras impurezas. Em seguida, o caldo é aquecido

acima de 105°C e enviado aos decantadores para remoção dos compostos precipitados, contribuindo através da adição de polímeros (HAMERSKI, 2011).

Segundo Mezaroba (2005), existem cinco métodos utilizados no processo de clarificação do caldo de cana. Eles são os seguintes:

1. Caleação ou calagem (uso de cal virgem (CaO)): o objetivo da caleação é obter a reação com o sulfito e com o ácido fosfórico (H₃PO₄), formando sulfito e fosfato de cálcio. Após a adição de leite de cal, a mistura é aquecida a 65 graus Celsius através do vapor e as impurezas contidas no caldo formam uma borra que é separada do caldo através de decantadores que fazem a separação pelas diferenças de densidades. O pH do caldo atinge a faixa de 7,2 a 7,8;
2. Sulfitação (uso de anidrido sulfuroso (SO₂)): auxilia na redução do pH, diminuição da viscosidade do caldo, formação de complexos com açúcares redutores, preservação do caldo contra alguns microrganismos e prevenção do amarelamento do açúcar (cristal branco) por algum tempo durante o armazenamento.
3. Fosfatação (uso de ácido fosfórico (H₃PO₄)): a fosfatação auxilia na remoção de materiais corantes e parte dos colóides do caldo;
4. Carbonatação (uso de anidrido carbônico (CO₂)): é um método usado na produção de açúcar de beterraba e muito pouco citado para açúcar de cana. Nesse processo há precipitação de carbonato de cálcio, que englobará as matérias primas corantes e as gomas, tornando um complemento da clarificação;
5. Uso de óxido de magnésio: estes agentes químicos sob efeito da temperatura provocam a formação de precipitados que promovem a remoção das impurezas sem afetar o teor de sacarose. As consequências do emprego do caldo tratado de forma deficiente são os problemas de incrustação na etapa de evaporação e formação de cristais de sacarose impuros. É necessário submeter à borra a uma filtragem adicional e para isso são empregados filtros prensa ou filtros rotativos. O pH do caldo varia de 5 a 6. A acidez aumenta nas canas queimadas, doentes, praguejadas, cortadas a mais de 24 horas, verdes e passadas.

O controle da clarificação envolve primeiramente o controle do pH do caldo, que é afetado pela vazão de caldo, de cal e pela temperatura do mesmo. É o tipo de controle básico utilizado para atendimento dos parâmetros de qualidade do caldo. A condução do controle mais utilizado universalmente é através de uma malha de controle na qual a adição da vazão de leite de cal é controlada baseada no pH do caldo, e sinais do sensor

do eletrodo são empregados para aumentar ou diminuir o fluxo de leite de cal através de bombeamento ou válvulas (REIN, 2013).

METODOLOGIA

A pesquisa será realizada em uma indústria de produção de açúcar localizada na região sul de Goiás. As variáveis a serem analisadas serão os resultados de análises laboratoriais do processo de tratamento do caldo. O presente trabalho classifica-se quanto aos meios como Estudo de Caso, pois a obtenção de dados se fará com o uso de documentação indireta e direta *in loco*. Quanto à abordagem classifica-se como quantitativa, uma vez que utilizará técnicas estatísticas para analisar informações coletadas em um banco de dados. Quanto aos fins, esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois utilizará dados reais para aplicação no sistema fabril (SILVA & MENEZES, 2001).

Instrumentos para a coleta de dados

Para a coleta de dados serão utilizados os resultados das análises laboratoriais através das folhas de verificação, documento que é utilizado para registrar os resultados diários.

Para Santos e colaboradores (2012), a folha de verificação deve abranger um período de coleta específico, além de ser clara e de fácil utilização. Os indivíduos que preencherão as folhas de verificação devem ser devidamente treinados e devem comunicar o preenchimento. Dessa forma, uma folha de verificação preenchida adequadamente pode ajudar na identificação e solução de problemas em processos.

O estudo será realizado com os resultados das análises de pH do caldo dosado, pH caldo sulfitado, sulfito adicionado ao caldo, temperatura do caldo, transmitância do caldo, num recorte cronológico de abril a junho de 2018. Será avaliada a variabilidade dos dados, onde as análises serão realizadas a cada duas horas, durante todas as etapas dos processos de tratamento do caldo.

Procedimentos para o estudo

Seguindo a metodologia DMAIC, cuja primeira etapa *Define* (Definir) consiste na identificação do problema, primeiramente será feita a definição do esboço do projeto, assim como a descrição do problema ou oportunidade, os indicadores das metas a atingir.

O modelo *Project Charter* e o Fluxograma do Processo serão utilizados na ilustração, mostrando os principais processos envolvidos e facilitando assim a visualização do escopo, no intuito de facilitar a análise das possíveis consequências de quaisquer alterações que este possa sofrer na tentativa de reduzir a variabilidade. Para obtenção do mapeamento do processo de tratamento do caldo de cana será utilizado o software Bizagi Modeler (v. 3.2.4.242).

A etapa posterior, *Measure*, serve para medir os dados do problema e organizá-los. Nesta fase será feita a quantificação das métricas identificadas na fase anterior. Os dados serão tabelados, cada um dos parâmetros de controle (pH do caldo dosado, pH do caldo sulfitado, sulfito adicionado ao caldo, temperatura do caldo e transmitância do caldo) terão sua média diária calculada ao longo do período avaliado e, posteriormente serão plotados gráficos de dispersão para cada parâmetro, com o intuito de visualizar, de maneira mais eficiente, o comportamento dos dados.

Os dados coletados no mês de abril a junho de 2018, descritos como resultados das análises laboratoriais de pH do caldo dosado, pH do caldo sulfitado, sulfito no caldo, temperatura do caldo e transmitância do caldo serão obtidos com uma frequência de coleta de duas em duas horas, todos os dias de processo. Após a coleta dos dados, estes serão avaliados através de histogramas, calculando o índice de capacidade e quantificando o nível sigma do processo, o qual tem como base o valor de DPMO.

Em seguida *Analyse* (Analisar), para avaliar os dados e o processo e descobrir as causas dos problemas, são utilizadas as ferramentas de controle estatístico do processo: gráficos de controle por variáveis da amplitude para monitorar a dispersão do processo e gráfico de controle da média para monitorar o nível do processo. Será utilizado o Diagrama de Ishikawa para a representação das principais causas raízes da variabilidade, bem como o nível sigma de cada item de controle e a capacidade do processo: C_p e C_{pk} , com o auxílio do Software Minitab (v. 18).

Após analisar os dados na etapa *Improve* (Melhorar), considerar as causas levantadas e propor um plano de soluções para minimizar ou eliminar os problemas, será apresentado um modelo de Matriz de Priorização, priorizando as principais soluções para o problema. Por fim, na fase *Control* (Controlar) será proposto um modelo de um Procedimento Padrão e de Relatório de Anomalias ou *Check List* para acompanhamento no dia-a-dia e eliminação de desvios das condições normais das operações no processo produtivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Etapa 1 – Definir (Define)

Para a primeira etapa, de definição do projeto (*define*) dentro do método DMAIC, foram utilizadas as ferramentas: *Project Charter* e o Fluxograma do Processo. O *Project Charter* elaborado (Quadro 1), apresenta o escopo, metas do projeto, o problema central observado dentro do processo e os resultados esperados após avaliação dos dados definidos acerca do processo de tratamento do caldo de cana-de-açúcar direcionado para produção de açúcar.

Tabela 1: Project Charter do Processo de tratamento do caldo para produção de açúcar.

Elementos	Descrição
Estado da arte	O tratamento do caldo de cana para a produção do açúcar tem como objetivo remover impurezas em suspensão o mais rápido possível. A clarificação do caldo é um importante indicador da qualidade do tratamento e está diretamente relacionada à cor do caldo. A medida da eficiência do processo de clarificação do caldo é feita pela transmitância, que é a capacidade do caldo em permitir a passagem da luz. Dessa forma, quanto maior a transmitância, mais translúcido será o caldo e maior será sua aceitação comercial no mercado.

Problema central	Produção de açúcar fora da classificação de qualidade, variabilidade nos parâmetros de controle de qualidade do processo de tratamento e clarificação do caldo de cana.
Escopo do Projeto	Uso do método 6Sigma (DMAIC) para verificar parâmetros com variabilidade que afetam o controle de qualidade do processo de tratamento do caldo para produção de açúcar.
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Detectar a principal causa que afeta a qualidade do tratamento do caldo, usando a ferramenta DMAIC; ➤ Propor soluções práticas para a problemática.

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2018).

Para descrever e contribuir para uma melhor visualização e entendimento do processo de tratamento do caldo de cana para produção de açúcar, o presente trabalho conta com o mapeamento de todo o processo restrito ao tratamento do caldo de cana-de-açúcar, através de um fluxograma de processo (Figura 18), construído pela ferramenta Bizagi Modeler. Neste fluxograma, o processo de clarificação do caldo recém obtido para retirada de impurezas solúveis e insolúveis é iniciado. Antes disso, há a medição do pH do caldo, uma vez que tal parâmetro é essencial para o controle do processo e qualidade da matéria-prima (SILVA et al., 2009).

A primeira etapa do tratamento químico utiliza o processo de sulfitação, para inibir reações que resultem na formação de cor, na coagulação de coloides solúveis e também, ajuda na diminuição da viscosidade do caldo. Neste processo, o pH é controlado, seguindo especificações prévias (pH 3,8-4,2), e é medido através de sensores (LIMA, 2012).

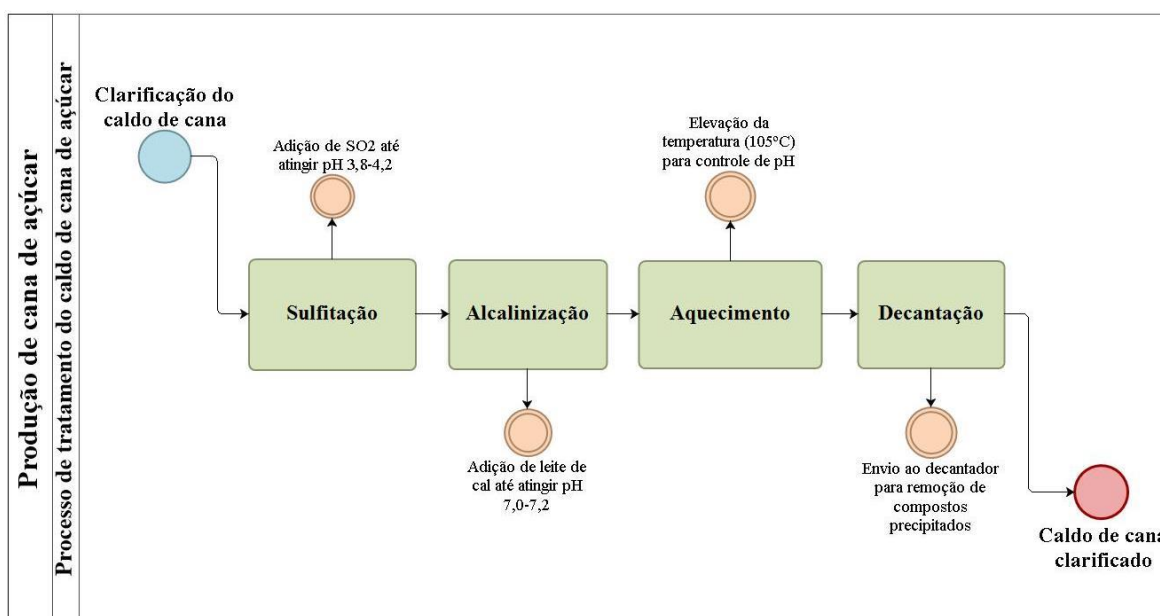
Além disso, a quantidade de SO₂ adicionado ao caldo também é controlada e deve respeitar especificações. É importante salientar que o uso do sulfito se deve ao fato de o mesmo ser um agente antioxidante e redutor, contribuindo com a eliminação de materiais corantes presentes naturalmente no caldo (PRATI & CAMARGO, 2008).

Entretanto, o uso de sulfitos pode ocasionar danos tanto para a saúde humana quanto às embalagens do produto. Caso estas sejam compostas por metais ou sejam recipientes de vidro com tampa metálica o sulfito pode oxidá-las. Na saúde humana, o açúcar que contém SO₂ pode desencadear reações alérgicas, além de náuseas, irritação gástrica e danos respiratórios em indivíduos asmáticos (ARAÚJO, 2007).

