

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHAREL EM ENGENHARIA QUÍMICA**

CAMILA APARECIDA DA SILVA LUCIO

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE SECAGEM DE AÇÚCAR VHP
EM UM SECADOR-RESFRIADOR DE TAMBOR ROTATIVO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

CAMILA APARECIDA DA SILVA LUCIO

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE SECAGEM DE AÇÚCAR VHP
EM UM SECADOR-RESFRIADOR DE TAMBOR ROTATIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Giane Gonçalves Lenzi

PONTA GROSSA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE SECAGEM EM UM SECADOR-RESFRIADOR DE TAMBOR ROTATIVO

por

Camila Aparecida da Silva Lucio

Monografia apresentada no dia 30 de agosto de 2019 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados¹. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a Dr^a Erica Robertaa Lovo da Rocha
(UTFPR)

Eng.^o Eduardo Abreu
(UTFPR)

Prof^a Dr^a Giane Gonçalves Lenzi
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

¹ A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Química

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.”

(Mahatma Gandhi)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente a Deus, por me fortalecer nos momentos de dúvidas e fraquezas. Sempre me mostrando o melhor caminho a seguir. Que me permita sempre usar minha profissão em benefício das pessoas.

Os mais sinceros agradecimentos à minha mãe Tania e ao meu pai Claudio, que nunca pouparam esforços em me oferecer uma educação de qualidade e sempre me apoiaram e me incentivaram em todos os momentos.

Aos meus queridos amigos, Isabela, Gisele, Gezillainne e Raul, que foram fundamentais neste processo de formação, me dando auxílio nos momentos difíceis, mas, sobretudo, me dando infinitos motivos para sorrir e agradecer.

Aos meus queridos mestres, que me ensinaram não só a parte teórica, mas também sobre a vida. Em especial a minha querida orientadora Giane Lenzi, por acreditar em mim e no meu trabalho, por toda paciência nos meus momentos de angustias, você foi essencial para o sucesso dessa trajetória.

À empresa onde foi realizada a pesquisa, que me apresentou profissionais tão especiais e importantes para minha carreira profissional que levarei para minha vida e me proporcionou uma experiência tão marcante e transformadora em minha graduação, que me inspirou a realizar este estudo. E, também, a todos os colegas que tive o prazer de trabalhar, principalmente os que participaram das análises e experimentos no decorrer deste trabalho.

A UTFPR-PG e todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para construção da profissional que estou me tornando.

RESUMO

LUCIO, Camila Aparecida da Silva. **Análise da Variabilidade do Processo de Secagem de Açúcar VHP em um Secador de Tambor Rotativo**. 2019. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

Em todo processo de produção sempre existirá a variabilidade, cujo excesso resultará em perdas. Neste sentido, foi analisada nesta pesquisa a variabilidade do processo de secagem em um secador-resfriador de tambor rotativo com a utilização de algumas ferramentas de controle estatístico do processo, em uma usina produtora de açúcar e álcool. Tais ferramentas podem auxiliar os gestores em tomadas de decisão para melhoria da qualidade, pois podem proporcionar redução das causas de variabilidade minimizando os desperdícios. As variáveis analisadas para avaliar a variabilidade do secador foram: cor e umidade do açúcar. Foi avaliado também o desempenho do secador-resfriador no processo de secagem pela variável temperatura de saída do secador, considerada a mais crítica. Para isto, foram aplicadas as seguintes ferramentas estatísticas: Folha de verificação, diagrama de causa e efeito, Gráfico de controle da média, amplitude, Índices de capacidade de processo. Através do diagrama de causa e efeito puderam ser identificadas causas dos fatores que afetam o desempenho do secador-resfriador em relação a temperatura final do açúcar. Com os dados coletados foi possível realizar os gráficos de controle e identificar causas especiais no processo. Para o estudo da capacidade, mostrou-se que a usina não é capaz de atender os limites de especificação do processo.

Palavras-chave: Qualidade. Controle Estatístico de Processo. Secagem. Açúcar.

ABSTRACT

LUCIO, Camila Aparecida da Silva. **Variability Analysis of the VHP Sugar Drying Process in a Rotary Drum Dryer**. 2019. 44 f. Course Conclusion Paper (Bachelor of Chemical Engineering) - Federal Technological University of Paraná, Ponta Grossa, 2019.

