



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**



MARCELO VILELA CAIVANO

**REDUÇÃO DE REPROCESSOS EM UMA
INDÚSTRIA DE MILHO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO
DE FERRAMENTAS DA METODOLOGIA 6 SIGMA**

UBERLÂNDIA (MG)

2018

MARCELO VILELA CAIVANO

**REDUÇÃO DE REPROCESSOS EM UMA INDÚSTRIA DE MILHO ATRAVÉS DA
UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DA METODOLOGIA 6 SIGMA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado na graduação em Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de Engenheiro
Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Wisley Falco Sales

UBERLÂNDIA (MG)

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

Agradeço imensamente aos meus pais, e meus irmãos pelo amor, apoio e incentivo não só durante este trabalho, mas por toda minha vida. Amo vocês.

À minha namorada, pelo companheirismo, conselhos e amor.

Agradeço aos meus e companheiros da 89ª turma de Engenharia Mecânica, pela ajuda, suporte e amizade sincera durante essa jornada.

Ao professor Wisley pela orientação, paciência, agilidade e exemplo profissional. Agradeço também à todas outras pessoas não citadas aqui, mas que estiveram envolvidas de alguma maneira.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a redução de reprocessos em uma indústria de sementes de milho devido ao excesso de defeitos físicos no produto final. A maior parcela das sementes defeituosas se trata de grãos ardidos, que, devido à dificuldade de sua remoção no processo, causa grandes impactos na capacidade e rendimento da usina. Para isso, foi utilizada a metodologia 6 Sigma para encontrar as causas raízes através de análises estatísticas aprofundadas e definir as ações necessárias para mitigar o problema. Todo o trabalho foi estruturado no ciclo DMAIC (definir, medir, analisar, implementar e controlar) e se desenvolveu com o auxílio de análises estatísticas e ferramentas da qualidade, como Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Análise de Capabilidade, etc. A partir da análise de todas as hipóteses levantadas, foi possível implementar ações efetivas que obtiveram um ganho muito maior do que inicialmente proposto no projeto.

Palavras-chave: 6 Sigma, Sementes de Milho; Sementes Ardidas; DMAIC; Pareto; Ishikawa; Análise de Capabilidade.

ABSTRACT

The objective of this work is to reduce the reprocess in a corn seed industry due excess of physical defects at the final product. Most of the defective seeds are rotten grains, which, due to the difficulty of their removal in the process, cause great impacts on the capacity and yield of the plant. 6 Sigma methodology was used to find root causes through in-depth statistical analysis and to define the actions necessary to mitigate the problem. All the work was structured in the DMAIC cycle and was developed with the aid of statistical analysis and quality tools, such as Pareto Diagram, Ishikawa Diagram, Capability Analysis, etc. From the analysis of all the hypotheses raised, it was possible to implement effective actions that obtained a much greater gain than initially proposed at the project.

Keywords: 6 Sigma, Corn Seeds; Rotten Seeds; DMAIC; Pareto; Ishikawa; Capability Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista Aérea da Usina de Uberlândia.	11
Figura 2 - Fluxograma do beneficiamento de Sementes de Milho.....	12
Figura 3 - Fluxograma do beneficiamento de sementes de milho (SARAIVA, 2017) ...	13
Figura 4 – Representação de sementes ardidas e sementes boas (SARAIVA, 2017). 15	
Figura 5 – Funcionamento da Color Sorter (SATAKE USA, 2018)	17
Figura 6 - Desenho esquemático do procedimento de um classificador por cor utilizado na produção de sementes. (SARAIVA, 2017)	17
Figura 7 – Fluxo do proceso de limpeza	19
Figura 8 – Fluxograma com locais de amostragem.....	19
Figura 9 – Exemplificação da curva normal de um processo 6 sigma (BRAIN ENGENHARIA, 2018)	21
Figura 10 – Diagrama Impacto x Esforço.	23
Figura 11 - Modelo de Diagrama de Causa e Efeito (Corrêa, 2012).....	25
Figura 12 – Fluxograma do Processo de Aprovação de Lotes	30
Figura 13 – Quadro de acompanhamento das metas no início do projeto (Empresa Estudada, 2018).	31
Figura 14 – Causa dos reprocessos na torre de beneficiamento.....	32
Figura 15 – Análise de Ishikawa do problema de alto índice de reprovação de lotes (Empresa estudada, 2018).....	32
Figura 16 – Causas dos reprocessos por defeito	34
Figura 17 - Percentual de híbridos com alta probabilidade de desenvolvimento sementes ardidas (Empresa estudada, 2018).....	35
Figura 18 - Percentual de híbridos de Uberlândia com alta probabilidade de desenvolvimento sementes ardidas	35
Figura 19 - Percentual de defeitos levantados na pré-avaliação	36
Figura 20– Percentual de reprovações por safra	37
Figura 21 – Volume reprovado por híbrido e representação percentual em relação a todo volume	38
Figura 22 – Capacidade de produção em sacos Inverno x Verão	39
Figura 23 – Quadro de acompanhamento de metas (Empresa Estudada, 2018)	39
Figura 24 - Percentual de ardidos segundo as avaliações do LAS e da produção	41
Figura 25 – Histograma da diferença entre avaliações e análise de capacidade do processo	41
Figura 26 – Margem de erro x Tamanho da amostra no processo de limpeza	43
Figura 27 – Representação prática da margem de erro	43

Figura 28 – Histograma das avaliações de ardidos da produção para os lotes reprovados no LAS	44
Figura 29 – Histograma das avaliações de ardidos reprovados pelo LAS.....	44
Figura 30– Regressão linear das taxas de remoção e repasses da color sorter	45
Figura 31 - Curvas de perdas de rendimento e repasses necessários em função do percentual de ardidos	46
Figura 32 - Número de sacos reprovados, com liberação especial e perda na mesa gravitacional	47
Figura 33 – Range de percentual de ardidos dos lotes reprovados.....	48
Figura 34 – Diagrama Impacto x Esforço das hipóteses confirmadas	50
Figura 35 – Quadro de metas após a implementação do projeto (Empresa estudada, 2018)	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critério de aprovação de lotes no processo de limpeza.	18
Tabela 2 - Interpretação do índice Cpk (Adaptado de Vieira, 1999)	27
Tabela 3 – Resultado da meta estudada em todos os sites do Brasil no ano de 2018 (Empresa Estudada, 2018)	31
Tabela 4 – Análise de Ishikawa sumarizada e estudos necessários	32
Tabela 5 – Coeficientes da regressão linear	45
Tabela 6 – Cálculo de savings do projeto	48
Tabela 7 – Conclusão das hipóteses levantadas	49

SUMÁRIO

1.1.	INTRODUÇÃO	9
1.2	. OBJETIVO	9
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1.	A EMPRESA.....	11
2.1.1.	PROCESSO PRODUTIVO	11
2.1.2.	HÍBRIDOS.....	13
2.1.3	SAFRA.....	14
2.1.4	MANCHAS E PATÓGENOS ASSOCIADOS ÀS SEMENTES DE MILHO.....	14
2.1.5	PROCESSO DE LIMPEZA DETALHADO E PARÂMETROS DE QUALIDADE REQUERIDOS.....	15
2.2.	METODOLOGIA 6 SIGMA E FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	20
2.2.1.	6 SIGMA.....	20
2.2.1.	CICLO DMAIC.....	22
2.2.2.	ANÁLISE DE PARETO	23
2.2.3.	IMPACTO X ESFORÇO	23
2.3.4.	TEORIA DAS RESTRIÇÕES (GARGALO)	24
2.3.4.	DIAGRAMA DE ISHIKAWA	24
2.3.6.	ANÁLISE DE CAPABILIDADE	25
2.3.7.	CÁLCULO DE MARGEM DE ERRO	27
3.	METODOLOGIA	29
3.1.	COLETA DE DADOS	29
3.2.	ANÁLISE DE DADOS	29
4.	RESULTADOS.....	30
4.1	DEFINIR.....	30
4.2.	MEDIR.....	32
4.3.	ANALISAR.....	36
4.4.	IMPLEMENTAR	50

4.4. CONTROLAR.....	51
5. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUÇÃO

Atualmente as empresas procuram constantemente por soluções para as tornarem mais competitivas e diferenciadas no mercado. Essa busca possibilita o crescimento do negócio e a melhoria no índice de satisfação de clientes. Nas indústrias, a excelência operacional a nível de classe mundial é desenvolvida como uma forma essencial para redução de custos e manutenção de vantagem competitiva no mercado.

A melhoria contínua por sua vez é o conjunto de atividades planejadas através das quais todas as partes da organização objetivam melhorar a satisfação do cliente, através de uma análise crítica dos problemas que afetam os resultados, detectando, assim, suas causas raízes e permitindo o desenvolvimento de planos de ação que vão de encontro ao objetivo da companhia. Neste contexto, várias filosofias baseadas na melhoria contínua dos processos foram difundidas. Dentre muitas metodologias, o 6 Sigma se destacou no cenário mundial.

O programa 6 Sigma é, sobretudo, um programa de qualidade que promove o alinhamento da área de qualidade com as estratégias de negócio da organização, além de uma mudança na cultura de uma empresa, pois, após a sua implementação, modifica o posicionamento da empresa em relação aos seus problemas e também sua forma de identificá-los e tratá-los (AGUIAR, 2006). Um dos elementos mais marcantes deste programa é a adoção estruturada do pensamento estatístico. O uso intensivo de ferramentas estatísticas e a sistemática análise da variabilidade são as marcas registradas deste programa (CARVALHO et al., 2012).

Assim, o objetivo deste trabalho, é a utilização de ferramentas 6 Sigma em uma indústria de beneficiamento de sementes na cidade de Uberlândia (MG) de modo que ocorra uma redução na reprovação de lotes por excesso de defeitos físicos. Propõe-se aplicar o método do ciclo DMAIC para definição, medição, análise, e, por fim, resolução e controle dos problemas.

1.2. OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é levantar as causas raiz do problema de alta reprovação de sacos de sementes de milho por excesso de defeitos físicos, sendo assim necessário:

- Criar um plano de ação para atuar nas causas encontradas;

- Buscar a aprovação do plano junto ao corpo gerencial e implementar as ações;
- Criar mecanismos preventivos para manter as melhorias a longo prazo;
- Reduzir em pelo menos 10% o índice de reprovação por defeitos.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A EMPRESA

A empresa de manufatura na qual o estudo será desenvolvido é uma Usina de Beneficiamento de Sementes (UBS) de milho localizada na cidade de Uberlândia-MG. A usina é uma unidade de uma empresa multinacional do ramo de biotecnologia. Atualmente, a companhia é uma das maiores produtoras de alimentos geneticamente modificados do planeta e líder na produção de herbicidas. A unidade de Uberlândia é composta tanto pela manufatura de sementes, com uma unidade de beneficiamento de semente de milho quanto pela pesquisa, responsável por desenvolver produtos geneticamente modificados (híbridos) para a empresa. O produto final produzido na usina é o saco de sementes de milho com 60.000 sementes, suficientes para plantar 1 hectare. Uma vista aérea da unidade é ilustrada na Figura 1.



Figura 1 - Vista Aérea da Usina de Uberlândia.

2.1.1. PROCESSO PRODUTIVO

Nessa seção é descrito o processo de produção e de beneficiamento de sementes de milho transgênicas e convencionais. De forma simplificada, a indústria possui três setores produtivos distintos, cada qual com responsabilidades específicas na produção. São eles: Campo, Recebimento e Torre de Beneficiamento, que será o enfoque do estudo. Contudo, é de grande importância entender os fatores que determinam a entrega de matéria-prima de um setor ao outro.

O processo de beneficiamento das sementes de milho inicia-se no campo. O setor de produção de Campo tem como responsabilidade o plantio das linhagens, pelo cruzamento das mesmas, pelo despendoamento (retirada dos pendões) e pela colheita. A colheita conduzida pelo time de campo é realizada em espiga, de forma que o material transportado para a usina se encontra em espiga com palha para preservação de parâmetros biológicos e de qualidade da semente. Após a colheita dos campos, o material é transportado por caminhões fretados até a Usina e passará pela etapa de recebimento de matéria-prima bruta, que é representada na figura 2.

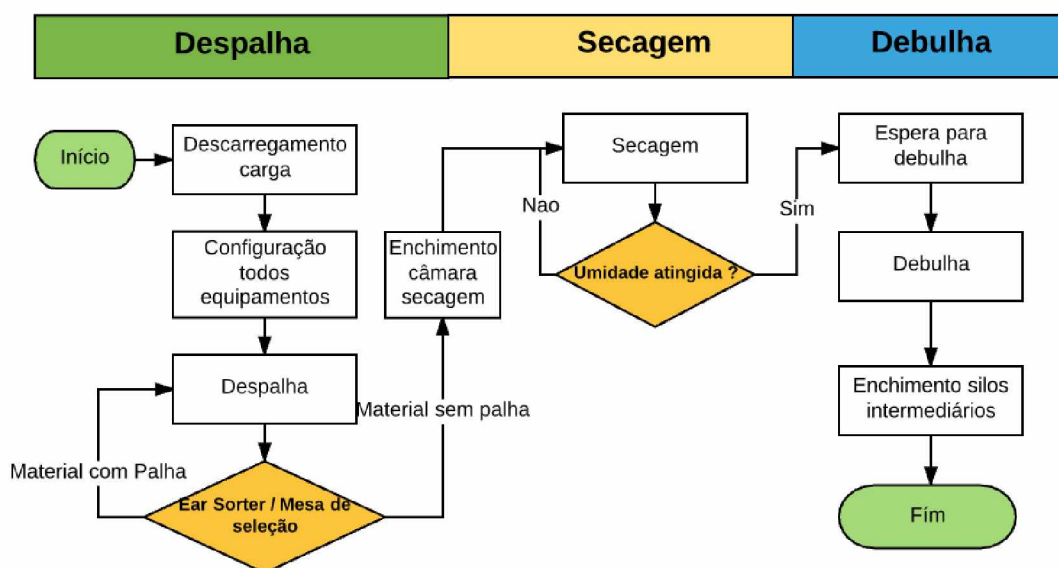


Figura 2 - Fluxograma do beneficiamento de Sementes de Milho

A primeira etapa do setor de recebimento consiste no descarregamento das cargas nas linhas produtivas e o primeiro processo em que o material será submetido é chamado de despalha, no qual através de máquinas denominadas despahadeiras são retiradas as palhas do milho úmido (aproximadamente 30% de umidade). Posteriormente, as espigas serão secadas em compartimentos secadores até que a umidade exigida (entre 12% e 15%) seja atingida. Com a umidade requerida, as espigas passam pelo setor de debulha, na qual as sementes são debulhadas utilizando a debulhadora de milho, restando assim o milho seco e debulhado, denominado DS (Dryed and Shelled).

Após esta etapa, as sementes debulhadas e secas são armazenadas em silos intermediários e já estão aptas para ir para o próximo setor da produção, a Torre de Beneficiamento. Neste setor, as sementes armazenadas são inseridas no processo de pré-limpeza, a partir da utilização do equipamento Delta Cleaner Cimbria®. Este

equipamento é capaz de separar as impurezas e materiais inertes das sementes de milho.

A próxima etapa é a classificação das sementes por tamanhos, que é realizada por intermédio dos classificadores, que são peneiras rotativas com furos redondos e oblongos. Em seguida, as sementes passam pelo setor de limpeza, onde ocorre separação do material por densidade e cor, descartando sementes consideradas ruins. O grande foco deste estudo será justamente nesta etapa do processo.