A etapa seguinte é a alcalinização ou calagem, que conta com a adição de leite de cal, para neutralizar o caldo e também eliminar corantes. O pH após a adição do leite de cal

desta etapa deve se encontrar dentro de especificações prévias (pH 7,0-7,2), garantindo a adsorção de impurezas (LIMA, 2012).

O caldo devidamente alcalinizado é então submetido à etapa de aquecimento. De acordo com Silva e colaboradores (2008), o processo de aquecimento do caldo a 105°C é capaz de reduzir sua densidade, viscosidade e fornece energia para acelerar a velocidade das reações envolvidas no processo, auxiliando na floculação de impurezas e, conseqüentemente, resultando na decantação das mesmas. Nesta etapa, a temperatura deve ser observada e devidamente controlada.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 18: Fluxograma do processo de tratamento do caldo de cana-de-açúcar.

Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2018).

Dessa forma, procede-se com a etapa de decantação, em que o caldo é distribuído em decantadores, nos quais as impurezas floculadas são precipitadas, separando assim, o caldo clarificado dos compostos indesejados (ARAÚJO, 2007). Finalmente, o caldo clarificado tem sua transmitância medida para avaliar a eficiência do processo de clarificação.

Etapa 2 – Medir (Measure)

Na etapa seguinte à definição do problema, temos a etapa de medição (*measure*) dentro do método DMAIC, com o objetivo de organizar os dados da problemática acerca do processo e quantificar as métricas obtidas.

Dessa maneira, após a obtenção dos dados resultantes das análises laboratoriais através das folhas de verificação, os mesmos foram tabelados e analisados quanto à média de cada parâmetro (pH do caldo, quantidade de sulfito adicionado, pH do caldo sulfitado, temperatura do caldo e transmitância do caldo). Os dados das médias dos parâmetros encontram-se na Tabela 1 a seguir.

Tabela 2: Média das variáveis das análises laboratoriais do processo de tratamento do caldo.

Dias	Média pH	Média pH sulfitado	Média Sulfito no caldo	Média Transmitância no caldo	Média Temperatura
1	7,59	4,39	536,97	2,49	108,17
2	7,68	4,842	509,44	16,002	109,8333333
3	7,38	4,556666667	501,48	15,258	107,5
4	8,633333333	4,106	598,3266667	32,19	107,3333333
5	7,295	4,43	557,2	26,34333333	110,5
6	6,5925	4,3925	543,27	19,786	109,6666667
7	7,4	4,248333333	549,24	28,63	109,8333333
8	6,82	4,346666667	553,22	32,49166667	107,8333333
9	7,675	4,195	509,44	31,74333333	109,3333333
10	7,708	4,093333333	521,38	40,08333333	107,5
11	8,078	4,041666667	550,5666667	29,49	108,6666667
12	7,735	4,456666667	486,8866667	32,02666667	110,1666667
13	7,6	4,216666667	490,8666667	32,58833333	109,1666667
14	8,466666667	4,406	497,2233333	31,866	109
15	7,485	4,295	488,2133333	28,18666667	108,5
16	7,324	4,221666667	508,1133333	41,785	109
17	7,2575	4,218333333	508,1133333	35,83333333	107,3333333
18	7,49	4,201666667	492,1933333	37,55666667	107,6666667
19	7,3	4,343333333	444,4333333	38,74666667	110,1666667
20	7,575	4,566666667	448,4133333	34,305	110,3333333
21	7,755	4,763333333	400,6533333	28,37833333	107,1666667
22	7,336	4,368333333	522,3083333	35,86166667	108
23	7,3325	4,634	383,672	31,154	110,8333333
24	7,08	4,65	481,58	26	109,6666667
25	7,345	4,643333333	380,7533333	29,44	108,5
26	7,465	4,425	481,58	18,41	107,1666667
27	3,933333333	4,51	449,74	34,38333333	109,1666667
28	7,13	4,3	448,4133333	35,21666667	111,3333333
29	0,633333333	4,338333333	423,2066667	33,61166667	108,3333333
30	7,2875	4,516666667	455,0466667	34,51333333	109
31	7,62	4,528333333	451,0666667	33,45166667	108,8333333
32	3,566666667	4,8625	399,99	31,2075	109,8333333

33	,353333333	4,528333333	375,4466667	32,73166667	108
34	6,96	4,443333333	443,1066667	31,32	108,3333333
35	7,15	4,66	343,6066667	28,24166667	108,1666667
36	,686666667	4,518333333	391,3666667	27,415	107,6666667
37	,056666667	4,556666667	338,3	28,185	108,1666667
38	6,78	4,675	335,6466667	31,69166667	109,5
39	,686666667	4,793333333	325,0333333	25,41333333	106,6666667
40	,253333333	4,555	344,9333333	30,75833333	110
41	,083333333	4,755	347,5866667	36,00833333	109,5
42	,406666667	5,04	275,9466667	26,705	106,6666667
43	,823333333	5,228333333	226,86	24,63666667	110
44	7,2	4,851666667	322,38	30,66	110
45	,726666667	5,033333333	302,48	30,425	110,8333333
46	7,5825	4,581666667	386,06	30,72833333	108
47	,506666667	4,523333333	340,9533333	30,11666667	111,5
48	7,42	4,573333333	388,7133333	33,60333333	110,1666667
49	7	4,975	238,8	36,02666667	108,5
50	7,3	5,103333333	256,0466667	33,48666667	109,1666667
51	7,15	4,905	362,18	25,55666667	109,5
52	7,2575	4,565	451,0666667	31,48	106,8333333
53	7,41	5,028333333	294,52	31,27166667	110,3333333
54	,943333333	4,71	291,8666667	27,73833333	111

Fonte: Formulário de verificação da empresa

A coleta de dados evidenciou que existem falhas no preenchimento das folhas de verificação, como a falta de padronização das mesmas, devendo, dessa maneira, buscar as causas destas falhas e sua imediata correção. De acordo com Maiczuk e Andrade Júnior (2013), a coleta de dados realizada com a folha de verificação torna esta etapa mais rápida e automática, e esta ferramenta deve permitir que qualquer indivíduo seja capaz de registrar os dados corretamente. Para que isso ocorra, os dados devem ser coletados da forma mais homogênea possível durante o período de coleta, minimizando erros provenientes desta etapa inicial.

Assim, é possível observar, através de gráficos de dispersão, como cada um dos pontos dos parâmetros se comportam durante o período de avaliação.

Para o pH do caldo dosado (Figura 19), a média varia de 6,6 até 8,1, valor considerado acima da faixa de pH ideal para o caldo natural antes do processo de tratamento químico. Os valores normais de pH encontrados na literatura estão entre 5,2 e 5,5 no caldo bruto; este valor se deve à presença de ácidos nitrogenados e aminoácidos, conferindo ao caldo uma maior capacidade tamponante (quando os ácidos e aminoácidos são inibidos da amostra) (FERREIRA, 2012; ARAÚJO, 2005).

O óxido de cálcio usado na clarificação do caldo de cana imaturo, exerce uma ação fundamental que atua diretamente no amido, enzimas, proteínas e ceras que estão dissolvidos no caldo, que resulta na sua coagulação e precipitação deixando o caldo clarificado. Quando o pH do caldo dosado se encontra acima de 7,4 pode ocorrer a

eliminação dos açúcares redutores, aparecimento de cor no caldo e, conseqüentemente, perda da eficiência industrial (FERREIRA, 2012). Dessa maneira, as especificações para o pH do caldo dosado na indústria aqui analisada podem ser mais bem estudadas e otimizadas, baseadas em estudos prévios disponíveis e até mesmo um estudo *in loco* realizado pela própria indústria e seus interessados.

A seguir apresenta-se o gráfico de dispersão dos resultados da análise de pH do caldo dosado.

Após o caldo dosado ser avaliado quanto ao seu pH, inicia-se então o processo de clarificação do mesmo, no qual a primeira etapa é a sulfitação, com adição de SO₂ ao caldo; etapa útil na redução de compostos que dão cor ao caldo, como a clorofila, compostos fenólicos e flavonoides presentes na planta da cana-de-açúcar e que interferem na aceitação comercial do açúcar final. Dessa maneira, no gráfico de dispersão para o pH do caldo após o processo de Sulfitação (Figura 20) é possível verificar que a média do pH varia entre 4,1 e 5,3 durante o período avaliado.

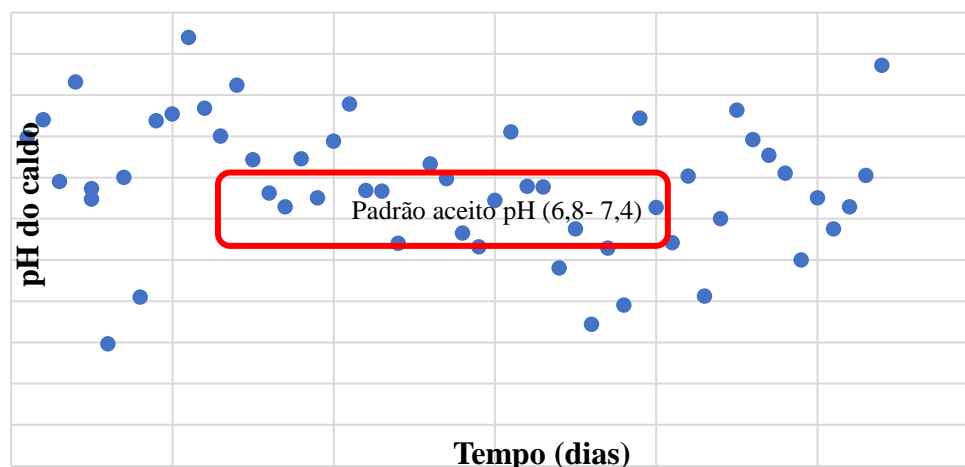


Figura 19: Média do pH do caldo dosado no período de abril-junho de 2018.

Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

A especificação da empresa requer uma faixa de pH entre 3,8-4,2 e em literatura essa faixa varia entre 3,8-4,5 (ARAÚJO, 2005; LIMA, 2012); portanto, os dados se encontram, em grande parte, acima do pH 4,5. Uma maior atenção deve ser voltada para o controle deste importante parâmetro, o qual pode ser afetado pela vazão do caldo, outro parâmetro não avaliado durante a coleta de dados. Além disso, a falta de homogeneidade durante a coleta de dados nos dias que decorreram o período de análises pode ter afetado as médias dos parâmetros.

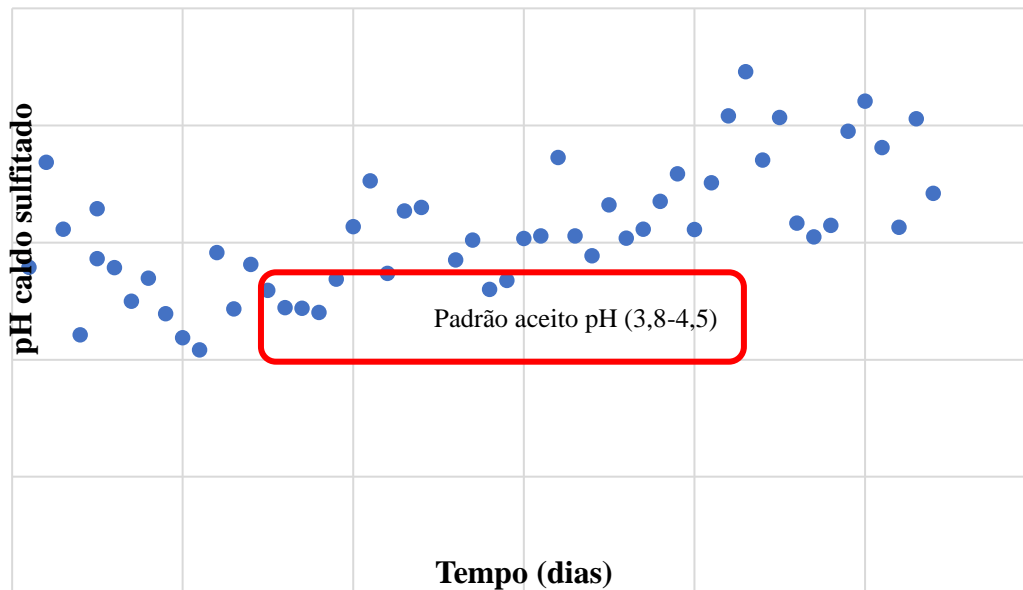


Figura 20: Média do pH do caldo sulfitado no período de abril-junho de 2018.

Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

Adicionalmente, de acordo com estudos, quando o pH do caldo varia entre 3,8-4,2 pode ocorrer a perda de sacarose no meio. Além disso, a solubilização pouco eficiente entre o SO₂ e o caldo de cana pode ocasionar variações no pH do caldo sulfitado e, como consequência, ocorre a inversão da sacarose, gerando moléculas de glicose e frutose, as quais não são favoráveis ao processo de cristalização, foco da indústria de produção de açúcar branco. Além disso, a inversão da sacarose devido à acidez do meio pode ocasionar produtos de baixa qualidade, acúmulo de altas concentrações de SO₂ e dificuldades no armazenamento do produto final (LIMA, 2012).

Outra medida importante é a quantidade de sulfito adicionado ao caldo durante o período avaliado, a qual pode ser observada na Figura 21, com suas respectivas médias. As especificações atribuídas pela empresa foram valores acima de 550 unidades e na literatura os valores se encontram entre 150 e 300 g de enxofre por tonelada de cana-de-açúcar (LIMA, 2012).

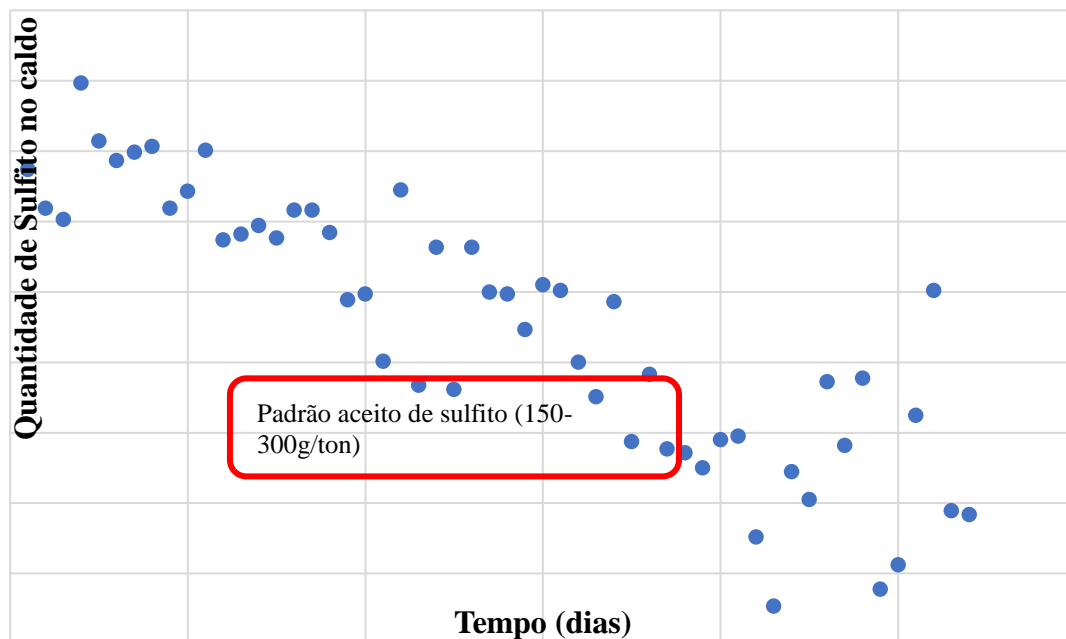


Figura 21: Média de sulfito adicionado ao caldo no período de abril-junho de 2018.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

Ao observar os pontos no gráfico de dispersão é possível verificar a existência de alguns pontos acima da especificação constatada em literatura e muitos pontos abaixo da especificação da própria indústria. Portanto, em qualquer um dos casos, os dados se encontram fora dos parâmetros ideais atribuídos, sendo passíveis de estudos e posterior modificação. Caso a indústria atribuísse as especificações determinadas com 150-300g/ton de cana-de-açúcar e demonstrasse eficiência na qualidade do produto final, seria muito provável uma economia com o insumo SO_2 na cadeia produtiva.

Para avaliar a média da temperatura do caldo, tem-se o gráfico de dispersão (Figura 22), o qual apresenta dados de temperatura que se estendem de 106-112°C. A literatura propõe uma faixa entre 90-105°C (FERREIRA, 2012; LIMA, 2012; ARAÚJO, 2005); temperatura esta que acaba induzindo à precipitação de compostos complexos como proteínas desnaturadas e corantes naturais presente no caldo, o precipitado então adsorve outros compostos suspensos e em seguida, é decantado (LIMA, 2012).

O limite de 105°C é adotado pois em valores acima de 105°C pode ocorrer a emulsificação de ceras que compõem o caldo e, dessa forma, dificultando o processo de separação por decantação (CEBALLOS-SCHIAVONE, 2009).

Além disso, Araújo (2009) ressalta que quanto mais elevada a temperatura utilizada sem necessidade em um processo, maiores serão os custos de tratamento deste caldo, devido à demanda energética.

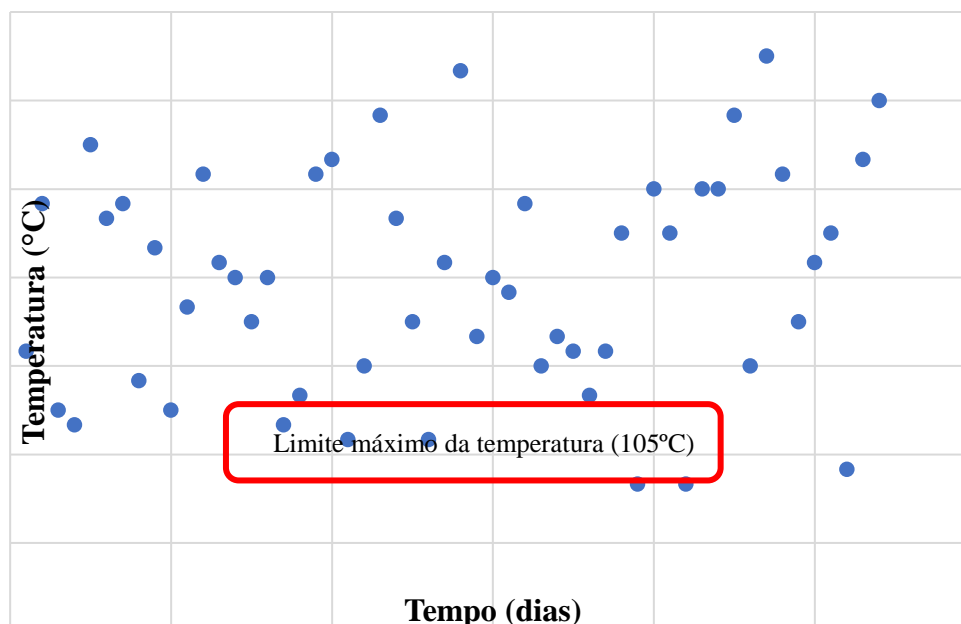


Figura 22: Média da temperatura do caldo no período de abril-junho de 2018.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

Apesar de a elevação da temperatura durante a clarificação ser um dos métodos mais utilizados em todo o mundo, ainda assim os açúcares redutores podem ser destruídos caso este parâmetro não seja devidamente controlado durante o tratamento do caldo (ARAÚJO, 2005).

Dessa forma, os dados encontrados, com a utilização de temperaturas superiores à 106°C necessitam ser reavaliados e a temperatura deve ser otimizada, garantindo melhorias e redução custos no processo de clarificação.

Outro parâmetro também medido no presente processo foi a transmitância, essencial para a avaliação da eficiência de todo o processo de clarificação. A regra é que quanto maior o valor da transmitância mais translúcido será o caldo e mais eficiente será considerado o processo de clarificação (ARMOA *et al.*, 2013). A indústria especificou que valida valores de transmitância acima de 30%. Dessa forma, serão considerados eficientes os valores acima deste valor preestabelecido.

No gráfico de dispersão da média da transmitância do caldo (Figura 23) é possível observar praticamente metade dos pontos acima de 30%, porém, a outra parcela de pontos se encontra abaixo entre 30-15%.

Algumas alternativas estão sendo estudadas e já utilizadas para melhorar a eficiência do processo de clarificação e aumentar a transmitância, entre elas estão a implementação da utilização de filtração tangencial (ARMOA et al., 2013) e métodos de microfiltração (FERREIRA, 2012), os quais garantem um produto final com maior qualidade e menor custo.

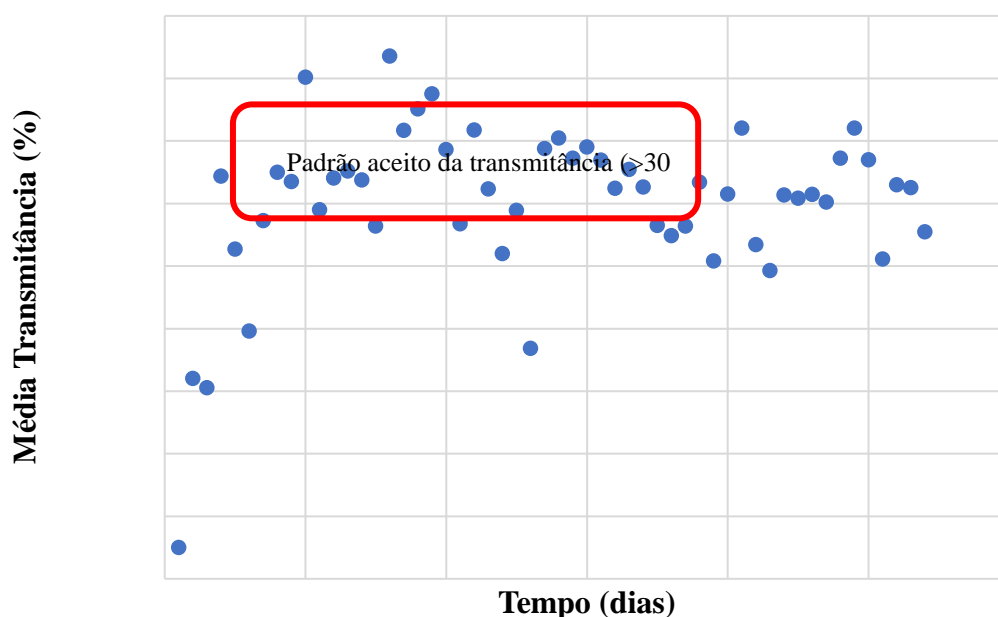


Figura 23: Média da transmitância do caldo no período de abril-junho de 2018.

Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

A turbidez, calculada pela transmitância, deve estar acima de 70% para que se considere o processo de tratamento do caldo adequado e eficiente, definindo que quanto maior a porcentagem, menor a presença de impurezas no caldo (ANDRIOLI et al., 2015). Portanto, o presente estudo possui valores abaixo do estipulado, determinando que o processo não retirou quantidade adequadas de impurezas no caldo e merece atenção em todos os processos anteriores que culminam operações para que este parâmetro indispensável para a qualidade do produto final esteja o quanto mais próximo dos valores de especificação ideal.

Diagrama de Ishikawa – Causa e efeito

Para demonstrar detalhadamente as principais causas raízes das variabilidades encontradas no decorrer do processo de tratamento do caldo de cana, temos representado (Figura 24) o diagrama de Ishikawa. É possível verificar o mapeamento das causas e os efeitos impactados no processo de tratamento do caldo de cana.