Na sequência, as sementes percorrem o setor de tratamento, no qual é realizado o banho com uma calda com fungicidas e inseticidas, que protege a planta de milho de fungos e insetos, respectivamente. Após o tratamento, as sementes se deslocam em uma esteira com ventilação, para melhor fixação da calda, e por fim, estão aptas a serem ensacadas. O ensaque e paletização ocorre de maneira automática utilizando robôs. O produto acabado (PA) é estocado em um armazém com climatização adequada. A representação esquemática do processo geral é representada na Figura 3.

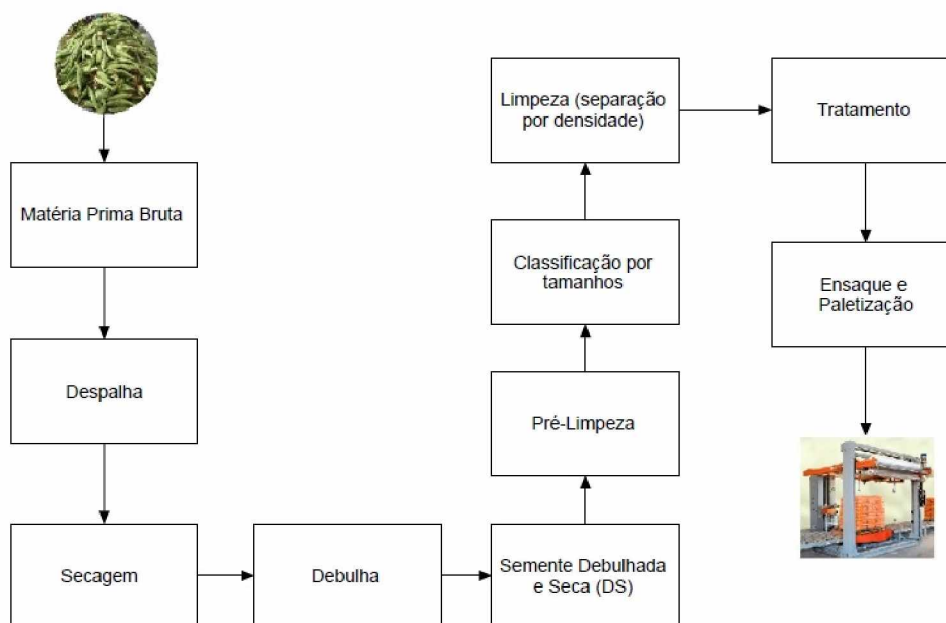


Figura 3 - Fluxograma do beneficiamento de sementes de milho (SARAIVA, 2017)

2.1.2. HÍBRIDOS

A complexidade do negócio de uma usina de beneficiamento de sementes consiste no fato de que, por características intrínsecas a cada híbrido de milho, resultado do cruzamento de duas linhagens geneticamente modificadas ou não, há um comportamento único durante o beneficiamento industrial. Desse modo o processo tem que se adaptar a matéria-prima e não o inverso. Durante cada safra, recebe-se mais de 20 diferentes espécies de híbridos, com características totalmente distintas.

2.1.3 SAFRA

Além do fator “híbrido”, durante a análise de performance da usina, também se considera a separação dos dados por safra como de grande relevância. Safra são os períodos categorizados propícios à colheita de cada material, no Brasil, por conta do clima subtropical há duas safras por ano, a safra de verão e inverno. Para o setor de campo executar suas atividades de colheita, são utilizadas máquinas de grande porte que adentram os campos para realizar a colheita das espigas com palha de forma automática. Esse processo deve ocorrer em datas específicas de acordo com as características fisiológicas de cada híbrido, porém o clima pode interferir em dois pontos, de acordo com as estações específicas.

No verão, a presença de chuvas em maior quantidade de dias impossibilita a entrada das máquinas colheitadeiras nos campos, o que gera um atraso de todo processo de colheita e impossibilita a assertividade da execução do planejamento, gerando acúmulos de campos a serem processados na usina. Além do fator colheita, outro desafio muito grande é a qualidade fisiológica do híbrido, que é afetada com o excesso de intempéries.

Já durante o inverno, ocorre o efeito reverso. A maior estabilidade climática proporciona maior assertividade na execução de todas atividades planejadas do setor de campo fazendo com que durante esse período a usina consiga operar de forma contínua e sem empecilhos devido a fatores climáticos.

2.1.4 MANCHAS E PATÓGENOS ASSOCIADOS ÀS SEMENTES DE MILHO

Como já citado anteriormente, os fatores climáticos possuem influência direta na qualidade fisiológica dos híbridos, gerando machas e patógenos nas sementes de milho, conhecidos como defeitos. Os principais tipos de defeitos em grãos de milho descritos nas normas de padronização estão relacionados com: grãos ardidos, germinados, gessados, preto, fermentado, mofados, carunchados, manchados, descoloridos e quebrados.

O presente estudo focará especificamente em grão ardidos, que, segundo Pinto (2005) são classificados assim quando infectados por fungos e ocorre a descoloração de, pelo menos, um quarto da superfície dos grãos. A coloração desses grãos pode variar de marrom claro a roxo ou de vermelho claro a vermelho intenso, dependendo do patógeno presente.



Figura 4 – Representação de sementes ardidas e sementes boas (SARAIVA, 2017)

Normalmente, a infecção da espiga é responsável pela incidência dos fungos nesses grãos. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) define como sendo ardidos aqueles grãos ou pedaços de grãos que perderam sua cor característica, por ação do calor e umidade ou fermentação em mais de um quarto do tamanho do grão. As anormalidades em sementes de milho podem ocorrer, desde aspecto do material genético, influência de fatores ambientais, até a atuação de microrganismos, quando associado a essas estruturas (REIS et al., 2004).

A norma regulamentativa da ABRASEM (2005) regula as normas para a produção, comercialização e utilização de sementes. Os parâmetros de qualidade exigidos pela empresa são totalmente baseados nessa instrução. Dentre vários critérios, exige-se que as sementes devem possuir um índice de germinação acima de 85%, sendo que a companhia exige pelo menos 90%, buscando entregar uma qualidade acima do que é solicitado. No ponto de vista de sementes ardidas, a instrução normativa não cita nenhum critério, uma vez que, como a germinação já é analisada, não é necessário realizar um teste secundário. A empresa, por sua vez, permite um máximo de 1,5% visto que, apesar de não apresentar nenhum problema de qualidade, possui um aspecto visual que não agrada os clientes.

Outro parâmetro que é controlado pela empresa, mesmo sem a exigência legislativa, é o vigor da semente. O teste que mede esse índice impõe várias condições de estresse hídrico e condições climáticas para verificar o quão resistente a semente é perante condições críticas de plantio.

2.1.5 PROCESSO DE LIMPEZA DETALHADO E PARÂMETROS DE QUALIDADE REQUERIDOS

No processo de beneficiamento de milho, a retirada de defeitos não é realizada

antes da passagem pela Torre. A primeira etapa ocorre na pré-limpeza, entretanto a maior parte de material considerado ruim é descartado mais adiante no processo de limpeza, onde se localizam os equipamentos denominados coluna de ar e color sorter, posicionados em série.

De acordo com Martins (2005), para que as operações sejam realizadas de maneira eficaz nas indústrias de beneficiamento de milho, é necessário o uso de um ou mais equipamentos especializados que permitam a retirada de materiais indesejáveis, gerando um efetivo aprimoramento da qualidade dos lotes em termos de germinação e vigor.

O equipamento denominado coluna de ar é constituído por uma estrutura metálica semelhante a uma coluna, contendo na extremidade inferior um sistema de ventilação que permite regulagens da corrente de ar. A alimentação é feita na parte intermediária da coluna, sobre uma chapa metálica perfurada, assim a ventilação atravessa a chapa metálica perfurada e arrasta o material mais leve, que é interceptado na parte superior da coluna e conduzido para uma bica de saída da máquina. Dessa maneira, o material mais pesado (sementes de boa qualidade), permanece sobre a chapa metálica, sendo conduzido para outra bica de saída da máquina.

Empresas que beneficiam sementes de milho estão cada vez mais investindo em tecnologia na produção de sementes de alta qualidade. Para Godoi (2008), um dos investimentos deve-se a equipamentos modernos, tais como o equipamento de separação das sementes danificadas através de imagens de alta definição e filtros de cores, denominados Color Sorter.

A origem da máquina de separação por cor está associada à fabricação de máquinas de processamento de cereais da corporação Satake no Japão fundada no século 19. O equipamento inicialmente foi utilizado para indústrias de plásticos, alimentos, e em função de adaptações da máquina inseriu-se no setor de sementes.

A classificação eletrônica de cores separa as sementes por diferença de cor, assim como mostra a Figura 5 e 6.

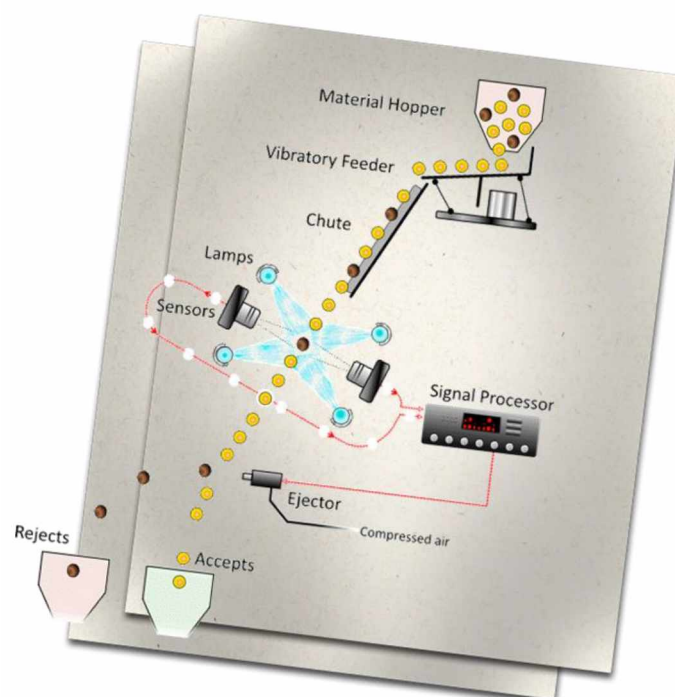


Figura 5 – Funcionamento da Color Sorter (SATAKE USA, 2018)

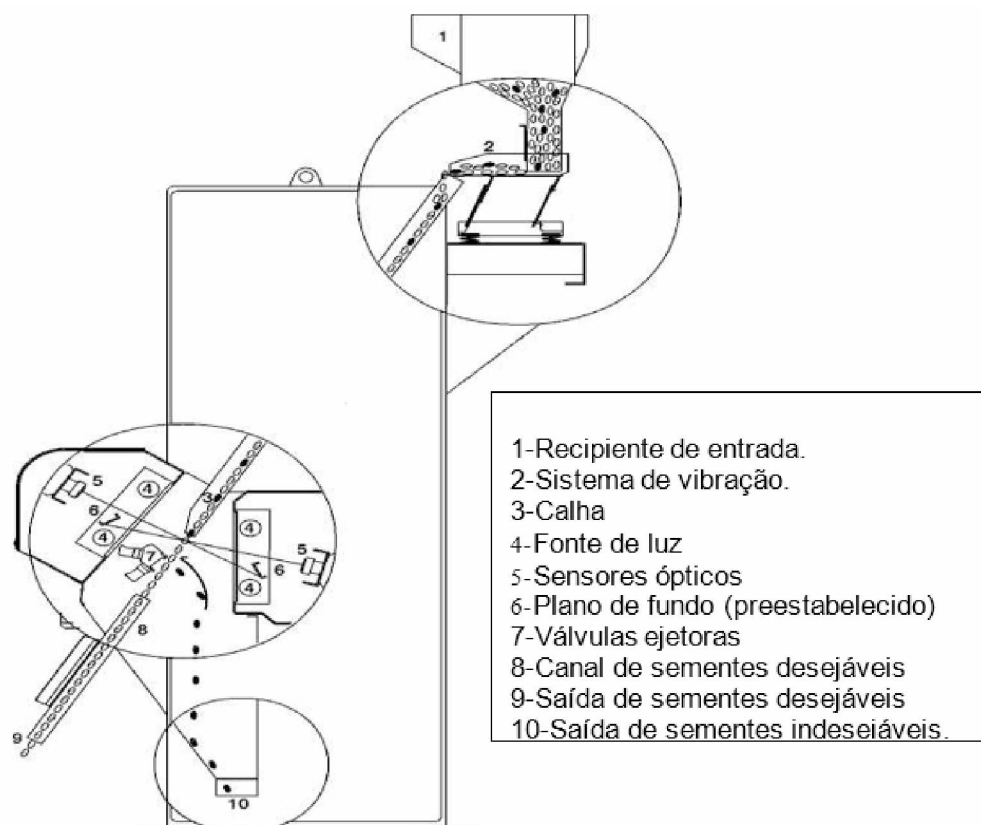


Figura 6 - Desenho esquemático do procedimento de um classificador por cor utilizado na produção de sementes. (SARAIVA, 2017)

A classificação é feita a partir da diferença de tonalidade de semente aceitável

e indesejável. A máquina é programada constantemente pelo operador para remoção do material com uma determinada cor preestabelecida. Cada semente é analisada individualmente, em suas duas faces através de sensores de detecção. Assim cada semente é comparada através de um comprimento de onda de luz específico, criando a diferença das sementes permitida e a não permitida (SILVA, 2012).

Caso seja detectada a cor padrão da semente, estas são direcionadas para bica de sementes boas. Porém, toda vez que o material programado, estiver com alteração da cor ou machas, um jato de ar comprimido é acionado e as sementes são lançadas para fora do fluxo normal das sementes, sendo desviados para a bica de sementes indesejáveis (GREGG et al., 2010).

Obviamente, sementes boas são descartadas juntamente com as consideradas ruins pelo jato de ar comprimido. O grande desafio da operação é buscar a melhor configuração a cada repasse, de maneira que se perca a menor quantidade possível de sementes boas no descarte. Indica-se a recalibração a cada repasse, visto que os defeitos restantes vão ficando cada vez mais parecidos com as sementes boas.

Durante o processo de limpeza, amostradores automáticos retiram uma amostra composta do lote processado. As 200 g extraídas são analisadas visualmente pelo operador do setor, que separa as sementes consideradas boas das ruins. Os critérios de aprovação são expressos na Tabela 1. O operador realiza a pesagem e o cálculo de porcentagem de cada defeito, e caso o critério não seja atingido, é necessário repassar todo o lote novamente pelo processo de limpeza, até que o requisito seja alcançado. Quando o lote é aprovado, segue adiante para o tratamento. O fluxo do processo de limpeza é exibido na Figura 7.

Tabela 1 – Critério de aprovação de lotes no processo de limpeza.