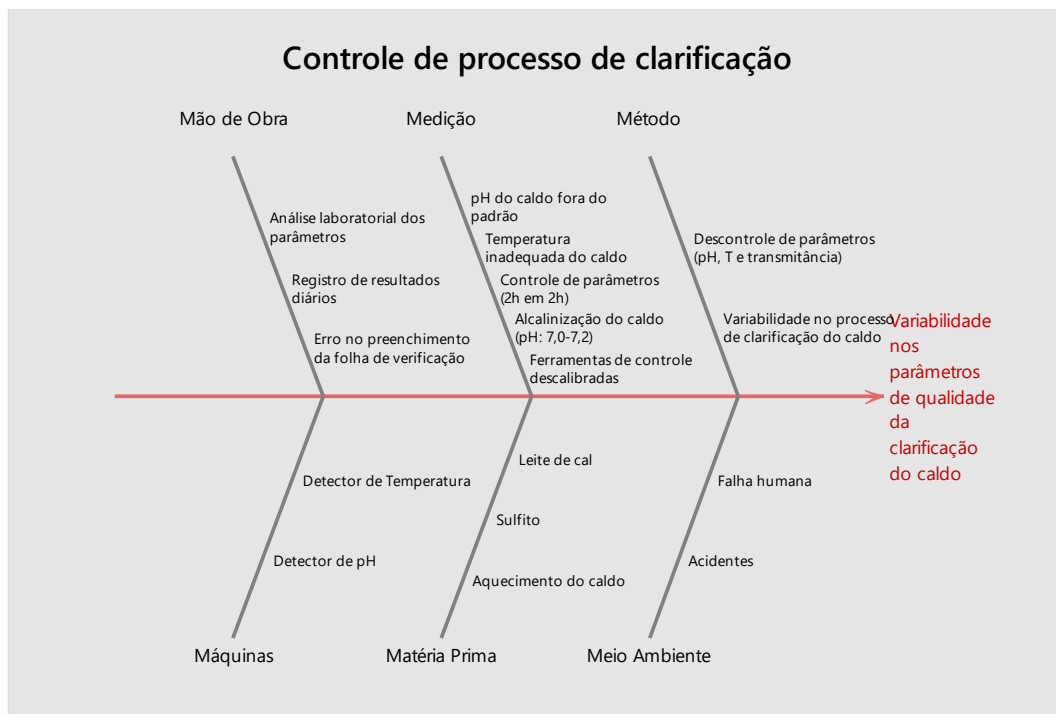


Figura 24: Diagrama de Ishikawa do processo de tratamento do caldo de cana.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

O principal efeito é a variabilidade dos parâmetros de qualidade, e entre os principais estão: pH, temperatura, etapa de Sulfitação e transmitância. Além disso, alguns parâmetros afetam outros, gerando uma reação em cadeia de efeitos indesejados caso ocorra alguma variabilidade no início do processo (LIMA, 2012). O pH, por exemplo, sofre grande influência da temperatura, do sulfito e do leite de cal adicionado ao processo; já a transmitância pode ser afetada por todas as etapas anteriores e seus respectivos parâmetros.

O diagrama, conhecido também como 6M abrange todas as variáveis do problema, como o Método, Meio ambiente, Medição, Matéria Prima, Mão de obra e Máquinas e as causas comuns de variabilidades dentro de cada um deles. Dessa maneira, enxerga-se melhor os possíveis desvios dentro das condições normais das operações individuais dentro do processo de tratamento.

Etapa 4 – Analisar (Analyse)

Para efetuar a análise dos dados fez-se uso das cartas de controle, ferramenta utilizada dentro do método DMAIC para monitorar e avaliar a variabilidade e estabilidade dos dados dentro de um processo. Tais cartas são demonstradas graficamente com a utilização de dois limites do parâmetro avaliado, limite superior e inferior. No meio destes dois limites se encontra a linha que representa a média dos dados; sendo assim, se os dados estão localizados entre os dois limites, superior e inferior, o processo é considerado dentro das especificações e isento de causas especiais de variabilidade.

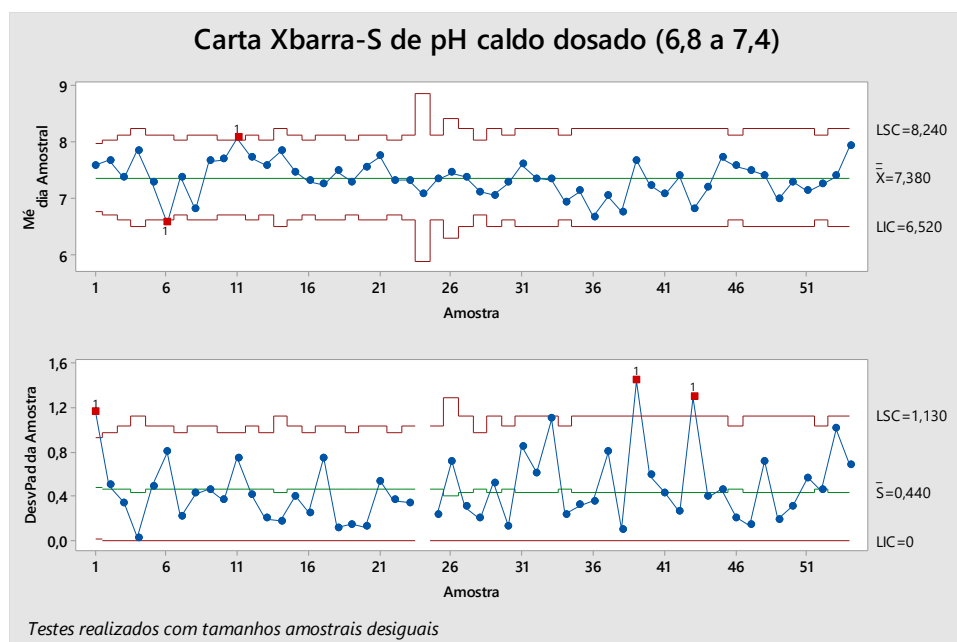


Figura 25: Carta de controle de variável para o pH do caldo dosado
 Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

O primeiro parâmetro analisado é o pH do caldo dosado (Figura 25), em que é possível visualizar que os dados se encontram dentro dos limites atribuídos pela empresa, com exceção de alguns pontos discrepantes e acima do limite superior e inferior. Cabe salientar

que a análise foi realizada com dados desiguais, como um vestígio da coleta de dados não-homogênea. Se fossem utilizadas as especificações encontradas em literatura, os dados estariam fora dos limites atribuídos (pH 5,2-5,5).

Cartas controle foram elaboradas para os demais parâmetros, pH do caldo sulfitado (Figura 26), o qual se encontra com alguns pontos em vermelho, fora dos limites especificados pela empresa, mas grande parte dos dados se encontra dentro da média entre os limites.

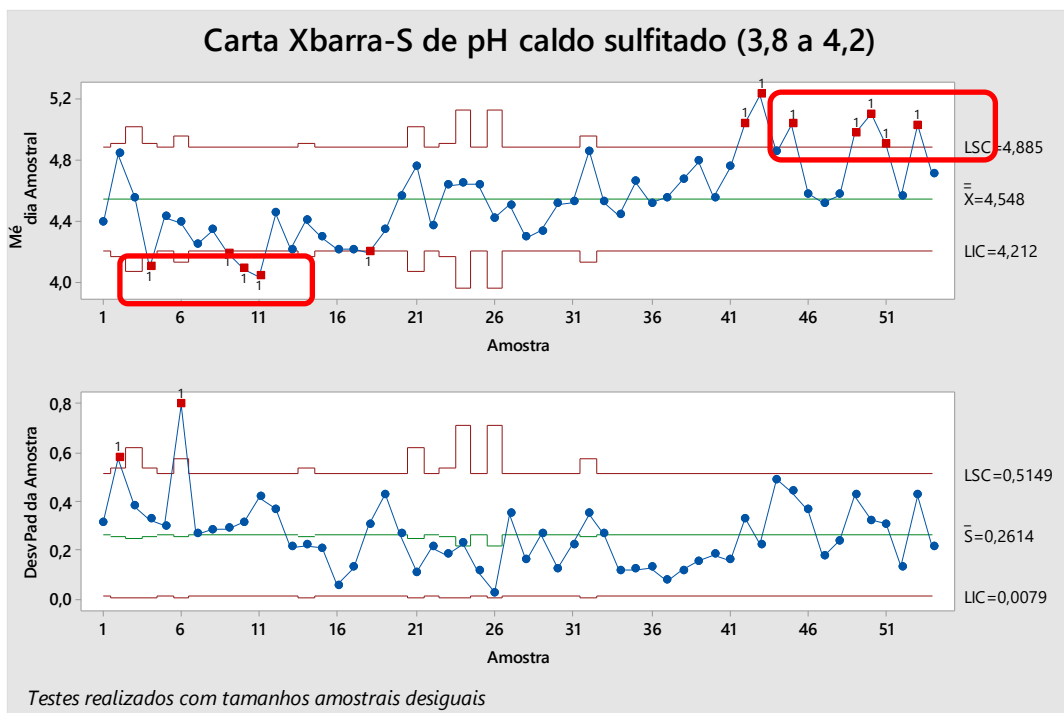


Figura 26: Carta de controle de variável para o pH do caldo sulfitado.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

A sulfitação tem como objetivo inibir as reações de escurecimento do açúcar e auxiliar na clarificação do caldo. Consiste em queimar o enxofre, a fim de produzir o gás sulfuroso que será então misturado ao caldo. (HAMERSKI, 2011). Para o sulfito adicionado ao caldo conforme demonstrado na (Figura 27), grande parte dos dados contém a média abaixo do limite especificado pela empresa (< 550), deste modo identificando que o processo está passível a não auxiliar no objetivo de clarificação do caldo. Sendo assim, a eficiência do processo de clarificação do caldo reflete diretamente na qualidade do açúcar produzido, ou seja, com falhas no processo de clarificação pode-se obter um açúcar de baixa qualidade, fora de padrão em quantidade.

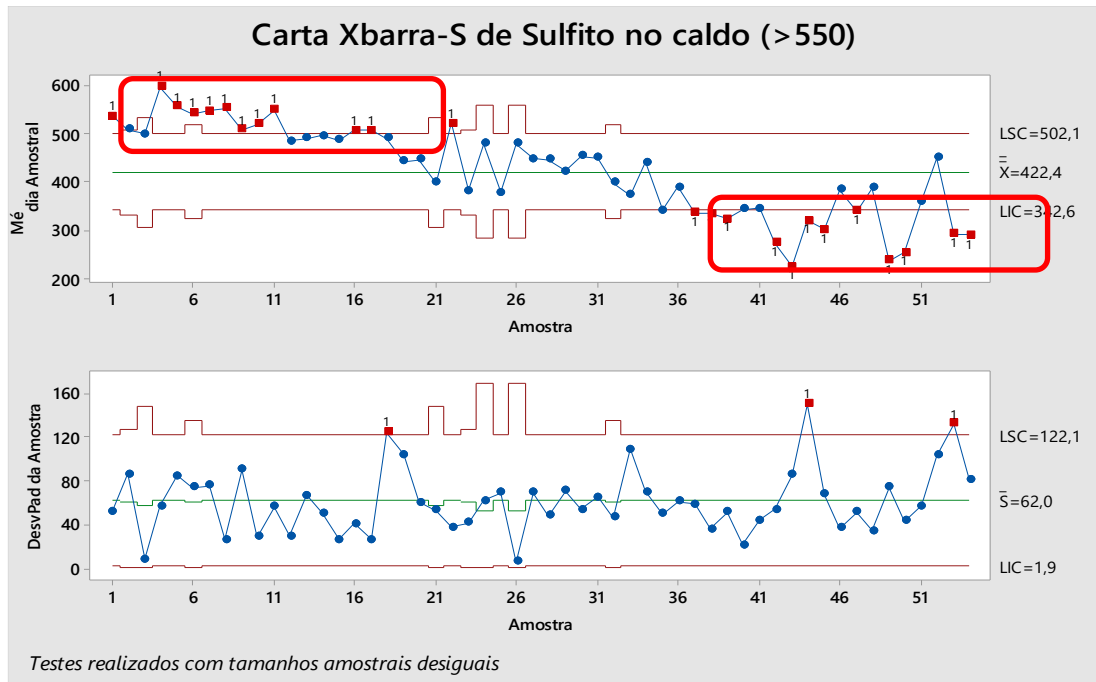


Figura 27: Carta de controle de variável para sulfito adicionado ao caldo.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

A temperatura também foi avaliada quanto aos limites especificados pela empresa (Figura 28) e os dados se encontram dentro dos limites superior e inferior. O parâmetro da temperatura, porém, não está de acordo com os dados obtidos em literatura, que limita a temperatura em 105°C no máximo, para o processo de clarificação.