Motivo da Reprovação	Critério de Aprovação	Avaliação 1	Avaliação 2	Impacto
Percentual de Ardidos	$\leq 1,5\%$	Coluna/Color	LAS (Laboratório de Análise de sementes)	Rendimento/Capacidade/Sacaria
Quebradas	$\leq 1\%$	Coluna/Color	LAS	Rendimento/Capacidade/Sacaria
Soma Total de Defeitos	$\leq 2,5\%$	Coluna/Color	LAS	Rendimento/Capacidade/Sacaria

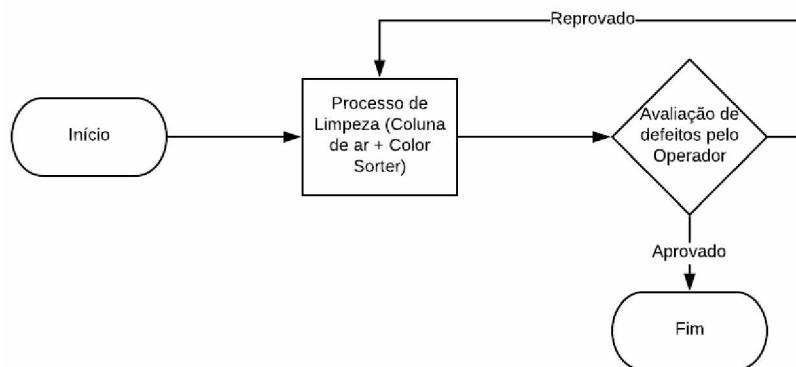


Figura 7 – Fluxo do proceso de limpeza.

Além do processo de amostragem realizado durante a operação de limpeza de sementes para liberação do lote, existe mais uma checagem de defeitos: Outra amostra composta é retirada durante o ensaque e enviada para que o laboratório analise novamente a quantidade de sementes fora do padrão. Se for apontada uma quantidade maior do que o tolerado, todo o lote deve ter seus sacos rasgados e reprocessados até que atinja o valor padrão. Os locais de retirada da amostra são expressos na Figura 8.

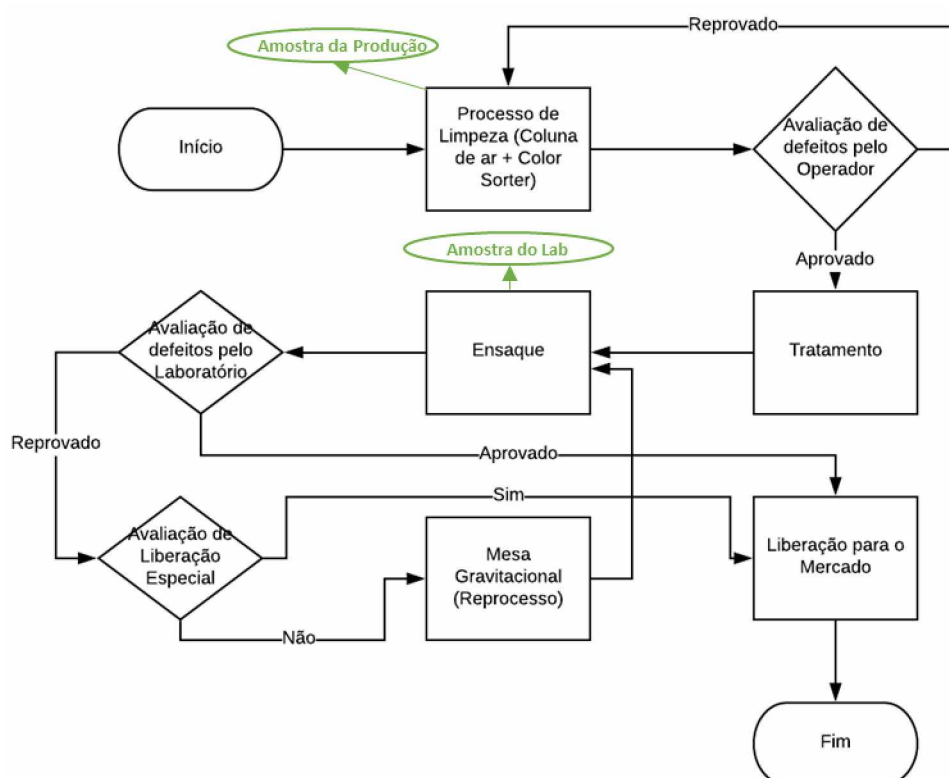


Figura 8 – Fluxograma com locais de amostragem.

Percebe-se que a amostra do laboratório conta com sementes tratadas, enquanto que as da produção não. Dependendo do tipo de produto químico utilizado no tratamento, o defeito torna-se menos aparente.

Um equipamento muito empregado na indústria sementeira, mas que tem perdido espaço nos últimos anos é a mesa de gravidade ou densimétrica. Esta máquina de limpeza cujo princípio de separação baseia-se em separar materiais que diferem

quanto ao peso específico, pode ser utilizadas para retirar dos lotes, sementes defeituosas, já que essas sementes diferem das sementes sadias no seu peso (BICCA; BAUDET; ZIMMER, 1998).

Como a perda de sementes boas é muito grande nesse processo, reduziu-se demasiadamente a utilização desse equipamento. Atualmente na empresa estudada, utiliza-se a mesa gravitacional somente para reprocessos. Isso se deve ao fato de que os reprocessos contam com sementes tratadas, que danificam os sensores ópticos da color sorter.

2.2. METODOLOGIA 6 SIGMA E FERRAMENTAS DA QUALIDADE

2.2.1. 6 SIGMA

A letra grega sigma também é um símbolo matemático que representa uma medida de variabilidade: a distribuição em torno da média de qualquer processo. O termo 6 Sigma (6 Sigma) representa uma medição da qualidade: 3.4 defeitos por milhão de eventos ou 99,99966% de perfeição. Dado um limite tolerado de fabricação, defeito é toda peça fabricada fora desse range.

Em outras palavras, é qualquer coisa que cause insatisfação ao cliente, assim como um produto que não atenda às especificações, serviço ineficiente, etc. Quando uma organização é capaz de reduzir a média de defeitos em seus produtos, menores serão as perdas e maiores serão os lucros.

Para Silva (2011), a metodologia 6 Sigma reúne uma série de ferramentas que auxiliam o controle e planejamento do processo, como por exemplo, Diagrama de Ishikawa, Gráfico de Pareto, DMAIC, Controle Estatístico de Processo, Capabilidade, FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos) e Modelos de Regressão Linear. Segundo Caten (2012), as técnicas e ferramentas utilizadas no 6 Sigma permitem entender melhor o problema, analisar de forma mais crítica as causas, gerar planos de ação, implementar soluções que venham a reduzir as variações e melhorar o desempenho.

Os resultados obtidos pelas empresas que adotaram a metodologia 6 Sigma foram maiores, melhores e muito mais significativos. O grande princípio compartilhado por essa metodologia é que a variabilidade do processo precisa ser entendida e controlada. Dessa maneira, é extremamente importante a utilização da estatística para mensurar os resultados dos processos analisados.

Em termos estatísticos, sigma representa o desvio padrão. Segundo Figueiredo (2006), essa medida quantifica a variação existente entre os resultados (produtos) de qualquer processo. Quanto menor o valor do desvio padrão, melhor o processo, uma vez que esse número mensura o desvio dos resultados em relação à média.

A Figura 9 ilustra muito bem a distribuição de dados de acordo com o nível sigma.

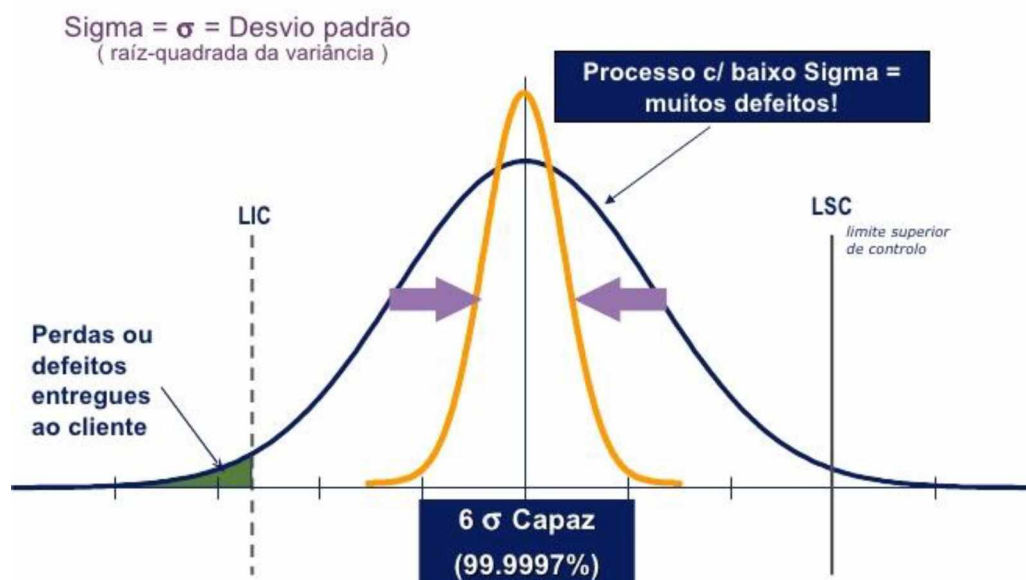


Figura 9 – Exemplificação da curva normal de um processo 6 sigma (BRAIN ENGENHARIA, 2018).

Suponha que a figura 9 se trata de um histograma contendo valores do diâmetro de um eixo. Valores maiores e menores que os limites estabelecidos (tolerâncias), representados pelas linhas verticais, indicam os defeitos. As curvas apresentadas se tratam de curvas gaussianas, também chamadas de normais, que representam a distribuição de dados. Assim sendo, quanto menor é a variabilidade dos dados, ou seja, quando mais fechada é a curva gaussiana, maior é o nível sigma. Dessa maneira, é possível concluir que o objetivo de um projeto 6 Sigma é diminuir o desvio padrão do processo analisado.

A ligação entre o 6 Sigma e a operação do processo normalmente determina a distância e a profundidade das melhorias, também conhecidas como kaizens. Tanto a melhoria do processo quanto o 6 Sigma têm a finalidade de desenvolver soluções focadas em eliminar as causas raiz dos problemas do negócio, sem alterar radicalmente os processos já existentes ou a estrutura organizacional. Operar em um nível mais alto de qualidade não só resulta em clientes mais contentes, mas também aumenta os lucros, reduzindo o desperdício e o retrabalho.

2.2.1. CICLO DMAIC

Segundo Escobar (2010), o DMAIC é um ciclo utilizado para o desenvolvimento de melhorias utilizado no método 6 Sigma. Dessa maneira, DMAIC não é aplicado apenas para diminuição de defeitos, mas também para aumento da taxa de produtividade, redução de custos, melhorias em processos e consequentemente aumento do lucro.

Neste sentido, Oliveira (2005) comenta que a metodologia DMAIC também tem como foco a robustez e simplificação dos processos, de forma a reduzir os níveis de defeitos, buscando a satisfação dos clientes e a lucratividade para a organização. Os objetivos do projeto devem ser mensuráveis e estar relacionados à solução do problema, dentro de uma perspectiva de melhoria contínua.

Para Cleto (2011), o DMAIC é uma metodologia ordenada de etapas que objetivam, através de um grupo de trabalho, avançar na solução do problema, por meio de várias atividades, obtendo informações valiosas na tomada de decisões assertivas. Esta metodologia tem sido muito utilizada por diversas empresas (principalmente americanas) ao longo dos anos, entre as quais, os casos mais notórios foram nas empresas Motorola e General Eletric – GE (BARBIERI, 2010).

Conforme Sokovic (2010), o DMAIC é composto por etapas conectadas, visando melhorar o processo, sendo *Define* (definir), *Mensure* (medir), *Analyze* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar). Segundo o mesmo autor, as etapas são classificadas na seguinte maneira:

- D - *Define*: priorizar, selecionar, definir o escopo do projeto e identificar as necessidades do cliente;
- M - *Mensure*: coletar dados do processo e verificar histórico de informações;
- A - *Analyze*: Analisar os dados coletados e identificar as principais causas;
- I - *Improve*: Levantar ideias, elaborar um plano de ação e executar as ações;
- C - *Control*: Sustentar o ganho, padronizar as ações e monitorar as variáveis do processo.

2.2.2. ANÁLISE DE PARETO

O Gráfico de Pareto é um gráfico de barras verticais que ordena as frequências das ocorrências de uma determinada característica a ser medida da maior para a menor, permitindo priorização dos problemas. Segundo Werkema (1995), o gráfico de Pareto é um gráfico de barras no qual as barras são ordenadas a partir da mais alta até a mais baixa e é traçada uma curva que mostra as porcentagens acumuladas de cada barra.

O princípio de Pareto foi desenvolvido pelo sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto, na qual ele afirma que 20% das causas são responsáveis por 80% dos problemas, o que facilita durante a priorização destes. Essas causas devem ser identificadas e ações devem ser realizadas visando eliminá-las num primeiro momento, para posteriormente se dedicar a eliminar as outras causas que ocorrem com menos frequência, impactando menos nas perdas.

2.2.3. IMPACTO X ESFORÇO

Para compreender o conceito do Diagrama Impacto x Esforço é necessário o conceito de um *Brainstorming* (chuva de ideias). Segundo Godoy (2001), trata-se de uma ferramenta utilizada para gerar novas idéias a partir de um grupo determinado de pessoas. Nesta etapa, uma série de itens é levantada por um conjunto de pessoas, não permitindo a opressão de nenhuma ideia. Após feita a lista, o mesmo time eleje através de votação os pontos de maior relevância.

Matriz Esforço x Impacto: De acordo com Rissi (2014), trata-se de um diagrama gerado a partir do *Brainstorming*, onde as idéias são pontuadas de acordo com o impacto que ela causará no projeto desenvolvido e o esforço necessário para realizá-la. Deve-se atacar inicialmente as idéias que causam o maior impacto com o menor esforço, conforme é exibido na Figura 10.

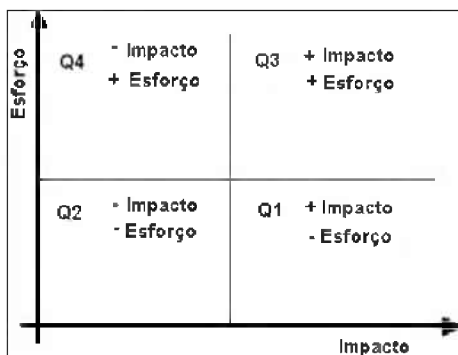


Figura 10 – Diagrama Impacto x Esforço.

2.3.4. TEORIA DAS RESTRIÇÕES (GARGALO)

A Teoria das Restrições (TOC do inglês) tem como base que toda organização, especialmente as com fins lucrativos, possuem no mínimo uma restrição. Se a empresa não possuir nenhuma restrição, sua produtividade e também seus lucros seriam infinitos, o que é impossível na prática.

De acordo com Tubino (2009), a restrição é um local na linha de produção que forma barreiras perante o fluxo de materiais no sistema. Ou seja, gargalo consiste no setor que inibe o desenvolvimento contínuo das operações do sistema produtivo em sua capacidade total. No ambiente de produção, um recurso restritivo é caracterizado por ser qualquer recurso cuja capacidade de produção é menor do que a demanda. Logo, o fluxo da produção tem que ser diminuído no momento em que passa pelo gargalo. Dessa maneira, a capacidade da linha de produção é, na verdade, a capacidade do gargalo.

2.3.4. DIAGRAMA DE ISHIKAWA

De acordo com Carvalho et. al. (2012), o Diagrama de Causa e Efeito foi desenvolvido em 1943 pelo engenheiro químico Kaoru Ishikawa, na Universidade de Tóquio. Ele construiu o diagrama de causa e efeito para explicar a alguns engenheiros de uma indústria japonesa como os vários fatores de processo estavam inter-relacionados. Por isso, o diagrama também é conhecido como Diagrama de Ishikawa.