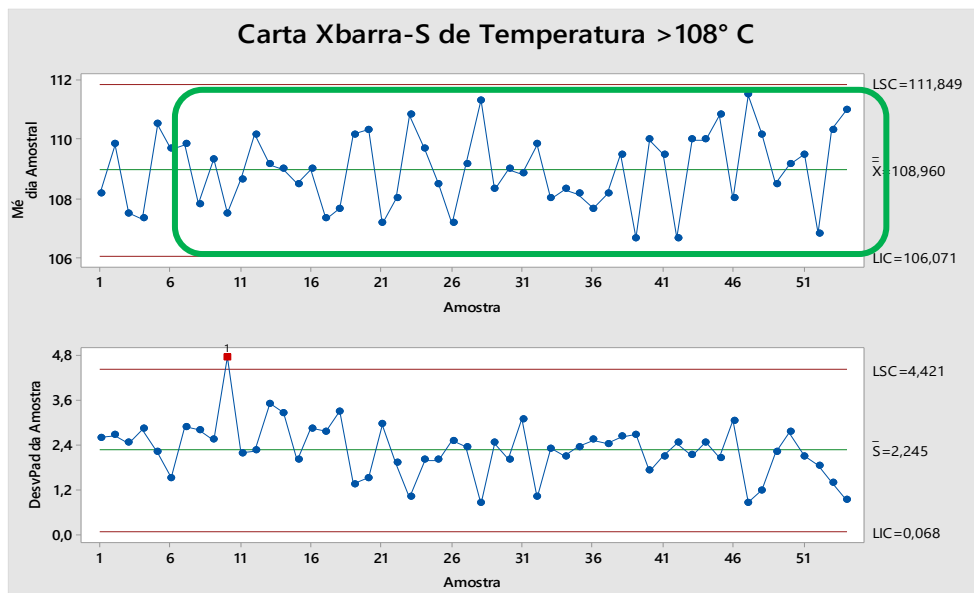


Figura 28: Carta de controle de variável para a temperatura do caldo.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

Por fim, uma carta controle para o parâmetro da transmitância também foi plotada (Figura 29) e demonstra que os dados estão, em sua maioria, dentro da especificação de acima de 30% determinada pela empresa. Ainda assim, este valor estipulado está abaixo do valor praticado e demonstrado em literatura de uma transmitância de, no mínimo, 70%.

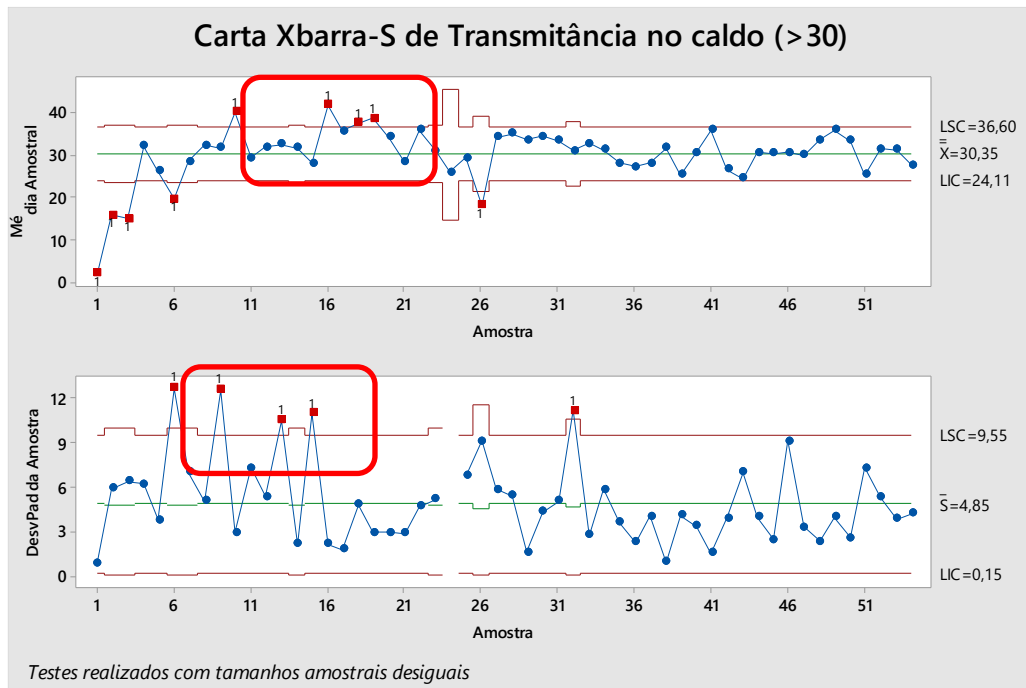


Figura 29: Carta de controle de variável para a transmitância do caldo.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

O Cp e cpk são índices que apontam se o processo está fabricando produtos dentro de uma faixa de especificação e assim indicam se a produtividade está o suficientemente aceitável. Estes índices são muito importantes na fase do desenvolvimento de produto, pois nesta fase inicial, a análise do histórico dos índices de capacidade de peças similares pode permitir que sejam escolhidos processos e especificações coerentes que sejam eficazes estatisticamente. Adicionalmente, eles também se fazem importantes durante a homologação do processo, pois podem revelar processos problemáticos antes da entrada de produtos na linha de produção. Rondotaro (2014)

Para avaliar a capacidade do processo de forma mais aprofundada e precisa, de acordo com o cálculo da Capacidade potencial (Cp) e a Capacidade potencial efetiva (Cpk), foi elaborado um histograma para cada variável de interesse, fundamentado em uma distribuição normal dos dados, baseando-se também na média e desvio padrão dos dados.

É importante salientar que se: $C_p \geq 1$ o processo é considerado capaz, $C_p < 1$ o processo não é considerado capaz e se $C_p > C_{pk}$ o processo possui defeitos e o histograma é descentralizado.

Para o pH do caldo dosado (Figura 30), tem-se dados fora dos limites estabelecidos e um C_p de 0,18, demonstrando que o processo neste parâmetro possui muitas variações em relação às especificações. Além disso, C_p (0,18) é maior que C_{pk} (0,01).

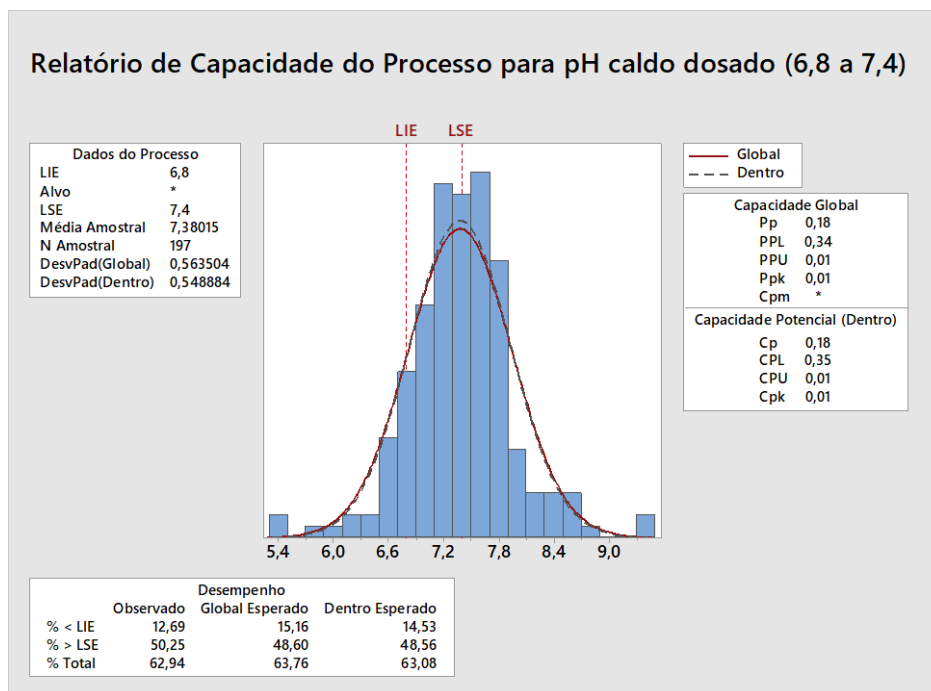


Figura 30: Histograma com relatório de capacidade do processo para o pH do caldo dosado.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

Para o parâmetro pH do caldo sulfitado (Figura 31), tem-se grande parte dos dados fora dos limites superior e inferior especificados, com C_p (0,23), C_{pk} (-0,40) e nível sigma de -1,2; resultando em mais um parâmetro considerado não capaz e com defeitos causados pela descentralização no histograma.

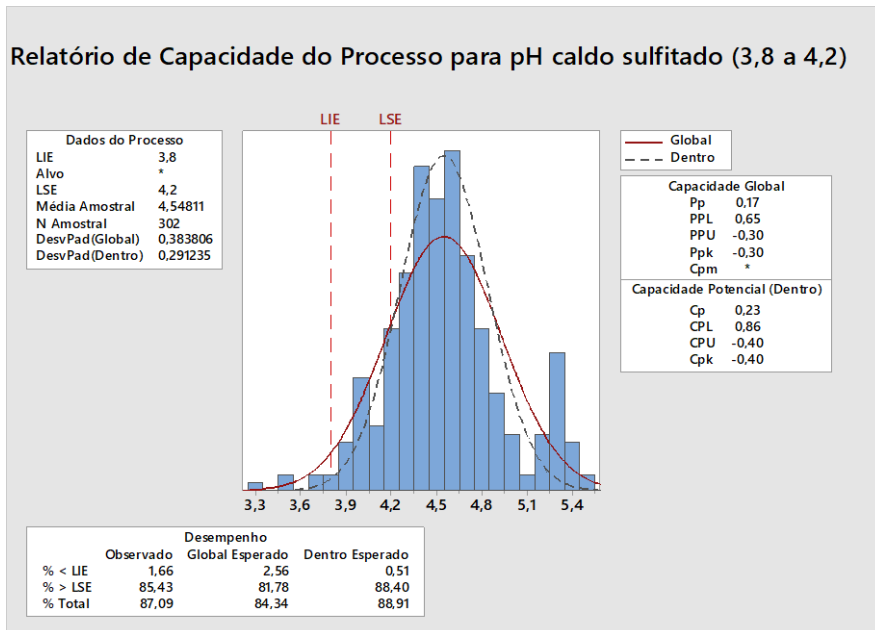


Figura 31: Histograma com relatório de capacidade do processo para o pH do caldo sulfitado.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

O cálculo da capacidade de processo para o sulfito adicionado ao caldo (Figura 32), demonstrou resultados semelhantes aos anteriores, com C_p (0,24), C_{pk} (-0,62) e nível sigma de -1,86, que também indica variações dos dados em relação às especificações e um processo não capaz, além de o processo possuir defeitos relacionados à variável da adição de sulfito, o qual necessita ser otimizado.

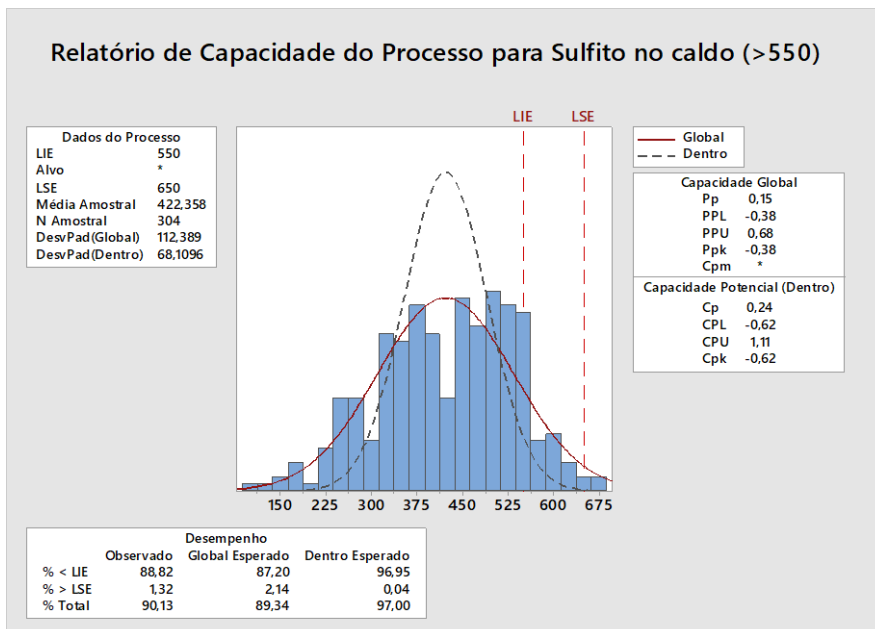


Figura 32: Histograma com relatório de capacidade do processo para o sulfito no caldo.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

Para a temperatura (Figura 33), o Cp e Cpk melhoram, mas ainda assim não alcançam os valores ideais, Cp (0,49), Cpk (0,14) e nível sigma de 0,42; indicando novamente um processo com defeitos e mais variações quando comparados com as especificações.