O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta simples e eficaz na condução de *brainstormings* (ferramenta utilizada para geração de ideias de forma livre, buscando opiniões diversificadas e sugestões que auxiliem no processo de melhoria contínua, também chamado de tempestade de ideias) e na análise de problemas. O objetivo da ferramenta é identificar as possíveis causas raízes de um determinado problema.

Carvalho et. al. (2012) destaca que o diagrama tem uma estrutura muito parecida com uma espinha de peixe, em que o eixo principal representa o fluxo de informações e as espinhas, representam as contribuições secundárias para a análise. Desta forma, a ferramenta possibilita a visualização da relação entre o efeito e suas respectivas causas. A Figura 11 apresenta um modelo do diagrama proposto por Corrêa (2012).

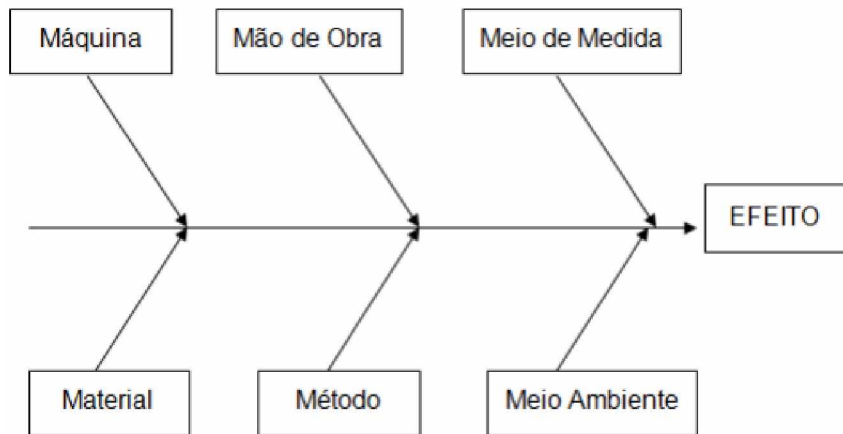


Figura 11 - Modelo de Diagrama de Causa e Efeito (Corrêa, 2012).

A construção dos diagramas de causa e efeito é realizada em um *brainstorming* a partir da definição do problema e então, adicionando ramificações com as possíveis causas, que se enquadram nas seguintes áreas: Máquina; Material; Mão de obra; Método; Medida e Meio ambiente. Assim sendo, Corrêa (2012) afirma que o objetivo é gerar ideias para resolução de problemas por meio das causas gerais que levam ao efeito.

2.3.6. ANÁLISE DE CAPABILIDADE

Segundo Slack (1997), “a capacidade do processo é a medida da aceitabilidade da variação do processo”. Werkema (1995) considera que os índices de capacidade informam se o processo é ou não capaz de fabricar produtos que atendam às especificações dos clientes, tanto internos, quanto externos.

Torminato (2004) afirma que a análise de capacidade é uma etapa extremamente importante do Controle Estatístico do Processo, pois permite determinar a habilidade do processo em satisfazer as especificações e os limites de tolerância propostos, além de diagnosticar o estado de controle dos processos de produção, verificando se são ou não capazes de satisfazer as solicitações dos clientes internos ou externos.

Os índices de capacidade são valores adimensionais, que possibilitam qualificar o desempenho do processo. De acordo com Torminato (2004), os índices de capacidade do processo comumente utilizados são:

- **Índice de capacidade (Cp):** Mede a capacidade potencial do processo, ou seja, sua capacidade de atender as especificações se o mesmo estiver ajustado. É definido como

o intervalo de tolerância dividido pela amplitude do processo, ou seja, 6 vezes o desvio padrão estimado, considerando a ausência de causas especiais:

Onde LSE e LIE representam respectivamente o limite superior e inferior de especificação e σ é o desvio padrão do processo, representado pela equação (2.1).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.1)$$

O índice C_p não avalia a centralização do processo, isto é, a relação entre a média estimada do processo ($\bar{X}$) com os limites de especificação (MONTGOMERY, 2004). Assim o C_p não representa a porcentagem fora de especificação, mas simplesmente um índice de capacidade nominal do processo. Numericamente, se C_p for igual ou superior a 2,0, o processo é considerado capaz, indicando que a faixa de especificação é duas vezes mais ampla que sua dispersão intrínseca. Se C_p for igual a 1,0, o processo é considerado marginalmente capaz, dado que a faixa de especificação é a mesma que sua faixa de dispersão. Por outro lado, se $C_p < 1,0$, o processo não pode ser considerado capaz, dado que a faixa de especificação é menor que sua faixa de dispersão natural.

- **Índice de capacidade (C_{pk}):** mede a capacidade efetiva do processo. Considera simultaneamente se o processo possui uma dada dispersão e se a média atende as especificações levando em conta a centralização do processo e é definido como o mínimo entre o limite superior e o inferior de capacidade. O índice é definido pela equação (2.2)

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{LIE - \mu}{3\sigma}\right) \quad (2.2)$$

Onde μ representa a média do processo e os demais elementos são apresentados como na Equação 1. O índice C_{pk} mede quantos desvios padrões estão situados no intervalo entre a média do processo e o limite especificado mais próximo. Quanto maior o C_{pk} , menor a dispersão do processo ou menor o afastamento da média do processo em relação ao alvo. Como base para interpretação dos resultados toma-se como base a Tabela 2, que correlaciona o índice de capacidade com o nível do processo.

Tabela 2 - Interpretação do índice Cpk (Adaptado de Vieira, 1999).

Cpk	Interpretação	Ações Pertinentes	Relação do valor nominal e a linha central do processo
$Cpk \geq 2,0$	PROCESSO EXCELENTE Altamente confiável	Os operadores têm perfeito controle do processo	Se $Cp = Cpk \rightarrow$ Processo centrado
$1,33 \leq Cpk \leq 2,0$	PROCESSO CAPAZ Relativamente confiável	Os operadores têm que monitorar para evitar deterioração	Se $Cpk \neq Cp \rightarrow$ Processo está fora de alvo
$1,00 \leq Cpk \leq 1,3$	PROCESSO RELATIVAMENTE INCAPAZ Pouco confiável	Exige dos operadores controle contínuo	$Cpk < Cp$ Processo está fora do alvo, mas está dentro dos limites de especificação
$0 < Cpk < 1$	PROCESSO INCAPAZ Podemos ter produção defeituosa	Exige dos operadores controle 100% da produção	$Cpk < Cp$ A linha central do processo está dentro ou coincidindo com um dos limites de especificação (podemos ter 50% de produção acima ou abaixo dos limites de especificação)
$Cpk < 0$	PROCESSO TOTALMENTE INCAPAZ Não tem condições de manter as especificações		$Cpk < Cp$ A linha central do processo está fora dos Limites da Especificação Se $Cpk < -1 \rightarrow$ toda a produção está fora dos Limites de Especificação

2.3.7. CÁLCULO DE MARGEM DE ERRO

Com a finalidade de medir a performance de seus processos, as indústrias necessitam monitorar os parâmetros de seus produtos através de análises do nível de qualidade. Dado uma população com tamanho n , é possível determinar o comportamento geral apenas com uma parcela da população, denominado amostra.

Nesse contexto, a estatística surge como ferramenta essencial na detecção desses níveis, tornando possível o monitoramento dos processos com grande agilidade. A proporção entre o tamanho da amostra e a população, dentre outros fatores, determina a margem de erro entre a amostra e toda a população.

Quando utilizamos dados amostrais para estimar uma média populacional μ , a margem de erro (E) é a diferença máxima provável (com probabilidade igual ao nível de confiança) entre a média observada e a verdadeira média da população (μ). Há uma probabilidade de $1-\alpha$ de uma média conter um erro não superior a E, e uma probabilidade de α de uma média conter um erro superior a E.

Para um intervalo de confiança de 95%, calcula-se a margem de erro segundo a equação 2.3:

$$E = 1,96 \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}}. \quad (2.3)$$

Onde:

$p = 0,5$

N = Tamanho da População

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

3.1. COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada aleatoriamente de hora em hora por meio de formulários eletrônicos padrões ISO e transações do SAP®, que a usina possui para controle de suas operações e indicadores padrões. Tais arquivos estiveram à disposição para a realização de testes e simulações, formando a base para a pesquisa desse trabalho, que conta com o registro de mais de 8000 lotes.

Além disso, dimensões e informações de fabricantes dos equipamentos dos setores mapeados também foram consultadas, além de entrevista e consultas a operadores e trabalhadores do setor.

3.2. ANÁLISE DE DADOS

Os dados coletados foram organizados através do software Microsoft Excel® 2013 e analisados estatisticamente com o auxílio do Minitab® e Spotfire®, e também por premissas do ramo que a usina atua (biotecnologia).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

Neste capítulo, dividiu-se os tópicos utilizando o ciclo DMAIC.

4.1 DEFINIR

De acordo com os parâmetros de qualidade definidos pela companhia, pelo menos 95% do volume de sacos produzidos no mês devem ser aprovados em percentual de defeitos (Tabela 1), segundo a avaliação do laboratório de análise de sementes (LAS). Caso sejam reprovados, um comitê especial realiza a liberação especial para o mercado, se híbrido analisado possuir grande demanda. Todos os lotes que não atingem esse nível de qualidade e nem recebem liberação especial devem ser reprocessados pela mesa gravitacional, segundo a Figura 12.

Nenhum reprocesso pode ser feito na Color Sorter, pois como a semente já está tratada (vermelha), danificaria os sensores ópticos do equipamento. Além da perda de capacidade, o reprocesso de sementes implica em grande perda, visto que a mesa gravitacional descarta mais sementes boas ao retirar as ruins do que a coluna de ar e a color sorter.

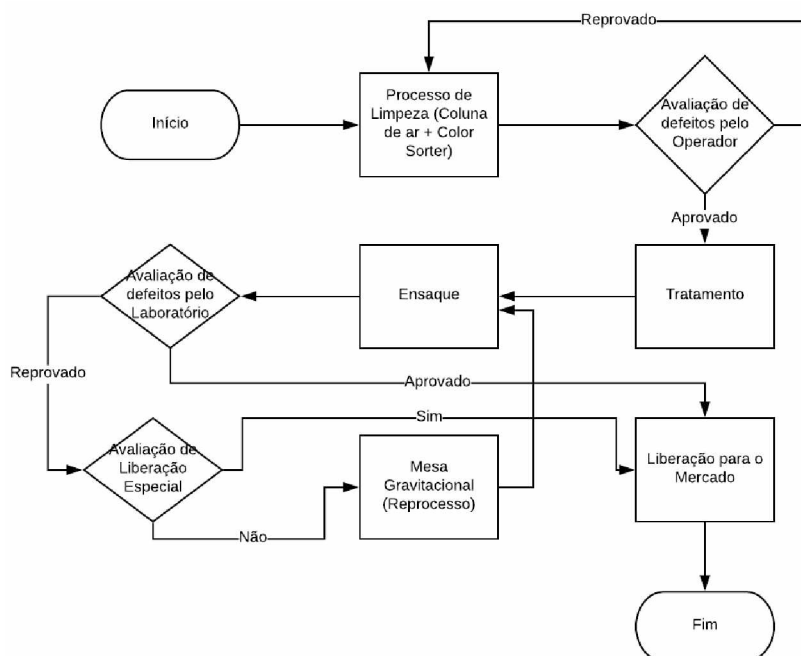


Figura 12 – Fluxograma do Processo de Aprovação de Lotes.

O indicador que mede a porcentagem de aprovação de lotes no critério defeitos físicos é denominado “Aprovação de Lotes de PA”. Analisando a Figura 13, é possível perceber que haviam 3 meses consecutivos onde o resultado estava abaixo da meta. Foi nesse momento que o projeto que dá título a esse trabalho foi iniciado, e o objetivo inicial tinha como escopo a redução de reprovação de lotes e o consequente atingimento da meta.

Metas	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Aprovação lotes PA					
Impressão e costura					
Precisão 60000					
Erros de apontamento					
Acuracidade da MPS					
Acuracidade HPLC					

Figura 13 – Quadro de acompanhamento das metas no início do projeto (Empresa Estudada, 2018).

Como primeiro passo do projeto, foi realizado um *benchmarking* com as demais plantas da empresa no Brasil, e o resultado mostrado na Tabela 3 mostrou que Uberlândia estava com o resultado mais críticos que as outras unidades.

Tabela 3 – Resultado da meta estudada em todos os sites do Brasil no ano de 2018 (Empresa Estudada, 2018).

SITE	JAN	FEV	MAR	ABR
UDI	92,84%	90,08%	94,44%	-
ITA	96,23%	98,81%	86,22%	-
PTU	98,75%	96,14%	95,46%	-
CVE	-	-	-	-
SHG	98,01%	98,92%	-	-

A Figura 14 mostra as principais fontes de reprocesso e seu impacto em volume. A informação abaixo foi essencial para definir qual etapa deveria ser priorizada para reduzir os reprocessos na empresa.

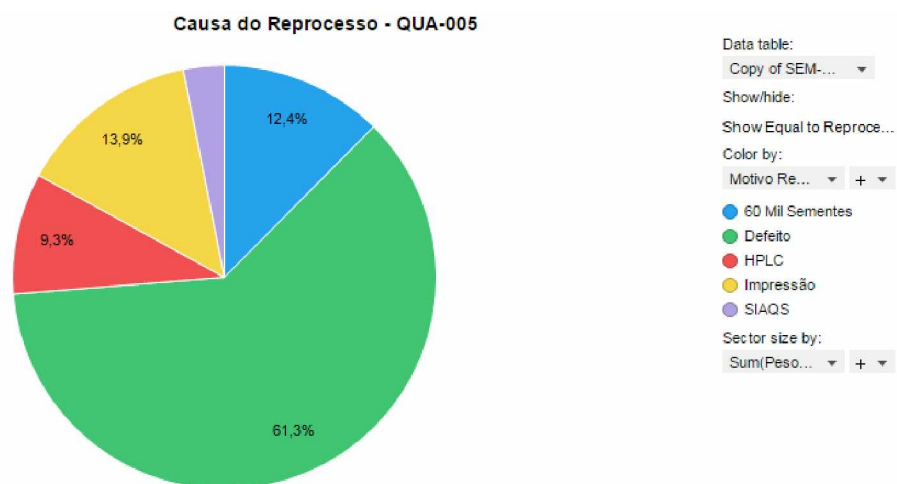


Figura 14 – Causa dos reprocessos na torre de beneficiamento.

4.2. MEDIR

O primeiro passo desta etapa foi reunir uma equipe multifuncional, que envolveu operadores de produção de diversos setores, líderes operacionais, analista de qualidade e engenheiro do setor. Durante a reunião foram levantadas as hipóteses de causas raiz do problema estudado, utilizando para isso o gráfico de Ishikawa, conforme ilustra a Figura 14.



Figura 15 – Análise de Ishikawa do problema de alto índice de reprovação de lotes (Empresa estudada, 2018).

As hipóteses de causa raiz foram sumarizadas na Tabela 4 e os estudos necessários para avaliar a confirmação ou não foram definidos.

Tabela 4 – Análise de Ishikawa sumarizada e estudos necessários.

Código	Hipótese da Causa	Estudos Necessários
H1	Safra	Medir o percentual de volume reprovado no histórico de cada safra.
H2	Híbridos Críticos	Criar um pareto para compreender o peso de cada híbrido no total de reprovações.
H3	Fadiga e Pressão	Avaliar o cenário da meta de produção nos meses críticos de reprovação.
H4	Regulagem do Equipamento	Analisar o impacto da qualidade de regulagem no resultado de aprovação ou reprovação no LAS.
H5	Falta de equipamento gera desvios entre avaliações da Produção e LAS	Criar base de dados com ambas avaliações e comparar.

O segundo passo foi criar uma base de dados pioneira na companhia, que cruzou em mais de 9000 linhas e 40 colunas informações levantadas tanto no processo produtivo quanto no laboratório. Utilizando essas informações provindas de 9 fontes diferentes foi possível, por exemplo, identificar o operador responsável pela aprovação do lote que foi posteriormente reprovado.

Através da base de dados criada, foi possível entender qual o tipo de defeito é o grande responsável pelo maior índice de reprovação do processo. De acordo com a Figura 16, é possível visualizar que mais de 60% de todos os reprocessos por defeitos são devido ao elevado número de sementes ardidas. Essa descoberta foi essencial para o direcionamento de esforços do projeto, que seguindo os princípios de Pareto, priorizou uma parcela de todas as causas para obter um grande impacto.

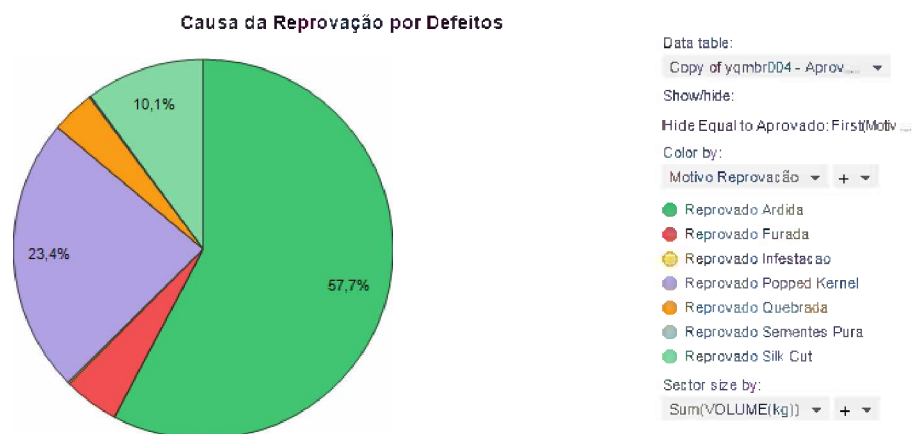


Figura 16 – Causas dos reprocessos por defeito.

Segundo relatos do time da operação do setor de limpeza (Coluna, Color Sorter e Mesa Gravitacional), o percentual de grãos ardidos no total de sementes havia aumentado ao longo dos últimos anos. A partir dessa suspeita, foi necessário fazer uma conexão com o time de desenvolvimento das linhagens dos híbridos para entender se tal suspeita realmente era válida.

O portfólio de sementes produzidos pela companhia envolve mais de 50 tipos diferentes de híbridos. A linha pontilhada vermelha da Figura 17 mostra o percentual de híbridos com alta probabilidade de desenvolvimento sementes ardidas. De fato, é possível verificar que a susceptibilidade de desenvolvimento de grãos ardidos tem aumentado ao longo dos últimos anos. O valor que era abaixo de 30% em 2010, hoje está quase em 80%.

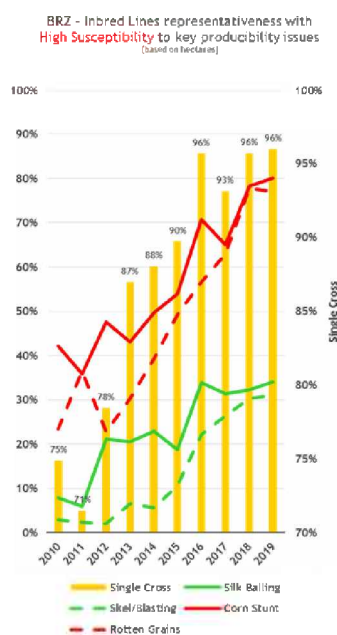


Figura 17 - Percentual de híbridos com alta probabilidade de desenvolvimento sementes ardidas (Empresa estudada, 2018).

Por decisões relacionadas à adaptabilidade do clima, cada híbrido é plantado em uma região específica do país. Dessa maneira, dentro do portfólio de sementes, nem todas são processadas em Uberlândia. A Figura 18 basicamente mostra a mesma informação que a Figura 17, entretanto foram filtrados somente os híbridos processados em UDI. É possível observar que no ano de 2018, 86% do volume processado teve alta susceptibilidade ao desenvolvimento de grãos ardidos, que é superior ao valor de 78% do portfólio. Isso explica o porquê da planta de Uberlândia estar enfrentando mais problemas relacionados a defeitos que os demais sites do país.

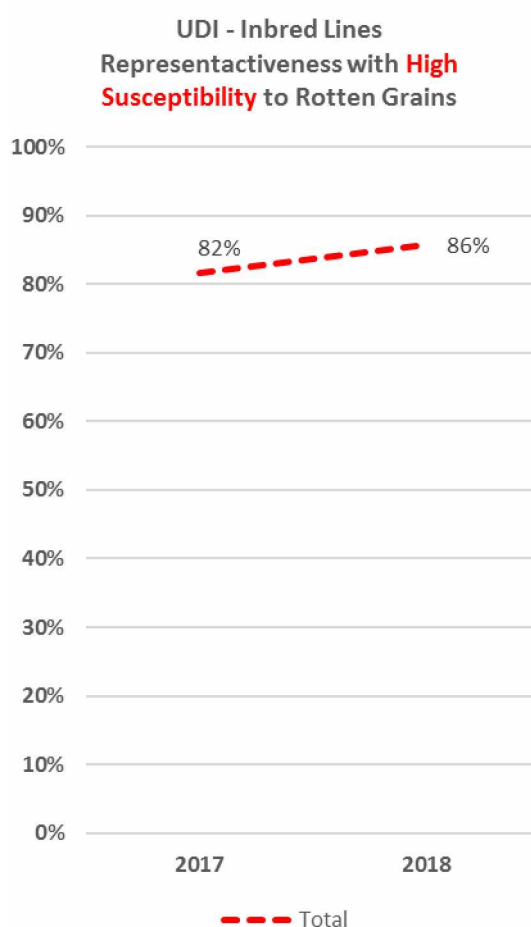


Figura 18 - Percentual de híbridos de Uberlândia com alta probabilidade de desenvolvimento sementes ardidas.

Quando o material está armazenado nos silos intermediários, passa por uma pré-avaliação de defeitos, denominado CD006. Assim é possível prever o comportamento do material antes do mesmo ser processado na torre de beneficiamento. Quanto maior o número de defeitos, mais repasses serão necessários no processo de limpeza, até que o material atinja os parâmetros requeridos e possa seguir para o

tratamento. Esse parâmetro é crítico uma vez que o setor de limpeza é a maior fonte de perdas do processo.

Como a empresa apresentou um resultado de rendimento muito inferior ao ano passado, foi avaliada a possibilidade do crescimento do número de defeitos em relação ao ano anterior. De fato, como mostra a Figura 19, o percentual de defeitos levantados na pré-avaliação aumentou drasticamente de um ano para o outro. Buiate et al. (2008) verificaram que a incidência de grãos ardidos reduz a produtividade de grãos e até mesmo híbridos com alto potencial produtivo podem ter a produtividade reduzida se forem suscetíveis a grãos ardidos. Isso explica o baixo rendimento apresentado em 2018.

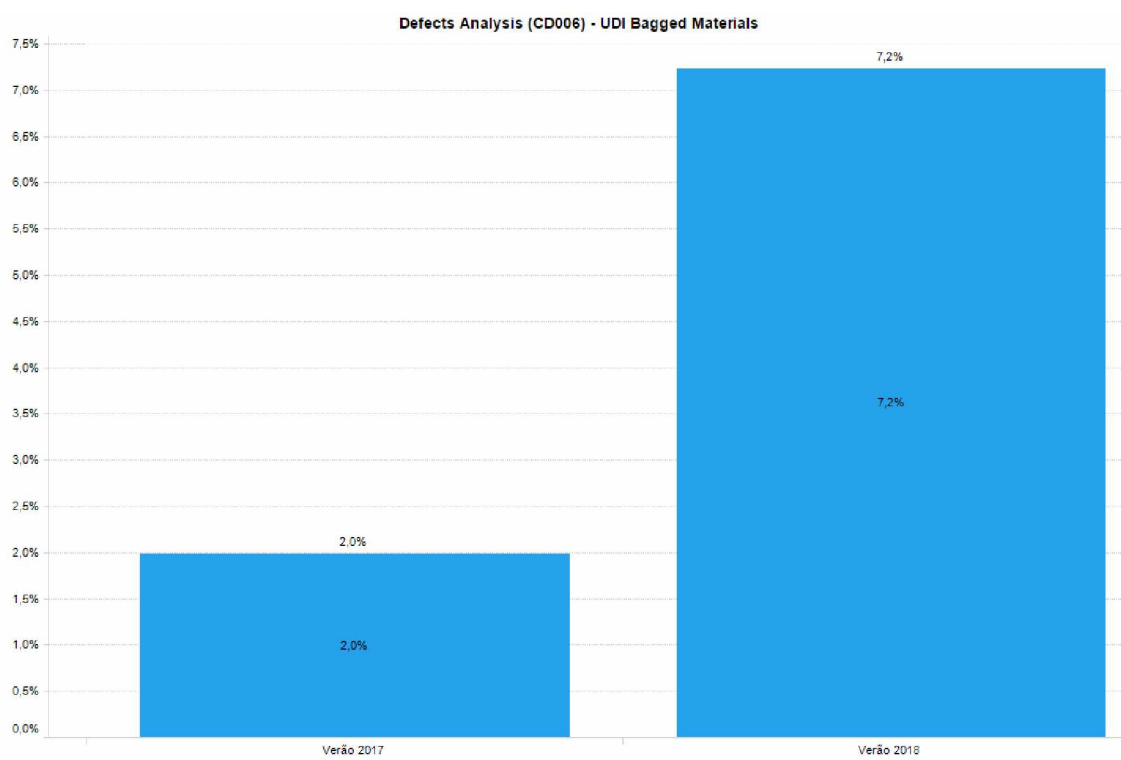


Figura 19 - Percentual de defeitos levantados na pré-avaliação.

4.3. ANALISAR

Conforme as pré-análises foram concluídas, os estudos puderam ser direcionados aos pontos que apresentaram maior impacto. Assim, tornou-se possível avaliar as hipóteses levantadas no diagrama de Ishikawa a partir da análise da base de dados construída na etapa “Medir” do ciclo DMAIC.

4.2.1. HIPÓTESE 1 – SAFRA

Durante a discussão com o grupo multifocal, foi levantada a hipótese de que a safra influencia no índice de reprovação de lotes. Efetivamente, segundo Buiate (2008) a contaminação é favorecida por deficiência hídrica no período de enchimento de grãos e grande quantidade de chuva após a maturidade fisiológica. Além disso, a resistência genética e as condições ambientais interferem diretamente na ocorrência de grãos ardidos em milho.

No verão a incidência de podridões de colmo é mais intensa, pois as plantas sofrem mais com o estresse hídrico na fase de florescimento e espigamento e com o ataque da broca do milho. O fungo é favorecido por temperaturas moderadas e alta umidade, sobrevive na forma de micélio e conídio, em restos de cultura ou em sementes e a disseminação ocorre pela chuva.

De fato, a Figura 20 exemplifica os estudos elaborados sobre grãos ardidos, mostrando que mais de 95% de todo o volume reprovado se tratava de lotes referentes à safra verão (em vermelho). A hipótese 1 foi, portanto, confirmada.

Summer x Winter (% Reproved Bags by Defects)



Figura 20– Percentual de reprovações por safra.

4.2.2. HIPÓTESE 2 – HÍBRIDOS CRÍTICOS

A segunda hipótese levantada pelo grupo foi a de que existiam alguns híbridos que possuíam uma maior probabilidade de serem reprovados. A justificativa dada pelos operadores de produção do setor foi a de que certos híbridos iniciavam o processo de limpeza com um percentual extremamente alto de grãos ardidos, além disso, o defeito apresentado na semente era muito similar à de uma semente saudável, sendo imperscrutável aos olhos humanos e ao do equipamento *color sorter*.

O princípio de Pareto afirma que cerca de 80% das consequências, advém de cerca de 20% das causas. A Figura 21 ilustra exatamente essa afirmação, onde 6

híbridos (15% do portfólio) representaram mais de 72% de todo o volume reprovado. Realmente, a resistência genética interfere diretamente na ocorrência de grãos ardidos em milho (Buiate, 2010). A Figura 17 mostrou que a empresa optou por aumentar o volume de híbridos com alta susceptibilidade de desenvolvimento de grãos ardidos nos últimos anos, e essa decisão implica em enfrentar grandes desafios no processamento destes tipos de material. Dessa maneira, a segunda hipótese também foi confirmada.

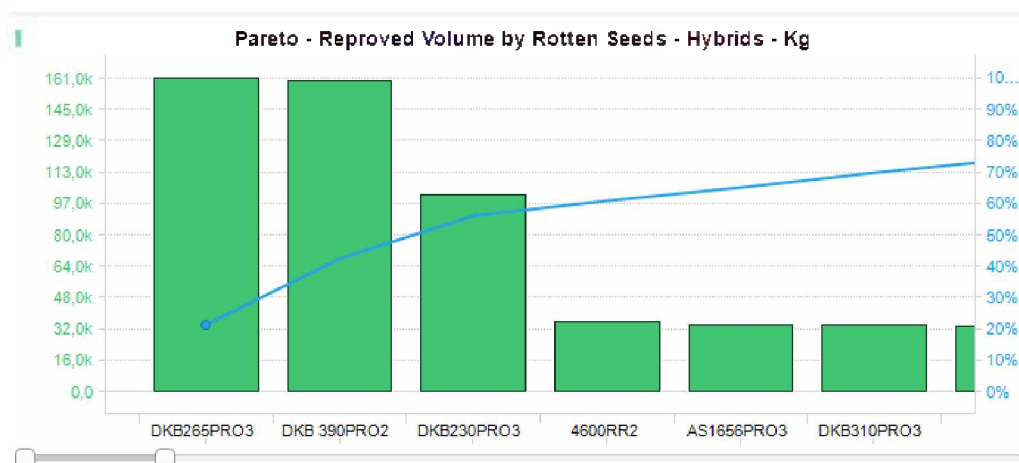


Figura 21 – Volume reprovado por híbrido e representação percentual em relação a todo volume.

4.3.3. HIPÓTESE 3 – FADIGA E PRESSÃO

A terceira hipótese levantada pelo grupo foi a de Fadiga/Pressão. O setor de limpeza, além de ser a maior fonte de perdas em todo o processo, é também o gargalo de produção da torre de beneficiamento. Os colaboradores alegaram que muitas vezes foram necessários mais repasses do que o normal para que o lote fosse aprovado. Para comprovar a hipótese, foi estudada a capacidade de produção da planta tanto no verão quanto no inverno.

Como a incidência de sementes ardidas é muito menor no inverno, são necessários menos repasses no processo de limpeza para que o híbrido seja aprovado para a próxima etapa. De acordo com a teoria das restrições, a diminuição da capacidade do gargalo de produção implica na diminuição da capacidade de produção de todo o processo. Efetivamente, segundo a Figura 22, a capacidade de produção em número de sacos é menor no verão. Em média, são necessários seis repasses no verão, enquanto que três no inverno.