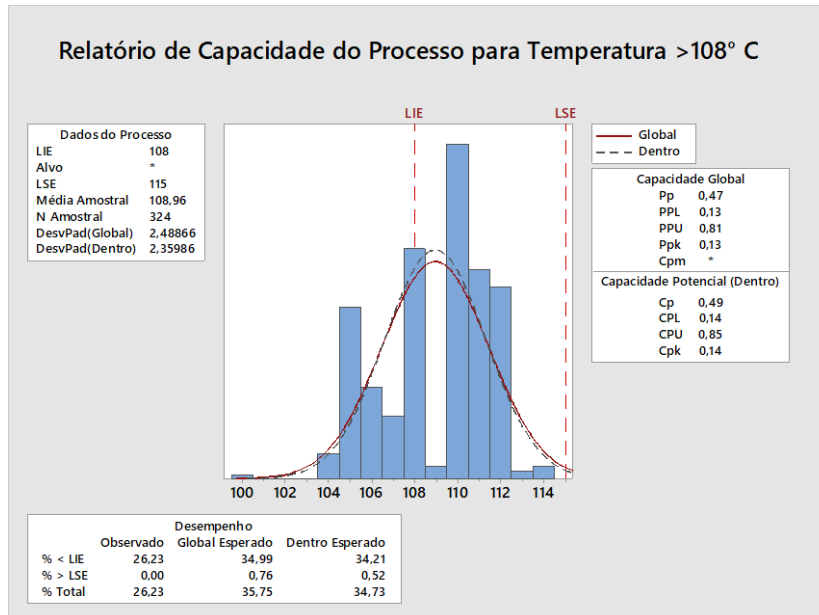


Figura 33: Histograma com relatório de capacidade do processo a temperatura do caldo.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

Por fim, o mesmo histograma e cálculo da capacidade do processo foram efetuados para a transmitância (Figura 34), quanto maior da transmitância, em melhores condições estará o caldo para produção de açúcar, ao efetuar a análise obtivemos resultado com Cp (0,60), Cpk (0,02) e nível sigma de 0,06. Portanto, processo não é capaz de atingir as especificações atribuídas e possui variações e defeitos.

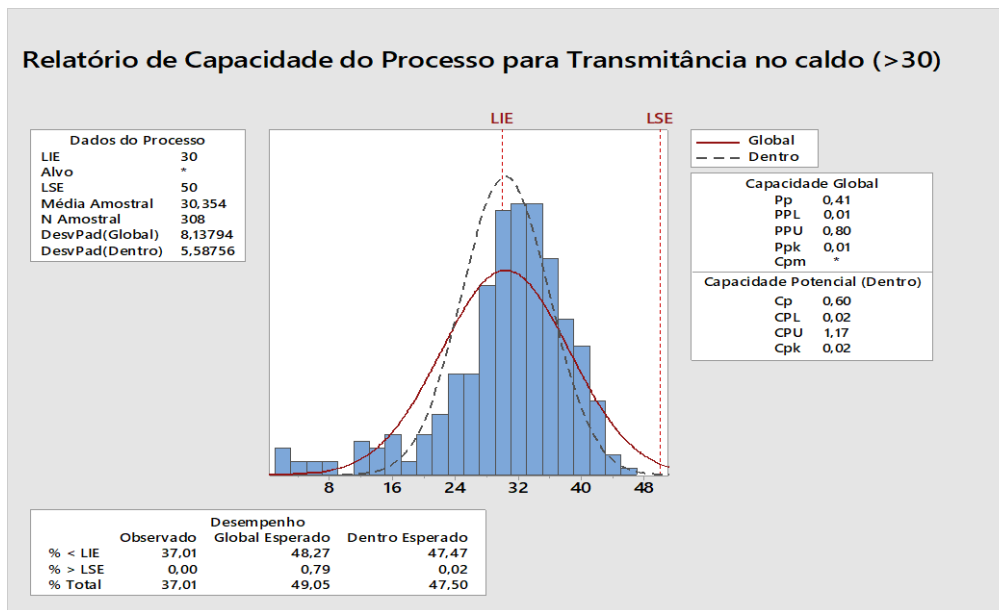


Figura 34: Histograma com relatório de capacidade do processo a transmitância do caldo clarificado.

Fonte: Elaborado pela pesquisadora, 2018

A avaliação do nível sigma em todas as variáveis que fazem parte do processo de tratamento do caldo de cana destinado à produção de açúcar não foi positiva, uma vez que nenhuma das variáveis alcançaram nível Sigma suficiente praticado em grande parte das empresas competitivas, que atuam entre 3 e 4 sigma (CARVALHO, 2012).

Etapa 4 – Melhorar (Improve)

Considerando a Matriz de priorização nos seguintes problemas levantados e nos caracteres de Gravidade (G), Urgência (U) e Tendência dos problemas, seguem as propostas de melhora dentro do processo de tratamento do caldo de cana.

Tabela 3: Matriz de Priorização do processo de tratamento do caldo de cana.

PROBLEMA	G	U	T	GxUxT
Folhas de verificação – Preenchimento correto	3	3	3	27
Especificação do valor do pH dosado acima do ideal	4	4	4	64
Especificação do sulfito adicionado em excesso	4	4	3	48
Especificação da temperatura fora do limite ideal	3	2	2	12
Valor da transmitância abaixo do ideal	3	3	3	27

Fonte: Pincerato (2018)

Nota 5 – Extremamente grave e urgente. Se não for resolvido a piora será imediata.

Nota 4 – Muito grave, muito urgente e vai piorar a curto prazo.

Nota 3 – Grave, urgente e vai piorar a médio prazo.

Nota 2 – Pouco grave, pouco urgente e vai piorar a longo prazo.

Nota 1 – Não é grave nem urgente e não traz prejuízos.

Portanto, a prioridade para melhorar o processo será ao não cumprimento do pH caldo dosado. Posteriormente será dada prioridade para o sulfito adicionado ao caldo e, como consequência dos ajustes, espera-se a melhora nos valores obtidos na análise da transmitância do caldo clarificado.

A seguir, o plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H detalha melhor as medidas a serem implementadas após avaliação do processo de tratamento do caldo de cana da indústria estudada.

Tabela 4: Proposta de Plano de Ação utilizando a ferramenta 5W2H.

Planejamento 5W2H para redução da variabilidade do processo de Tratamento do caldo da cana-de-açúcar						
What? O que?	Why? Por que?	Who? Quem?	Where? Onde?	When? Quando?	How? Como?	How Much? ?
Oscilação pH caldo sulfitado	Limpeza do eletrodo do sulfitado não é automática.	Gestor de produção	Tanque de caldo sulfitado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	Ativar limpeza automática: -	Sem custo
	Limpeza do eletrodo do sulfitado não é automática.	Gestor de produção	Tanque de caldo sulfitado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	- Projeto do recipiente de limpeza;	Sem custo
	Limpeza do eletrodo do	Gestor de produção	Tanque de caldo	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	- Fabricar recipiente (tanque) para colocar	Sem custo

	sulfitado não é automático.		sulfitado		a solução de limpeza do eletrodo;	
--	-----------------------------------	--	------------------	--	---	--

What? O que?	Why? Por que?	Who? Quem?	Where? Onde?	When? Quando?	How? Como?	How Much?
	Limpeza do eletrodo do sulfitado não é automática.	Gestor de produção	Tanque de caldo sulfitado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	- Levantar com fabricante do instrumento o ciclo de limpeza do eletrodo;	Sem custo
	O controle nesse ponto está sendo realizado pela análise de SO2 e leitura de pH para fazer ajuste manual na pressão dos ejetores de sulfitação. Controle operacional de queima do enxofre.	Gestor de produção	Tanque de caldo sulfitado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	- Revisar controle do Tratamento e concentração do caldo para melhorar a visualização da necessidade de limpeza para melhorar o controle da pressão nos ejetores de sulfitação.	Sem custo
	Local de instalação do eletrodo. inadequado	Gestor de produção	Tanque de caldo sulfitado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	Acionar pós venda do fabricante do instrumento para definição correta	Sem custo
	Faixa de trabalho do pH de caldo sulfitado fora da especificação correta	Gestor de produção	Tanque de caldo sulfitado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	Verificar parâmetro (faixa de trabalho) caldo sulfitado conforme literatura atualizada	Sem custo

What? O que?	Why? Por que?	Who? Quem?	Where? Onde?	When? Quando?	How? Como?	How Much?
	Controle operacional sem prova de erros	Gestor de produção	Tanque de caldo sulfitado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	Criar gráfico para acompanhar variáveis (adicionar inversor da rosca). Para acompanhar a velocidade da rosca, a quantidade de enxofre no forno e a abertura para entrada de ar, definindo assim, uma relação “ar x enxofre” que resulta na eficiência de queima. Para que seja mantida sempre a mesma quantidade de enxofre adicionado ao forno.	Sem custo
Oscilação pH caldo dosado	Bé do leite de cal Fora da especificação correta	Gestor de produção	Tanque de cal hidratado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	O ponto de coleta e horário de análise do laboratório e Área deverão ser idênticos.	Sem custo
	Má qualidade do insumo Cal	Gestor de produção	Laboratório	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	Medir qualidade por impureza e outras análises contidas no laudo que vem junto com a cal	Sem custo

What? O que?	Why? Por que?	Who?Que m?	Where? Onde?	When?Quand o?	How?Com o?	HowMuch ?
	Baixo Tempo de residência do leite de cal	Gestor de produção	Tanque de cal hidratado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	Calcular volume dos tanques de armazenagem e identificar qual volume certo para o tempo de residência conforme parâmetro.	Sem custo
	Faixa de trabalho do pH de caldo dosado fora do padrão da literatura	Gestor de produção	Tanque de caldo dosado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	Verificar parâmetro (faixa de trabalho) caldo dosado conforme literatura atualizada e revisar	Sem custo
	Limpeza do eletrodo manual	Gestor de produção	Tanque de caldo dosado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	Definir frequência de limpeza do eletrodo: limpeza 01 vez por turno e calibração 01 vez por dia Definir se a limpeza será manual ou automática Verificar se existe eletrodo reserva caso seja necessário deixar o eletrodo em solução de cloreto de potássio.	Sem custo

What? O que?	Why? Por que?	Who? Quem?	Where? Onde?	When? Quando?	How? Como?	How Much? ?
	Local de instalação do instrumento do eletrodo sem eficácia resultado	Gestor de produção	Tanque e de caldo dosado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	Acionar fabricante do eletrodo e definir melhor ponto de instalação e reinstalar	Sem custo
	Sistema de dosagem do leite de cal através de válvulas. Existe ponto morto da válvula que paralisar o material	Gestor de produção	Tanque e de caldo dosado	Entressafra (Dezembro a Abril 2019)	Adquirir bomba dosadora para substituir válvula;	R\$ 15.000

Fonte: Pincerato (2018)

Etapa 5 – Controlar (Analyse)

Para controle dos parâmetros que resultaram em variabilidade durante o processo, sugere-se primeiramente, a readequação e padronização do processo através de um Procedimento Operacional Padrão, detalhando todas as etapas e medidas necessárias para a realização de cada tarefa diminuindo os possíveis erros e necessidade de treinamentos operacionais, mantendo as equipes sempre alinhadas quanto às principais atividades, assim proporcionando uma coleta de dados correta e eficiente. Conforme demonstrado no modelo da figura 35 abaixo:

**PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO –
TRATAMENTO DO CALDO**

@@iddoc@@

Elaboração: @@autor@@ Aprovação: @@aprovador@@

Objetivo:

DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL*
<p>⚠ Antes de iniciar a operação, certificar-se que está usando os Equipamentos de Proteção Individual (EPI):</p> <ul style="list-style-type: none"> • <p>⚠ Ao subir/descer escada marinheiro, suba devagar e sem transportar ferramentas nas mãos; Ao subir/descer escada de degrau, suba devagar e segurando nos corrimões.</p> <p>Ao utilizar água reduzir o consumo ao necessário; Em caso de gerar resíduos, descartar conforme coleta seletiva;</p>	
PREPARAÇÃO PARA INICIO DE MOAGEM	
1.	
<ul style="list-style-type: none"> • <p>⚠</p>	
INICIO DE MOAGEM	
2.	
<ul style="list-style-type: none"> • <p>⚠</p>	

Figura 35: Modelo de Procedimento Operacional Padrão.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2018).