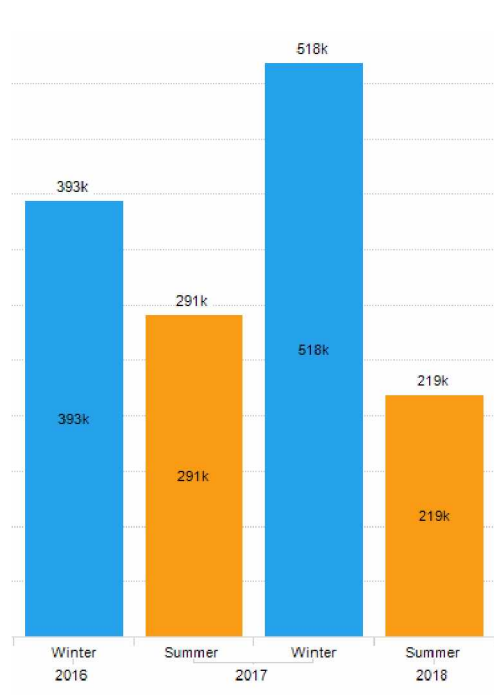


Figura 22 – Capacidade de produção em sacos Inverno x Verão.

A Figura 23 comprova a hipótese 3. A meta “Acuracidade da MPS” representa o cumprimento do número de sacos comprometido no mês. Percebe-se que durante 3 meses seguidos a planta não conseguiu entregar o mínimo de sacos necessários para o mercado. Segundo relatos do time de operadores, muitas vezes foi necessário aprovar o lote de sementes mesmo sem ter a certeza que ele realmente estava apto para seguir. Como a pressão e a fadiga geradas pela necessidade de entrega de material estavam altas, muitos lotes foram aprovados sem o devido cuidado, gerando posteriores reprovações no laboratório de sementes.

Metas	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Aprovação lotes PA					
Impressão e costura					
Precisão 60000					
Erros de apontamento					
Acuracidade da MPS					
Acuracidade HPLC					

Figura 23 – Quadro de acompanhamento de metas (Empresa Estudada, 2018).

4.3.4. HIPÓTESE 4 – REGULAGEM DE EQUIPAMENTO

A Figura 5 ilustra o funcionamento do equipamento Color Sorter. Basicamente, o operador do turno configura a máquina mostrando para a mesma o que é um defeito.

Os sensores do equipamento identificam onde estão os defeitos informados na configuração, envia o sinal para o processador que ordena a remoção da semente doente através dos injetores de ar comprimido. Quando o equipamento não é bem configurado, descarta-se muito mais sementes boas que ruins, e são necessários mais repasses do que o usual.

A partir dessa afirmação é possível concluir que o equipamento mal regulado influencia diretamente na capacidade e no rendimento da torre de beneficiamento. Todavia, a aprovação do lote somente se dá quando o operador de produção avalia visualmente a amostra de 200g, segrega as sementes com defeito, pesa, calcula a porcentagem e compara com a exigência de qualidade. Uma melhor regulação do equipamento implica em uma aprovação mais rápida, entretanto a aprovação se dá a partir da análise visual do operador. Essa hipótese foi, portanto, negada.

4.3.4. HIPÓTESE 5 – FALTA DE EQUIPAMENTO GERA DESVIOS ENTRE AVALIAÇÕES DA PRODUÇÃO E LAS

Como já descrito, as avaliações de defeitos são feitas a partir de análises visuais. É possível identificar que inúmeras variáveis surgem desse processo: Subjetividade, diferença de critérios entre operadores, diferença de critérios entre setores, tempo para análise, condições psicológicas dos operadores, etc.

A partir dessa hipótese, foi analisada profundamente a diferença de avaliações entre os mesmos lotes, com relação a avaliação do operador e o laboratório de análises de sementes. Foi comparada o percentual de ardidos no último repasse do lote e na avaliação após o ensaio, no laboratório. Acreditava-se inicialmente que a solução para essa hipótese seria a aquisição de um equipamento para a realização da análise sem a subjetividade humana, reduzindo para zero o desvio entre as avaliações.

A Figura 24 é um box plot que mostra o percentual de ardidos das avaliações do LAS (acima) e da produção (abaixo). Na esquerda é possível observar o valor para lotes aprovados e na direita os lotes reprovados. Naturalmente, conforme os parâmetros de qualidade, o laboratório reprovou todos os lotes com mais de 1,5% de sementes ardidas.

Entretanto, ao observar a parte inferior direita do box plot, é possível observar que esses lotes reprovados na LAS, em sua maioria, haviam sido aprovados na produção. Isto significa que a produção não visualizou os defeitos da mesma maneira com que foi vista no laboratório.

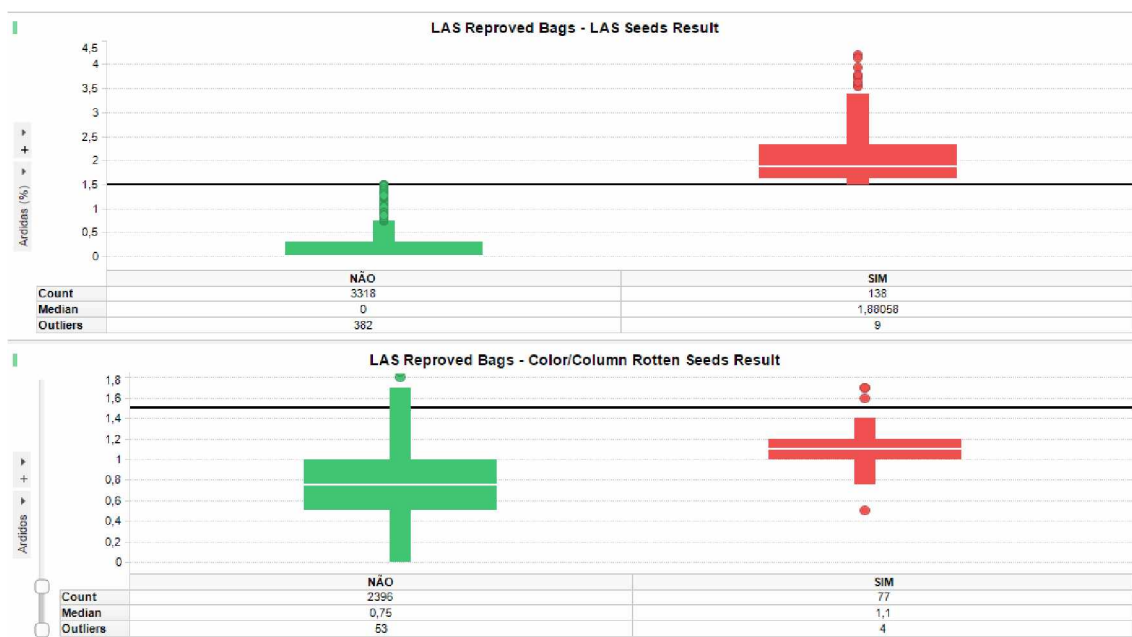


Figura 24 - Percentual de ardidos segundo as avaliações do LAS e da produção

Sabendo desse grave problema, é necessário estudar a saúde do processo como um todo. Para isso, foi utilizado uma análise muito importante na metodologia 6 Sigma, a análise de capacidade. Se o processo estivesse capaz, as avaliações entre produção e LAS deveriam ser bem próximas, já que representam o mesmo lote. Ou seja, o histograma da diferença entre avaliações (Figura 25), deveria estar com a maior parte dos resultados centrados em 0. Todavia, percebe-se que a grande concentração de resultados estão entre 0,5 e 1,0, exibindo o grande desvio entre avaliações.

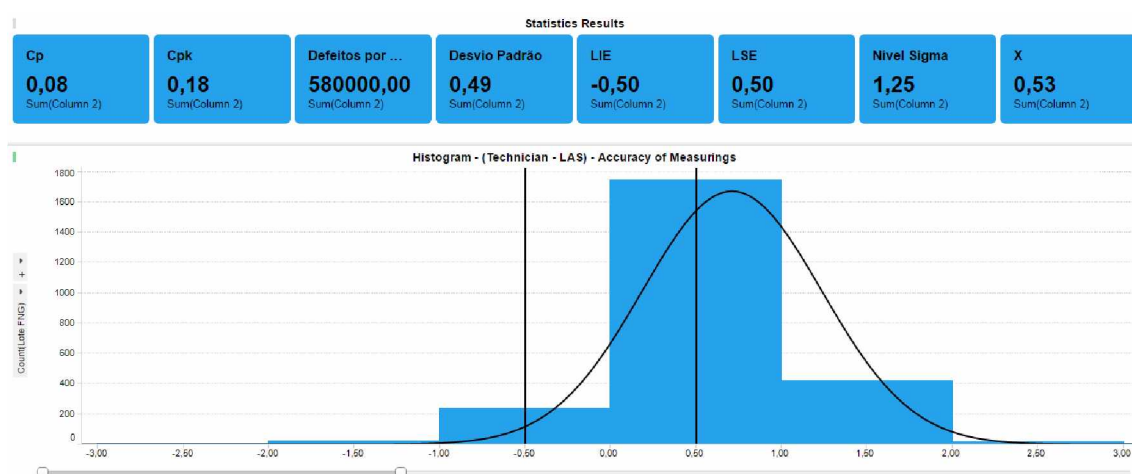


Figura 25 – Histograma da diferença entre avaliações e análise de capacidade do processo.

As análises foram então aprofundadas segundo a metodologia Sigma, e os seguintes resultados foram calculados:

- $C_p = 0,08$. Este coeficiente mede a capacidade do processo e o desvio dos dados em relação a margem de tolerância. Para um processo ser considerado capaz, é necessário um valor de C_p acima de 1. Ou seja, o processo é incapaz.
- $C_{pk} = 0,18$. Além do desvio em relação a margem de tolerância, esse coeficiente também mede a concentração de dados em relação ao ponto médio dos valores de tolerância. Assim como o C_p , para que um processo seja considerado capaz, é necessário um valor acima de 1. O processo também é incapaz, segundo este outro coeficiente.
- Defeitos por Milhão=580.000. Um cálculo de nivelamento do nível do processo informa a quantidade de defeitos (valores fora da tolerância permitida) a cada milhão de produtos (análises). O valor é tão alto, que ao se calcular o nível sigma do processo, encontramos uma maturidade de somente 1,25 sigma, extremamente longe do valor de classe mundial
- Desvio Padrão = 0,49. Esse cálculo indica que os valores observados tendem a estar distantes da média, apresentando assim alta variância.

Este foi o primeiro estudo em toda a companhia que mostrou o tamanho da ineficiência deste processo, que é extremamente relevante para a indústria. Com os resultados apresentados, foi identificada a importância de aprofundar no tema, com o objetivo de entender o motivo pelo qual o processo estava tão ineficaz.

O procedimento de liberação dos lotes permite um máximo valor de 1,5% de ardidos tanto na produção quanto no laboratório. Exemplificando, isso significa que se a produção aprovar o lote com 1,49% e o laboratório constatar 1,51% de ardidos, o material deverá ser reprocessado. Essa situação levou o autor a uma constatação: mesmo se tratando de um processo amostral, as margens de erro inerentes do processo não são consideradas, uma vez que nenhum tipo de desvio é tolerado.

Para a análise do lote processado no processo de limpeza, é retirada uma amostra composta de 200g de sementes de um total de volume que varia entre 1.000 e 14.000 kg de sementes. Para calcular a margem de erro do processo, foi utilizada uma população de 4.000 kg na equação 3.3. A Figura 26 ilustra a curva “margem de erro x tamanho da amostra”, calculada com o auxílio de uma profissional da empresa graduada em estatística.

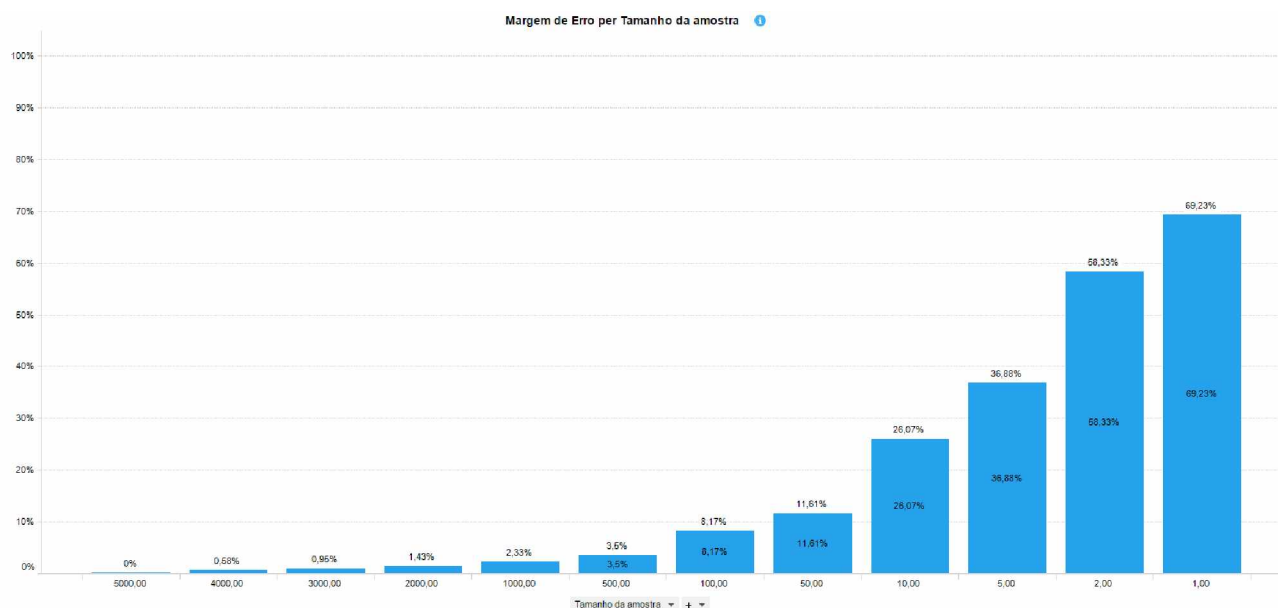


Figura 26 – Margem de erro x Tamanho da amostra no processo de limpeza.

O valor encontrado foi de 69,23% e estatisticamente tem o seguinte resultado: Quando o operador encontra um valor de 1,50% de ardidos em sua amostra, significa que a população inteira apresenta qualquer valor entre 0,5% e 2,5%, para um intervalo de confiança de 95%, assim como exemplifica a Figura 27.



Figura 27 – Representação prática da margem de erro.

De fato, a Figura 28 ilustra muito bem o intervalo calculado. Nesse histograma são exibidas as avaliações da produção para os lotes reprovados no LAS. Encontramos resultados com apenas 0,5% de ardidos que foram posteriormente reprovados no laboratório, que encontrou valores superiores a 1,5%. Além disso, o gráfico também exibe a frequência acumulada (pareto) através da linha amarela. Nela é possível observar que cerca de 80% dos lotes foram reprovados com uma avaliação da produção entre 1 e 1,5% de ardidos.

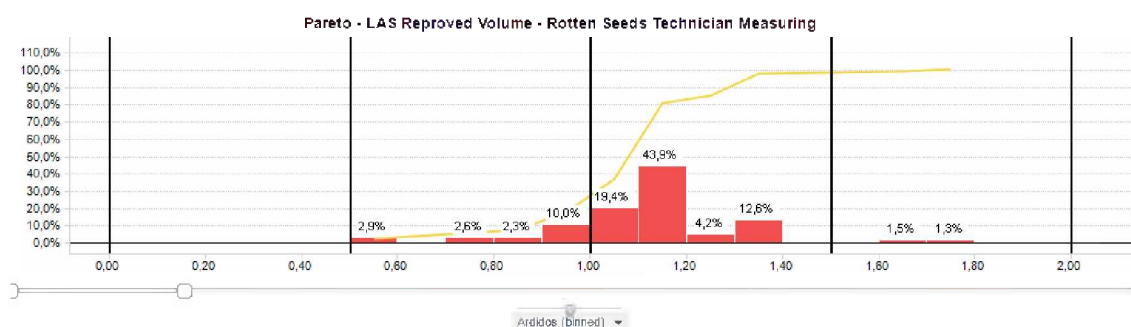


Figura 28 – Histograma das avaliações de ardidos da produção para os lotes reprovados no LAS.

A seguir, a Figura 29 também exibe a frequência dos resultados reprovados, entretanto as avaliações do eixo x são referentes às análises do LAS. Através deste histograma, é possível observar que 80% de todas as reprovações se encontram entre 1,5% e 2,5% de sementes ardidas.

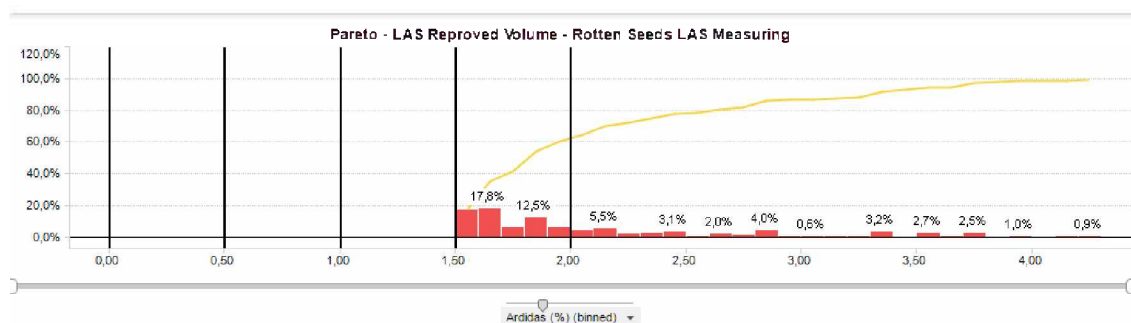


Figura 29 – Histograma das avaliações de ardidos reprovados pelo LAS.

Diante dos resultados acima apresentados e a margem de erro calculada, é possível concluir facilmente que algo deveria ser alterado no procedimento de aprovação de lotes da empresa. Como a opção de aumentar o tamanho das amostras foi considerado inviável, restavam duas opções: Reduzir o nível permitido de sementes ardidas na produção, ou aumentar o critério nas avaliações do LAS. Ambas ações possuem o mesmo objetivo, que é diminuir o número de reprocessos e a consequente perda na mesa gravitacional.

A primeira opção exigiria em média um repasse a mais em cada lote para retirar mais 0,5% de sementes ardidas, diminuindo assim a capacidade e o rendimento da torre de beneficiamento. Para calcular este impacto, foi feita a regressão linear a partir da taxa de remoção de ardidos. Foi calculado utilizando mais de 9.000 dados a taxa de remoção de ardidos de um repasse para o outro, no mesmo lote. A mesma lógica foi utilizada para calcular o número de repasses necessários para reduzir uma quantidade fixa de defeitos.

A partir do resultado calculado na Figura 30, é possível perceber que quanto menos ardidos possuem os lotes, mais difícil é a remoção dos mesmos. Ou seja, quanto menor é a quantidade de defeitos, mais se perde para retirá-los. Isso se deve ao fato de que o equipamento *color sorter* retira inicialmente os ardidos mais acentuados, restando no fim defeitos muito similares às sementes boas.

Os coeficientes das retas são exibidos na Tabela 4. Partindo desse resultado também foi possível traçar as curvas de perdas de rendimento e repasses necessários em função do percentual de ardidos, conforme a Figura 30, tornando-se possível prever o impacto de rendimento e capacidade antes mesmo do lote ser processado. De acordo com o estudo feito, ao reduzir a margem de 1,5% para 1,0%, haveria um impacto de 2% de rendimento e 1 repasse a mais em cada lote, diminuindo assim a capacidade. A primeira opção foi considerada, portanto, inviável.

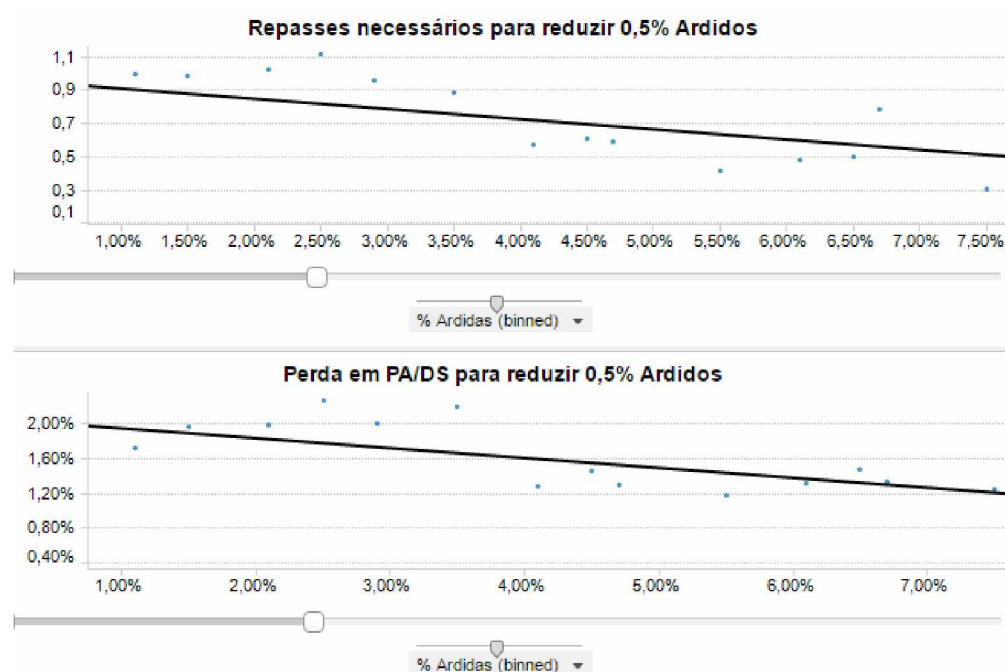


Figura 30– Regressão linear das taxas de remoção e repasses da color sorter.

Tabela 5 – Coeficientes da regressão linear.

Coeficientes da Regressão Linear		
	Repases	PA/DS
Y	0,86	0,02
A	0,97	0,02
B	-6,11	-0,11
X - Ponto Médio	1,8%	1,8%
R ²	0,73	0,71

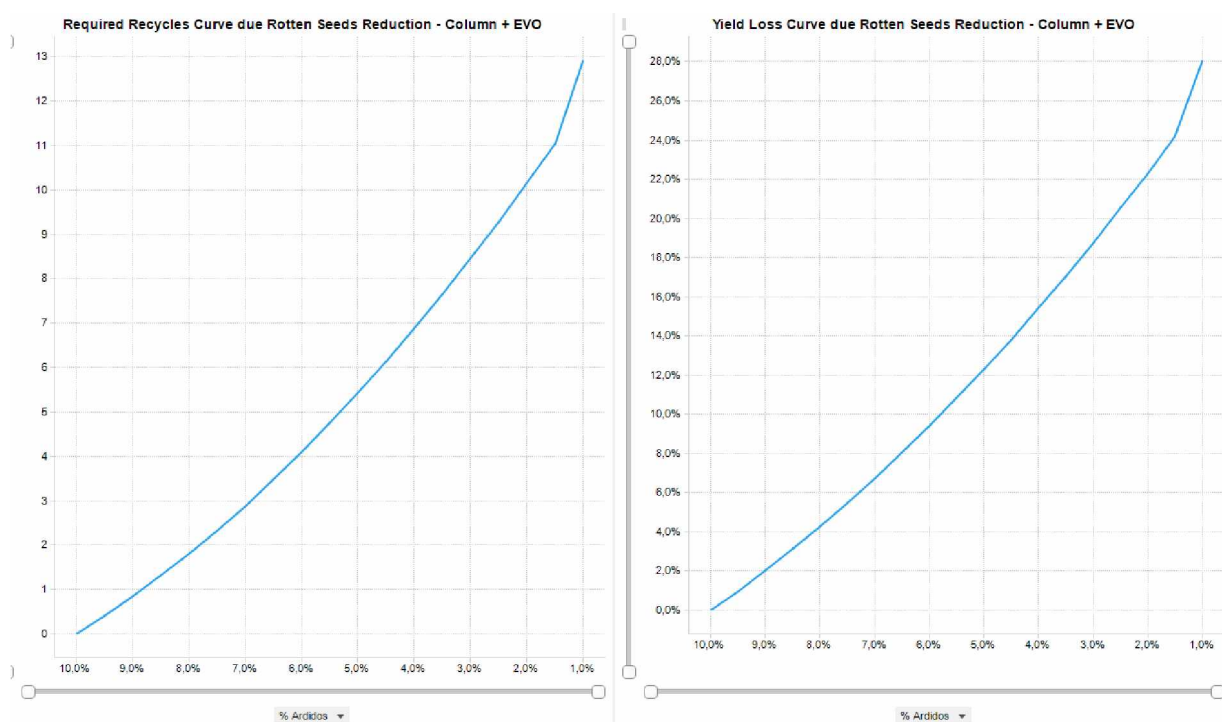


Figura 31 - Curvas de perdas de rendimento e repasses necessários em função do percentual de ardidos.

Já a segunda opção deveria ser avaliada com o time de qualidade da companhia, uma vez que existem legislações nacionais que regulam os níveis de qualidade de sementes no país. Diante dos resultados apresentados, a liderança da companhia, incluindo os gerentes de produção, qualidade e finanças visualizaram a necessidade da tomada de decisão urgentemente. Como a primeira opção foi descartada, foi solicitada a mensuração do impacto financeiro gerado pelo reprocesso, o chamado custo da qualidade, para avaliar a viabilidade da decisão.

A Figura 32 exibe a quantidade total de sacos de milho reprovados no ano de 2017 e no período de janeiro a abril de 2018. A barra vermelha mensura os lotes que obtiveram liberação especial pelo comitê de qualidade, ou seja, foram liberados para o mercado mesmo com a reprovação por ardidos, levando em consideração a demanda pelo produto e os resultados de germinação e vigor das sementes. A barra azul, por sua vez, mostra a quantidade total de sacos que foram, de fato, reprocessados na mesa gravitacional. Já o lado direito exibe o percentual médio de perda de sementes no reprocesso, validado pelo especialista de produção da companhia.

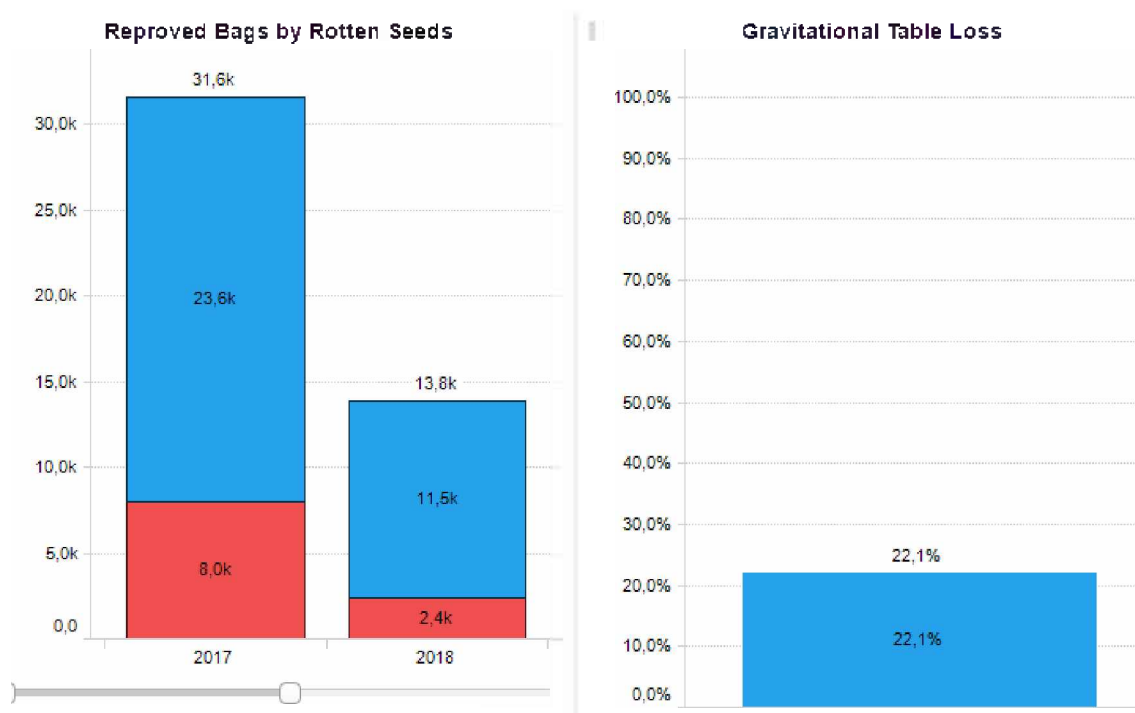


Figura 32 - Número de sacos reprovados, com liberação especial e perda na mesa gravitacional.

Para calcular o número de sacos perdidos por ano em Uberlândia, basta multiplicar os seguintes fatores:

$$\text{Perda de sacos no reprocesso} = \text{Sacos Reprocessados} \times \text{Perda na Densimétrica}$$

O produto dessa multiplicação é igual a 4.192 sacos, que representa 0,375% do total de sacos produzidos no ano.

Quando o material é reprovado no LAS, é possível segregar o percentual da análise por ranges. A Figura 33 ilustra o percentual que cada range de ardidos possui no volume total reprocessado. A partir desse gráfico pizza, é possível verificar que 78,4% de todo o volume reprovado possui menos de 2,5% de sementes ardidas. O objetivo inicial deste projeto foi a redução de reprovações por defeitos. Como 57,7% de todas as reprovações são por sementes ardidas (Figura 17) e desse percentual, 78,4% estão abaixo de 2,5%, tem-se assim um potencial de redução de reprovações por defeitos em 45,3%.

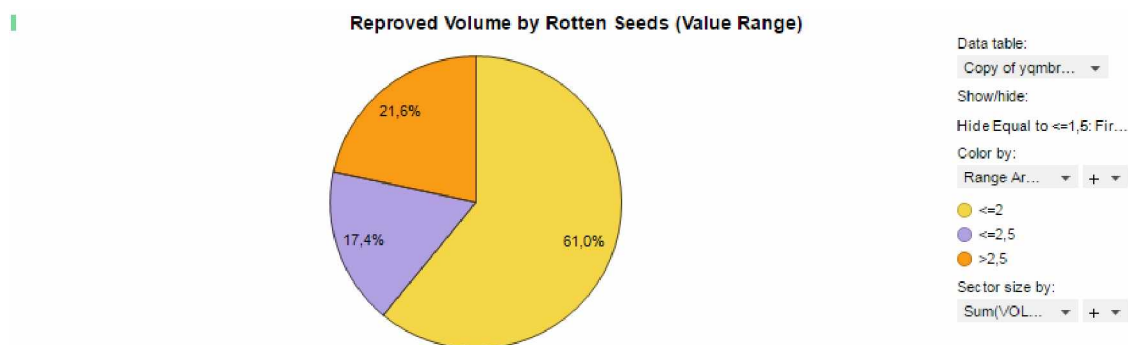


Figura 33 – Range de percentual de ardidos dos lotes reprovados.