PARADAS DE EQUIPAMENTOS							
<p>Definição do Tipo de Parada:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Parada Curta: tempo menor que 02 horas; ▪ Parada Média: tempo entre 02 horas a 08 horas; ▪ Parada Longa: Acima de 08 horas. <p>Esta definição será realizada pela previsão do tempo necessário ao retorno de moagem dada pelo Coordenador de COI. Atente-se a vazamentos e derramamentos de recursos naturais (água) e matéria prima (caldo), quando identificado estas situações comunique ao coordenador para que o vazamento seja sanado por meio de o.s interna ou externa.</p>	Operador JR						
3. Parada curta < 2 horas							
<ul style="list-style-type: none"> • <p>⚠</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Para que não haja indisponibilidade de equipamentos, verificar semanalmente junto ao PCM, resultados das inspeções/verificações de equipamentos referente ao setor de tratamento de caldo e promover resolução para itens pendentes conforme prioridade junto à oficina responsável e/ou superior imediato; 	Coordenador Operacional						
<p>*RESPONSÁVEL: Consideram-se responsável e permitido pela execução da atividade o cargo informado e todos acima. Exemplos:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">RESPONSÁVEL</th> <th style="width: 50%;">PERMISSÃO PARA EXECUÇÃO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Operador JR</td> <td style="text-align: center;">Operador JR, Operador PL, Operador SR, Coordenador de Área, Coordenador Operacional, Gestor de Produção.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Operador SR</td> <td style="text-align: center;">Operador SR, Coordenador de Área, Coordenador Operacional, Gestor de Produção.</td> </tr> </tbody> </table>		RESPONSÁVEL	PERMISSÃO PARA EXECUÇÃO	Operador JR	Operador JR, Operador PL, Operador SR, Coordenador de Área, Coordenador Operacional, Gestor de Produção.	Operador SR	Operador SR, Coordenador de Área, Coordenador Operacional, Gestor de Produção.
RESPONSÁVEL	PERMISSÃO PARA EXECUÇÃO						
Operador JR	Operador JR, Operador PL, Operador SR, Coordenador de Área, Coordenador Operacional, Gestor de Produção.						
Operador SR	Operador SR, Coordenador de Área, Coordenador Operacional, Gestor de Produção.						
@@codigo@@	Revisão: @@numrev@@	Emissão: @@dataprov@@	Página 1 de 2				

Figura 36: Continuação Modelo de Procedimento Operacional Padrão.
Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2018).

CONTRAMEDIDAS PARA REENQUADRAMENTO DE PROCESSO					
ITEM DECONTROLE/EQUIPAMENTO	PARÂMETRO	VALOR PADRÃO	MOTIVO (No caso de desvio)	DANOS DESVIOS	CORREÇÃO
CONTROLE DE REGISTROS					
IDENTIFICAÇÃO	ARMAZENAMENTO	PROTEÇÃO	RECUPERAÇÃO	TEMPO RETENÇÃO	DESCARTE

Figura 37: Continuação Modelo de Procedimento Operacional Padrão
Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2018).

Posteriormente, sugere-se a implantação de um sistema Poka Yoke com métodos de contato, conjuntos e etapas como classes de dispositivos utilizados nos sistemas a prova de erro. A função de regulagem define o método a ser utilizado em função do objetivo pretendido. Ou seja, depois de detectada uma anormalidade, o Sistema Poka Yoke pode bloquear o processamento ou apenas avisar a ocorrência da anormalidade, dependendo da gravidade, frequência e/ou consequência do problema. Podendo ser utilizado o Método da Advertência: sendo assim o sistema detecta a anormalidade fora do parâmetro desejado, mas ao invés de parar o processamento, apenas sinaliza a ocorrência do desvio através de sinais sonoros ou sinais luminosos no painel de controle de operações, de forma que a atenção dos operadores de produção seja atraída e as ações corretivas possam ser realizadas mais rápidas a tempo de não prejudicar totalmente a qualidade do processo. Sugere-se também a atribuição e capacitação do pessoal responsável pelo departamento de qualidade para que se possa monitorar diariamente a variabilidade do processo, diagnosticando variações fora da especificação e estabelecendo reuniões periódicas, podendo ser semanais, envolvendo os responsáveis da área para acompanhamento dos prazos das ações que mitigarão a sua ocorrência de novos desvios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após aplicação do método DMAIC e Seis Sigma no processo de tratamento do caldo de cana foi possível definir, medir, analisar, melhorar e oferecer alternativas de controle dos parâmetros que afetam a qualidade do produto final.

As variáveis foram definidas e mensuradas para detectar falhas no processo, resultando em parâmetros considerados fora das especificações atribuídas e praticadas em outras indústrias e encontradas em literatura. Os parâmetros que afetaram o processo e se encontraram fora das especificações padrões foram: pH do caldo bruto dosado, quantidade de Sulfito adicionado ao caldo, pH do caldo após Sulfitação, temperatura e transmitância do caldo final.

O Diagrama de Ishikawa construído permitiu a melhor visualização das principais causas que afetavam a qualidade final do caldo tratado. Assim, a posterior medição dos dados obtidos em forma de Cartas de Controle demonstrou que muitos pontos se encontravam fora dos limites superior e inferior para todos os parâmetros, significando que o processo possui falhas a serem minimizadas e otimizadas.

Ao quantificar o Nível Sigma de cada parâmetro, foi possível perceber que todas as especificações se encontravam com defeitos no processo e descentralização das curvas dos gráficos em histogramas. Em todos os parâmetros avaliados, o Nível Sigma não alcançou a marca de 1, sendo todos abaixo e até mesmo valores negativos, como do pH do caldo após Sulfitação com nível Sigma de -1,2 e o Sulfito adicionado ao caldo, com nível Sigma de -1,86.

Uma Matriz de Priorização também foi criada para avaliar os parâmetros mais críticos e as prioridades obtidas foram o correto preenchimento das folhas de verificação e maior controle da temperatura do caldo. Ambos podem mudar significativamente a qualidade do processo de tratamento, bem como permitir economia em gastos energéticos dentro desta indústria.

Por fim, um Plano de Ação utilizando a ferramenta 5W2H foi elaborado para melhorar os parâmetros afetados no processo de forma prática, sugerindo-se a implementação de ações que possam ser suficientes para alcançar a otimização do processo de tratamento de cana para produção industrial de açúcar, desta forma estas ações podem ser

acompanhadas através de um gráfico de Gantt para acompanhamento dos prazos de cada ação implantada, dessa forma fica mais simples conseguir fazer com que todos seus responsáveis entenda suas responsabilidades, realizando as atualizações em uma reunião semanal para acompanhar o andamento e evolução do projeto.

REFERÊNCIAS

- APPOLINÁRIO, F. Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico. São Paulo: Atlas, 2004. Disponível em: <http://www.uniabeu.edu.br/publica/index.php/RE/article/view/26/pdf_23>. Acesso em: 28 mai. 2016.
- ABPMP_CBOK_Guide__Portuguese.pd...> Acesso em: 18 abr.2018.
- ABPMP-Association of Business Process Management Professionals. Brasil. BPM CBOK-Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio Corpo Comum de Conhecimento. 1º Edição, v.3.0, 2013. Disponível em: <c.ymcdn.com/sites/www.abpmp.org/resource/.../>
- ABREU, V. B. L. O controle e o gerenciamento da rotina de trabalho na busca pela qualidade em prestação de serviços. Universidade Federal de Santa Maria – RS, 19 p., 2007.
- ANDRIETTA, J. M.; MIGUEL, P. A. C. A Importância do Método Seis Sigma na Gestão da Qualidade Analisada sob uma Abordagem Teórica. Ciência & Tecnologia, v.11, n.20, p.91-98, Dez. 2002.
- ANDRIOLI, B. T.; FRANZÉ, R. V.; FERRI, E. H.; SANTOS FAUSTINO, P. A.; TEIXEIRA, J. R.;
- AQUINO, Ricardo Alexandre; NETO, Antonio Faria; LOTUFO, Francisco Antonio. Aplicação da metodologia Seis Sigma no processo produtivo em uma fundição de alumínio. UNINDU. Congresso Internacional de Cooperação Universidade-Indústria. Taubaté, SP, 2012. Disponível em: <www.unitau.br/unindu/artigos/pdf304.pdf> Acesso em: 01 de jul.2018.
- ARAÚJO, F. A. D. Processo de clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação. Revista Ciências e Tecnologia, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2007.
- ARAUJO, F. J. Aplicação dos conceitos do DMAIC como estratégia de otimização de uma farmácia periférica: estudo de caso em um hospital de grande porte. Rio Grande do Sul: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – UNISINOS, 22 p., 2012.
- ARMOA, M. H.; BILATO, J. H.; SILVA, J. Q.; MANFREDI, C. H.; ANNUNZIO, F. R.;

BARROS, A. J. S. e LEHFELD, N. A. S. Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica. 2 Ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 216, de 15 de setem-bro de 2004. Regulamento técnico de boas práticas para serviços de alimentação. Brasília, Diário Oficial da União, 16 set. 2004.

CAMPOS, V. F. Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC Controle de qualidade total (no estilo japonês). Belo Horizonte-MG: Ed. de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

CARPINETTI, L. C. R. Gestão da qualidade: Conceitos e Técnicas. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CARVALHO, M. M. Gestão da qualidade: teoria e casos. 2 ed. Elsevier: ABEPRO, 2012.

CARVALHO, M. M. Práticas da qualidade com ênfase em Lean Six Sigma no processo produtivo do álcool. 98 p., Monografia (Graduação), Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de Lorena, 2012.

CEBALLOS-SCHIAVONE, C. H. M. Tratamento térmico do caldo de cana-de-açúcar visando a redução de contaminantes bacterianos *Lactobacillus* na produção de etanol e eficiência de tratamento do fermento por etanol. 178 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2009.

CERVO, Amado L. et al. Metodologia científica. 6 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. Administração de produção e operações: manufatura e serviços – uma abordagem estratégica. 2. Ed. São Paulo-SP: Atlas, 2012.

CORRÊA, J. M. Estudo de controle e análise da capacidade de processo de produção de água potável. Tese (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Paraná – UFP, 2007.

CORRÊA, Karlos E. S; GONÇALVES, Rafael; LIMA, Renato da S; ALMEIDA, Dagoberto A. de. Mapeamento do Processo de Fornecimento em uma Rede de Supermercados. XXV ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre, RS Nov 2005. Disponível em:
<<http://hermes.ucs.br/carvi/cent/dpei/odgracio/ensino/Gestao%20Estrategica%20Custos%20Unisc%202005/Artigos/Artigos%20ENEGEP%202005/Mapeamento%20do%2>

[O processo de fornecimento em uma rede.pdf](#)> Acesso em: 25 mar.2018.

COSTA, L. S. Mapeamento de processos: um estudo de caso na coordenação do curso de administração. Natal: UFRN, 2016. Disponível em: <

www.admpg.com.br/2016/down.php?id=2516&q=1 >. Acessado em: 18/07/2018.

DOMENECH, C. (2004). As causas comuns no CEP são inerentes ao processo.

Recuperado em 15 de outubro, 2004. Disponível em:

<<http://www.falandodequalidade.com.br>> Acesso em: 04 mar.2018.

DOMINGUES, J. P. D. Aplicação de ferramentas Lean e Seis Sigma numa indústria de Sistemas de Fixação. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade

Nova Lisboa, 2013. Disponível em: < <https://run.unl.pt/handle/10362/11177>>. Acessado em: 18/07/2018.

DONADEL, D. C. Aplicação da Metodologia DMAIC para Redução de Refugos em uma Indústria de Embalagens. São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2008. Disponível em: < pro.poli.usp.br/.../aplicacao-da-metodologia-dmaic-para-reducao-de-refugos-em-uma... >. Acessado em: 24/07/2018.

DOWNING, D., CLARK, J. Estatística Aplicada. 2 ed. São Paulo: Editora Saraiva., 2002.

DUARTE, D. R. Aplicação da metodologia seis sigma – modelo DMAIC - na operação de uma empresa do setor ferroviário. Universidade Federal de Juiz de Fora, 81 p., 2011.

Disponível em: <www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2011_3_Douglas.pdf>. Acessado em: 24/07/2018.

FABRIS, C. B. Application of quality tools in a production process in a food industry. 41 p., Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.

FEENG/UFRGS – Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS, 172 p., 2012.

FERREIRA, André Rosa; FERREIRA, Paulo Rosa. Implantação da metodologia Seis Sigma para a melhoria de processo, utilizando o ciclo DMAIC. ENEGEP.XXV

Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza, CE, 2015. Disponível

em:<abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_206_226_27453.pdf> Acesso em: 01 jul.2018.

FERREIRA, R. E. Microfiltração tangencial do caldo de cana-de-açúcar: avaliação da influência da temperatura e da pressão transmembrana e comparação em relação ao processo de clarificação convencional. 304 p., Tese (doutorado) – Universidade

Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 2012. Disponível em: < bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_d6c21efa813c37efcae176727174db6f>. Acessado em: 28/08/2018.

FOLLMER, Eduardo. Implementação de Controle Estatístico de Processos em uma etapa do processo de galvanização de arames: estudo de caso no processo de decapagem ácida. Revista da Graduação Publicações de TCC. V.6, n.2, 2013. Disponível em: <revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/...> Acesso em: 22.jun.2018.

FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila FONSECA, Patrícia Corrêa. Modelo para Controle Estatístico de Processos de Desenvolvimento de Software (CEP-S). Tese (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2010. Disponível em: <www.bibliotecadigital.ufmg.br > ... > Dissertações de Mestrado> Acesso em: 25 mar.2018.

FONSECA, Patrícia Corrêa. Modelo para Controle Estatístico de Processos de Desenvolvimento de Software(CEP-S). Tese (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2010. Disponível em: <www.bibliotecadigital.ufmg.br > ... > Dissertações de Mestrado> Acesso em: 25 mar.2018.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, F. M.M.; FAUSTINO, G.G.; TONANI, M.; PORCINCULA, S.; SOMERA, S.C.; BEICKER, W.; PAZIN-FILHO, A. Mapeamento do fluxo de trabalho: Engenharia Clínica do HCFMRP-USP. Revista de Medicina USP, v. 48, n.1, 41-47, 2015.

GONÇALVES, B. S. O.; MUSETTI, M. A. A importância do processo de alinhamento da estratégia com projetos Seis Sigma: um estudo multicasos em operadores logísticos. Revista Gestão de Produção, São Carlos, v. 15, n. 3, p. 551-562, 2008. Disponível em: <

periodicos.uem.br > Capa > v. 33, n. 3 (2011) > Hamerski >. Acessado em: 28/08/2018.

HAMERSKI, F. Estudo de Variáveis no Processo de Carbonatação do caldo da cana de açúcar. Conhecendo materiais poliméricos. Paraná: Universidade Federal do Paraná, 2009. Disponível em: <

HELDMAN, Kim. Gerência de Projetos: Guia para o exame oficial do PMI. Reimpressão. Rio de Janeiro. Elsevier, 2009.
<https://www.bartens.com/book/engenharia-do-acucar-de-cana> >. Acessado em: 10/set./2018.
https://www.researchgate.net/.../38115233_Estudo_de_variaveis_no_processo_de_carbo...>. Acessado em: 10/09/2018.

IGNÁCIO, S. A. Importância da estatística para o processo de conhecimento e tomada de decisão. Curitiba, Revista Paranaense de Desenvolvimento, n.118, p.175-192, 2010. Disponível em:
<www.ipardes.gov.br/biblioteca/.../NT_06_importancia_estatistica_tomada_decisao.pdf>. Acessado em: dia/mês/ano.

INESUL. Inesul destaca a importância da estatística no mundo contemporâneo. 2007. Disponível em: < <http://www.inesul.edu.br/maranhao/mat3.htm>>. Acesso em: 26 jul. 2018.

JOHANN, Denis Cristian; OLBERMANN, Maicon Mariel; JABLONSKI, Marcelo Fabiano;

JOHNSTON, R. e CLARK, G. Administração de operações de serviços. Editora Atlas, São Paulo, 2002.

KESSLER, R. M. A Implantação do Seis Sigma em Organizações: Motivações de Escolha e Resultados Obtidos. Porto Alegre: UFRS, 2004.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L; MALHOTRA, M. Administração de produção e operações. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

KUROKAWA, E.; BORNIA, C. A. Utilizando o histograma como uma ferramenta estatística de análise da produção de água tratada de Goiânia. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Ambiental, 27 a 31 de outubro. Anais... México, Cancun, 2002.

LIMA, R. B. Processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados. 62 p., Dissertação (Mestrado), IPEN, 2012. Disponível em:< www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-16012013.../2012LimaProcesso.pdf>. Acessado em: 21/09/2018.

LOPES, H. J. J. Garantia e Controle de Qualidade no Laboratório Clínico. 2003. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA29gAK/garantia-controle-qualidade-no-laboratorio-clinico>>. Acesso em: 24. jul.2018

MADALENO, L. L. Clarificação de caldo de cana-de-açúcar por filtração tangencial em membrana compósita titânia/silica. *Ciência & Tecnologia Fatec-JB*, v. 4, 4 p., 2013. Disponível em: < www.citec.fatecjab.edu.br/index.php/files/article/download/55/pdf >. Acessado em: 18/07/2018.

MADALENO, L. L. Qualidade do caldo clarificado em função do armazenamento da cana crua. *Ciência & Tecnologia Fatec-JB*, v. 7, p. 17-21, 2015

MAESTRELLI, N. Controle Estatístico do Processo. São Carlos: USP, 2014. Disponível em: <<https://www.manufaturaemfoco.com.br/controle-estatistico-do-processo/>>. Acesso em: 23. jul.2018.

MAGALHÃES, A. E. P.; OLIVEIRA, T. C. Redução e estabilização do volume hídrico em uma indústria metalúrgica. Universidade Federal de Juiz de Fora, p. 36, 2011.

MAICZUK, J.; ANDRADE JÚNIOR, P. P. Aplicação de ferramentas de melhoria de qualidade e produtividade nos processos produtivos: um estudo de caso. *Qualitas Revista Eletrônica*, v. 14, n. 1, 2013. Disponível em: < revista.uepb.edu.br > Capa > v. 14, n. 1 (2013) > Maiczuk >. Acessado em: 21/09/2018.

MELO, A. E. N. S. Aplicação do Mapeamento de Processo e da simulação no desenvolvimento de projetos de processos produtivos. Itajubá: UNIFEI, 2011.

MEZAROBA, S. Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema. Paraná: Universidade Estadual do Paraná (UEPR) Campus Campo Mourão, 2010. Disponível em: <http://www.fecilcam.br/anais/iv_eepa/data/uploads/9-engenharia-da-sustentabilidade/9-04-com-autores.pdf>. Acesso em: 23. jul.2018

MONTGOMERY, D. C. Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C. Estatística Aplicada e Probabilidade Para Engenheiros. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009.

OLIVEIRA, A. C. S. Projeto Ser Natureza. Goiás, Ministério Público de Estado de Goiás, 9 p., 2012.

OLIVEIRA, T. S. Aplicação do controle estatístico de processo na mensuração da variabilidade em uma usina de etanol. São Carlos: UNIFEG, 2010. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br>>. Acesso em: 23. jul.2018.

PACHECO, Diego Augusto de Jesus; RIEGEL, André Felipe. Análise da aplicação do controle estatístico de processos na manufatura de inseticidas. LAJBM: Latin American Journal of Business Management v. 7, n. 1, p. 4-18, jan-jun/2016, Taubaté, SP, Brasil. Disponível em: <<http://www.lajbm.net/index.php/journal/article/viewFile/326/161>> Acesso em: 25 fev. 2018.

PAESE, C., CATEN, C. T., RIBEIRO, J. L. D. Aplicação da análise de variância na implementação do CEP. XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro. ENEGEP, 1999.

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). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2009.

PEIXOTO, Túlio Almeida et al. URUARU-Um ambiente para o desenvolvimento de Modelos de Simulação a Eventos Discretos. PODES: Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento. Rio de Janeiro, v.5, n.3, p. 373-405, setembro a dezembro de 2013. Disponível em: <www.podesenvolvimento.org.br/inicio/index.php?...podesenvolvimento...op...> Acesso em 29 de abr. 2018.

PEREIRA, G. T. Estatística Experimental – Medicina Veterinária. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 179 p Campus de Jaboticabal – SP, 2013.

PINCERATO, N. Formação Green Belt Seis Sigma. Itumbiara: RL Associados, 2018.

POLACINSKI, Édio; MOLIN, Anderson Dal. Seis Sigma: Aplicação de ferramentas de controle da qualidade em uma empresa de agronegócios. SIEF-Semana Internacional das Engenharias da Fabor, 2011. Disponível em: <www.fabor.com.br/.../2011_Aplicacao_ferramentas_controle_qualidade_agronegocio...> Acesso em: 04 mar. 2018.

RAMOS, Edson Marcos Leal Soares; ALMEIDA, Sílvia dos Santos de; ARAÚJO, Adrilayne dos Reis. Controle estatístico da qualidade. Porto Alegre: Bookman. p . 160, 2013.

REIN, P. Engenharia do Açúcar de Cana. Berlim: D’Gonçalves, 2013. Disponível em: <
RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição.
RICARDO, Joel; PINTO, César. Artigo BPM (Business Process Management). Instituto Superior Politécnico Gaya. Escola Superior de Ciência e Tecnologia. 2010. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/34370442/Artigo-BPM>> Acesso em: 13 mai. 2018.

- RODRIGUES, J.; WERNE, L. Seis Sigma: características do programa em onze empresas situadas na região metropolitana de Porto Alegre. Revista Produção Online. v.12, n.1, p.2-22, 2012.
- RODRIGUES, M. V. Entendendo, aprendendo e desenvolvendo sistemas de qualidade Seis Sigma. Rio de Janeiro: Elsevier, 2. ed, 2014.
- ROSA, A. F. P. Método para controle estatístico multivariado de processos em batelada. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 131, 2001.
- ROSÁRIO, Keivison Pinto do; DANTAS, Larissa Moraes; OEIRAS, Erielem do Nascimento. Aplicação do Controle Estatístico de Processo no monitoramento do peso médio de polpas de frutas: um estudo realizado em uma empresa de médio porte. ENEGEP: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção Fortaleza, CE, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2015.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: LeanInstitute Brasil, 2003
- ROTONDARO, R. G. (Coord.). Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 2002.
- ROTONDARO, R. G. Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2014.
- ROTONDARO, Roberto Gilioli. Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 1ª Edição, 2014.
- SAMOHYL, Robert W. Controle estatístico da qualidade. 5º ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- SAMPAIO; Nilo A de S. Aplicações da Correlação e Regressão Linear. Associação Educacional Dom Bosco. 2015. Disponível em: <<https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/52.pdf>> Acesso em : 25 mar.2018.
- SANTOS, O. S.; PEREIRA, J. C. S.; OKANO, M. T. A implantação da ferramenta da qualidade MASP para melhoria contínua em uma indústria vidreira. Caleidoscópio, v. 1, n. 4, p. 6-23, 2014.
- SELEME, R. Controle da Qualidade: as ferramentas essenciais. Curitiba: Ibpex, 2008.
- SICSÚ, J.; CASTELAR, A. Sociedade e Economia: estratégias de crescimento e desenvolvimento. Revista IPEA, 252 p., 2009. Disponível em:

<www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id>. Acessado em: 10/set/2018.

SILVA, D. L. Gestão da Qualidade: Diretrizes, Ferramentas, Métodos e Normatização. São Paulo: Erica, 2014.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação. Florianópolis: 3. ed., Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SILVA, R. B.; PORTO, A. G.; WOLQUIND, C. S.; SILVA, F. S.; SILVA, F. T. C. Aplicação da produção mais limpa no processo de clarificação do caldo de cana para produção de açúcar. Revista GEPROS, v. 1, n. 1, p. 59, 2009.

SILVEIRA, L. S. Proposta de Mapeamento de Processos usando a BPMN: Estudo de Caso em uma Indústria da Construção Naval. Florianópolis: III CIDESPORT, 2016.

TEIXEIRA, A. L. A. Mapeamento de Processos: teoria e caso ilustrativo. Rio de Janeiro, PUC-RIO, Departamento de Engenharia Industrial, 22 p., 2013. Disponível em: <www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2013/...pdf/.../ind-analisaalvesteixeira.pdf>. Acessado em: 10/set./2018.

TEIXEIRA, C. J. Operações Unitárias na Produção de Açúcar e Álcool-rev2. 2017.

VIEIRA, S. Estatística para a Qualidade: como avaliar com precisão a qualidade de produtos e serviços. Rio de Janeiro: Campus, 198p, 1999.

WALTER, O. M.F. Carvalho; HENNING, Elisa; CARDOSO, Marcio Evandro; SAMOHYL, Robert Wayne. Aplicação individual e combinada dos gráficos de controle Shewhart e CUSUM: uma aplicação no setor metal mecânico. Gest. Prod., São Carlos, v. 20, n. 2, p. 271-286, 2013. Disponível em:

<www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2013000200003>
Acesso em: 25 mai.2018.

WERKEMA, C. Criando a Cultura Lean Seis Sigma. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WERKEMA, Cristina. Criando a cultura Lean seis sigma. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WERKEMA, Cristina. Lean seis sigmas: introdução as ferramentas do lean manufacturing. Rio de Janeiro: Elsevier, 2ª Edição, 2011.

WERKEMA, M.C.C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 2006.

www.scielo.br/pdf/gp/v15n3/09.pdf >. Acessado em: dia/mês/ano.