É possível obter o número de sacos com até 2,5% de sementes ardidas perdidos no reprocesso. Para isso, basta multiplicar o percentual de materiais reprovados com até 2,5% de sementes ardidas pelo número de sacos perdidos no reprocesso. O produto dessa multiplicação é 4.070 sacos. Como Uberlândia produziu 1.080.523 sacos em 2017, a perda no reprocesso pode ser calculada como 0,376%.

Para calcular o impacto financeiro desta perda, utilizou-se a planilha oficial do time de finanças da empresa. A certificação de qualidade ISO9001 exige a padronização de procedimentos em todas as plantas no Brasil. Dessa maneira, caso o material reprovado até 2,5% de ardidos não fosse reprocessado, haveria um ganho de rendimento (denominado FNG/DS) de 0,376% em todo o país, que representa R\$ 3.350.135,10 por ano, conforme a Tabela 6. Os valores expressos representam ganhos validados pela controladoria da companhia. Pela primeira vez na história da empresa, o preço da qualidade foi medido com esse nível de detalhamento.

Tabela 6 – Cálculo de savings do projeto.

COGM	BGT18	Aumento Volume	Delta
FNG/DS	86.58%	86.95%	0.38%
FNG Kg	110,568,493	111,048,698	480,205
AVG WEIGHT	18.17	18.17	-
FNG Bag	6,084,013	6,110,436	26,423
BAG -> SSU	0.75	0.75	-
FNG Ssu	4,563,010	4,582,827	19,817
SSU/Ha	82.07	82.43	0.36
Total Field Cost	565,503	565,503	-
Total Plant Cost	314,906	315,180	274
Variables	51,699	51,924	225
Total Cost KR\$	932,109	932,607	498
R\$/SSU	204.28	203.50	0.77
Delta R\$/SSU	-	0.77	
Impact in R\$	-	3,550,135.10	
Impact per SSU/Ha	-	9,959,875.96	

Quando a hipótese foi levantada pelo time multifocal na análise de Ishikawa, havia um sentimento comum que os desvios entre as avaliações eram gerados devido às

subjetividades das avaliações humanas. É válido afirmar que esse fator tem certa influência, entretanto a margem de erro oriunda do tamanho da amostra nunca havia sido considerada como causa raiz da diferença entre avaliações. O equipamento de análise da semente poderia até ser adquirido, todavia os desvios continuariam ocorrendo, uma vez que as avaliações são feitas com duas amostras diferentes. A hipótese foi, portanto, confirmada com algumas considerações. As análises das hipóteses foram sumarizadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Conclusão das hipóteses levantadas

Código	Hipótese da Causa	Estudos Necessários	Conclusão
H1	Safra	Medir o percentual de volume reprovado no histórico de cada safra.	Confirmada
H2	Híbridos Críticos	Criar um pareto para compreender o peso de cada híbrido no total de reprovações.	Confirmada
H3	Fadiga e Pressão	Avaliar o cenário da MPS nos meses críticos de reprovação.	Confirmada
H4	Regulagem do Equipamento	Analisar o impacto da qualidade de regulagem no resultado de aprovação ou reprovação no LAS.	Negada
H5	Falta de equipamento gera desvios entre avaliações da Produção e LAS	Criar base de dados com ambas avaliações e comparar.	Confirmada com considerações

4.4. IMPLEMENTAR

As análises feitas identificaram várias causas relacionadas ao elevado número de reprovações de lotes por defeitos físicos. As ações oriundas de cada hipótese confirmada foram apontadas e indicadas no diagrama impacto x esforço, conforme a Figura 34. A partir desse gráfico, foi possível priorizar quais ações deveriam ser tomadas para gerar o maior impacto com o menor esforço.

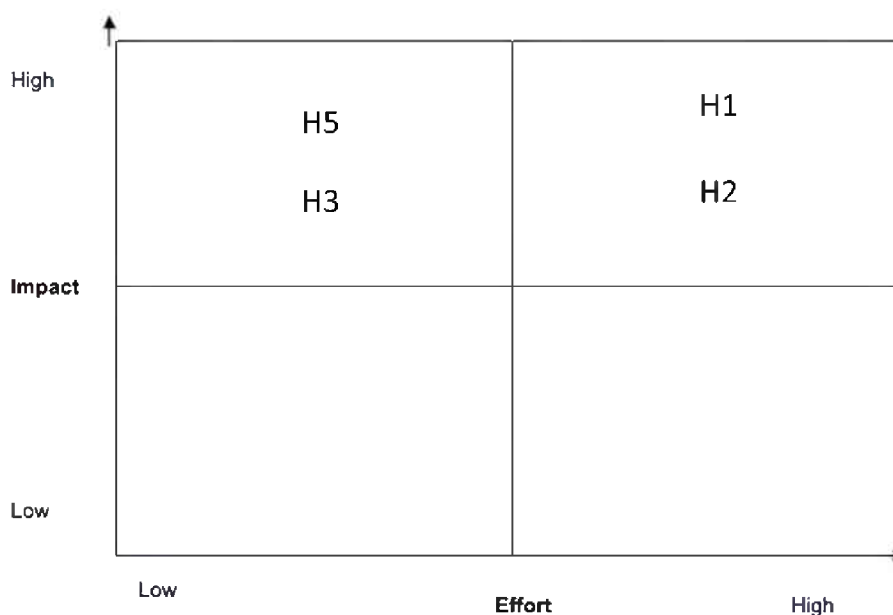


Figura 34 – Diagrama Impacto x Esforço das hipóteses confirmadas.

Segundo a hipótese 3, a capacidade de produção no verão é menor do que no inverno. Isso se deve ao fato do verão apresentar muitas mais sementes ardidas que o inverno. Como essa condição não era considerada no estabelecimento de metas, os meses referentes ao verão quase sempre produziam menos sacos que o objetivo. Após a conclusão deste trabalho, um fator de capacidade de safra foi adicionado no cálculo da meta, reduzindo assim a pressão para a aprovação rápida do lote.

Em relação à hipótese 5, de acordo com a Instrução Normativa 9 (2005), não há nenhuma exigência legislativa que regula a quantidade de sementes ardidas nos sacos. Este parâmetro, que gera tanto impacto na produção, é somente visual. Outras análises, como germinação e vigor da semente já são realizadas, essas as quais, de fato, influenciam no plantio e estão na legislação. A companhia preza muito pela satisfação do cliente, e segundo os próprios líderes, o cliente necessita do híbrido certo, na hora certa, com a qualidade certa. A alteração deste parâmetro vai de encontro com essa visão, pois com menos reprocessos, mais material será entregue em menos tempo.

A justificativa dada para a solicitação desta alteração no procedimento foi com base estatística. Exemplificando, se a produção indica que o lote está com 1,5% de grãos ardidos, isso significa que, para um intervalo de confiança de 95%, o valor real de toda a população é de 0,5% até 2,5%. A contraprova realizada no laboratório não tira a validade da primeira amostra, visto que, caso o LAS aponte 2,3% de ardidos, esse número está dentro do range apontado pela produção.

O projeto 6 Sigma foi apresentado para o diretor de qualidade de toda América Latina da companhia, e a decisão tomada foi a de continuar com os testes de contraprova no LAS, entretanto os únicos lotes reprovados serão aqueles com mais de 2,5% de ardidos, dado os riscos associados às avaliações visuais e o próprio intervalo de confiança. Essa iniciativa confirmou, portanto, o ganho anual de R\$ 3.350.135,10. Além disso, conforme mostra a Figura 35, o objetivo inicial do projeto foi alcançado, uma vez que a meta “Aprovação de Lotes PA” voltou a ficar dentro do limite especificado.

Metas	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Aprovação lotes PA					
Impressão e costura					
Precisão 60000					
Erros de apontamento					
Acuracidade da MPS					
Acuracidade HPLC					

Figura 35 – Quadro de metas após a implementação do projeto (Empresa estudada, 2018).

4.4. CONTROLAR

A ferramenta utilizada para o controle deste processo foi a alteração no procedimento. A certificação de qualidade ISO9001 exige que todas as plantas da companhia operem com trabalho padrão. Dessa maneira, a operação da companhia deverá seguir as instruções de trabalho consideradas no procedimento. O não seguimento das instruções de trabalho é motivo para advertência, sendo assim, um excelente meio para auxiliar no manutenção do processo.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES

Depois do desenvolvimento metodologia proposta, conclui-se que:

- Materiais produzidos na safra verão possuem uma probabilidade significativamente mais alta de serem reprovados por defeitos.
- Somente 6 híbridos (15% do portfólio) representaram mais de 72% de todo o volume reprovado.
- A capacidade de produção no verão é menor do que no inverno. Isso se deve ao fato do verão proporcionar um significativo aumento da incidência de sementes ardidadas. Como esse fato não era considerado no estabelecimento de metas, os meses referentes ao verão quase sempre produziam menos sacos que o objetivo. Após a conclusão deste trabalho, um fator de capacidade de safra foi adicionado no cálculo da meta, reduzindo assim a pressão para a aprovação rápida do lote.
- A regulação do equipamento color sorter não influencia na reprovação do material por defeitos.
- Foi constatado que a margem de erro decorrente do processo de amostragem não era considerada no procedimento, gerando assim muitas reprovações por parte do laboratório. Considerando este fator e aumentando a margem do LAS para 2,5%, é possível aumentar a satisfação do cliente com relação à entrega, reduzir o índice de reprovação de lotes por defeito físico em 45,2% e gerar um ganho anual acima de 3 milhões de reais para a companhia.
- Como proposta de trabalho futuro, recomenda-se analisar a porcentagem de sementes boas no descarte da *color sorter*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRASEM, **Instrução-Normativa nº9**, 2005
- AGUIAR, S. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao Programa 6 Sigma**. Nova Lima: Tecnologia e Serviços LTDA., 18p, pp. 205-206, 2006.
- BARBIERI, G. **Aplicação das ferramentas de controle de qualidade do ciclo DMAIC para redução de refugos em uma fábrica de vassouras**. Monografia para conclusão do curso de Engenharia Mecânica UFRGS. Junho 2010.
- BICCA, F. M.; BAUDET, L.; ZIMMER, G. J. **Separação de sementes manchadas de lotes de sementes de arroz, utilizando a mesa de gravidade e sua influência na qualidade sanitária**. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 20, n. 1, p. 106-111, jan./fev. 1998.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, de 16 de dezembro de 2004. Estabelece as normas específicas e os padrões de identidade e qualidade para produção e comercialização de sementes de algodão, arroz, aveia, azevém, feijão, girassol, mamona, milho, soja, sorgo, trevo vermelho, trigo, trigo duro, triticale e feijão caupi**. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 12 maio 2018.
- BUIATE, E.A.S.; BRITO, C.H. de; BATISTELLA, R.A.; BRANDÃO, A.M. **Reação de híbridos de milho e levantamento dos principais fungos associados ao complexo de patógenos causadores de “grão ardido” em Minas Gerais**. *Horizonte Científico*. Uberlândia, v. 2, n. 1, 2008.
- CARVALHO, M. M. et al. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2 ed. Elsevier: ABEPRO, 2012.
- CATEN, C. T. **6 Sigma: Introdução ao 6 Sigma e Metodologia DMAIC**. Material do Pós Graduação em Engenharia de Produção. PPGE / UFRGS, 2012.
- CLETO, M. G.; QUINTEIRO, L. **Management of projects through DMAIC: A case study in the automotive industry**. *Revista Produção On Line*. Vol, 11, n. 1, Março
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações: Manufatura e serviços, uma abordagem estratégica**. 3 ed. São Paula: Atlas, 2012 de Federal de Lavras. Lavras, MG, 2004.
- ESCOBAR, M. **DMAIC**. Kaizen Institute. Artigo disponível em <http://br.kaizen.com/artigos-e-livros/artigos/dmaic.html>

FIGUEIREDO, G. T. **Metodologia 6 Sigma Como Estratégia Para Redução De Custos: Estudo De Caso Sobre a Redução De Consumo De Óleo Sintético Na Operação De Usinagem.** p. 48, 2006.

GODOI, R. E. Z. **Produção de sementes de milho híbrido.** Seed News, Pelotas, ano 12, n. 5, Sept./Oct. 2008. Disponível em: <<http://www.seednews.inf.br/portugues/seed125/artigocapa124.shtml>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

GODOY, M. H. C. **Brainstorming.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2001.

GREGG, B. R.; BILLUPS, G. L. **Seed conitioning: technology part A e B.** New York: Science, 2010. v. 2, 630 p.

MARCONDES, M. M. **Incidência de podridão de colmo e grãos ardidos em híbridos de milho sob diferentes densidades de plantas e épocas de colheita.** 2012.

MARTINS, G. N. et al. **Influência do tipo de fruto, peso específico das sementes e período de armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de mamão do grupo formoso.** Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v. 27, n. 2, p. 12-17, mar./abr. 2004.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513 p.

OLIVEIRA, G., N. **A metodologia DMAIC: Uma alternativa robusta para melhoria de processos.** Monografia para conclusão do curso de Pós-Graduação em Matemática e Estatística, 2004.

PINTO, N. F. J. de A. **Grãos ardidos em milho. Circular Técnica 66, Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS),** Sete Lagoas, 6p., dez. 2004.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; BRESOLIN, A.C.R. **Manual de diagnose e controle de doenças do milho.** Lages: Graphel, 44p., 2004.

RISSI, L. A. **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA 6 SIGMA PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DA FALTA DE ACURÁCIA NO ESTOQUE DE UMA EMPRESA.** 2014.

SARAIVA, L. A. **IMPLANTAÇÃO DA EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO EM UMA USINA DE BENEFICIAMENTO DE SEMENTES DE MILHO.** 2017.

SATAKE USA. **Scan master high capacity sorters**. Disponível em: <http://www.satakeusa.com/html/vision_system_color_sorters.html>. Acesso em: 5 maio. 2018.

SILVA, C. A. T. DA. **Efeito de manchas na qualidade de sementes híbridas de milho processadas em separador por cor**. 2012.

SILVA, S., P.; SILVEIRA, Z., C.; GALLICCHIO, L., H. **Metodologia 6 Sigma aplicada à redução de refugo no processo de conformação a frio, para sistemas de direção automotiva**. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte, MG – Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

SOKOVIC, M; PAVLETIC, D; KERN PIPAN, K. **Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS**. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol, 43, issue 1, November 2010.

TORMINATO, S. M. **Análise da utilização da ferramenta CEP: um estudo de caso na manufatura de autopeças**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, 2004, 106 p.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VACCARO, G.L.R. **Análise estatística da qualidade de níveis de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica**. Universidade de São Paulo, 2011.

VIEIRA, Sonia. **Estatística para a Qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

Website: <<http://brain-engenharia.com/brain/3/155/six-sigma---origem-e-aplicacao.html>>

Website: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/lpv5705/processamento.pdf>>

Website: <https://pt.slideshare.net/Comunidade_Lean_Thinking/six-sigma-2136268>

WERKEMA, M. C. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. v. 2. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1994.