In every production process there will always be variability, the excess of which will result in losses. In this sense, it was analyzed in this research the variability of the drying process in a rotary drum cooler with the use of some statistical process control tools in a sugar and alcohol producing plant. Such tools can assist managers in decision making for quality improvement as they can reduce variability causes by minimizing waste. The variables analyzed to evaluate the variability of the dryer were: color and moisture of sugar. The performance of the dryer-chiller in the drying process was also evaluated by the variable output temperature of the dryer, considered the most critical. For this, the following statistical tools were applied: Checklist, Cause and Effect Diagram, Mean Control Chart, Amplitude, Process Capacity Indexes. Through the cause and effect diagram it was possible to identify causes of the factors that affect the performance of the cooler in relation to the final sugar temperature. With the collected data it was possible to perform the control graphs and identify special causes in the process. For the capacity study, it was shown that the plant is not able to meet the process specification limits.

Key-words: Quality. Statistical Process Control. Drying. Sugar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Análise de Capacidade por meio do Histograma	19
Figura 2 - Representação de um secador rotativo de aquecimento direto.	23
Figura 3 - Diagrama de Causa e Efeito	29
Figura 4 - Gráfico da média da cor do açúcar	33
Figura 5 - Gráfico do desvio padrão da cor do açúcar	33
Figura 6 - Gráfico da média da umidade do açúcar	35
Figura 7 - Gráfico do desvio padrão da umidade do açúcar.....	35
Figura 8 - Gráfico da média da temperatura do açúcar.....	36
Figura 9 - Gráfico da média da temperatura sem causas especiais.....	37
Figura 10 - Análise da Capacidade do Processo	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise para o fator mão de obra	30
Quadro 2 - Análise para o fator materiais.....	30
Quadro 3 - Análise para o fator máquinas.....	31
Quadro 4 - Análise para o fator medidas.....	31
Quadro 5 - Análise para o fator métodos.....	32
Quadro 6 - Análise para o fator meio ambiente.....	32

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	13
2.1	GERAL	13
2.2	ESPECÍFICOS	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1.	CONTROLE DE PROCESSO	14
3.1.1.	CAUSAS DE VARIABILIDADE DO PROCESSO.....	15
3.2.	CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO	15
3.3.	FERRAMENTAS ESTATICAS DE CONTROLE DA QUALIDADE.....	16
3.3.1.	FOLHA DE VERIFICAÇÃO.....	16
3.3.2.	FLUXOGRAMA.....	17
3.3.3.	DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	17
3.3.4.	GRÁFICOS DE CONTROLE	17
3.3.5.	HISTOGRAMA.....	18
3.3.5.1.	TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROLE.....	18
3.3.6.	CAPABILIDADE OU CAPACIDADE DE PROCESSO	19
3.4.	SECAGEM	21
4.	METODOLOGIA	25
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	25
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA USINA DE AÇÚCAR E ÁLCOOL	26
4.2.1	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM	26
4.3	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DO PROCESSO	27
4.4	COLETA DE DADOS	27
4.5	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	28
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1.	CAUSAS QUE CONTRIBUEM PARA A PERDA DA QUALIDADE DO PROCESSO E SUGESTÕES DE MELHORIA.....	29
5.2.	VARIABILIDADE PARA A VARIÁVEL COR DO AÇÚCAR.....	33
5.3.	VARIABILIDADE PARA A VARIÁVEL UMIDADE DO AÇÚCAR.....	35
5.4.	DESEMPENHO PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA DE SAÍDA	36
6.	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE	43

1. INTRODUÇÃO

Atualmente as empresas estão inseridas em um ambiente competitivo e globalizado onde a qualidade dos produtos e o baixo custo acabam sendo primordiais para se tornarem eficazes em seus ramos de atividade. Nesse sentido, houve um grande avanço para implementação de Ferramentas da Qualidade nas organizações produtoras de açúcar e álcool.

Tem-se observado uma nova interpretação do conceito de qualidade, em que a técnica clássica de controle sobre o que já foi produzido vem sendo ampliada para uma visão holística da qualidade, principalmente para uma postura estratégica em relação ao controle de custos e gestão de desperdícios. A tendência observada é que seja aplicado o aperfeiçoamento contínuo da qualidade em todos os processos de produção da empresa (SANTOS, 2009).

Para alcançar níveis mais altos de qualidade em todas as fases do processo, métodos estatísticos vêm sendo reconhecidos cada vez mais como instrumentos importantes para diagnosticar e apresentar soluções para problemas relacionados aos produtos e aperfeiçoar a gestão de operação dos processos. Dentre eles, o Controle Estatístico de Processo (CEP) e, em particular, Diagrama de Causa e Efeito, Gráficos de Controle, Índices de Capacidade e Análise de Variância, entre outros (ALONSO, 2008). O CEP possibilita monitorar as características de interesse de um processo, assegurando sua manutenção dentro de limites preestabelecidos e indicando quando adotar ações de correção e melhoria (SILVA, RIBEIRO e MÉLO, 2008).

A secagem é um dos fenômenos físicos mais comuns e de maior importância na natureza e no setor industrial. Consiste basicamente na retirada de umidade de um determinado material, sendo essa retirada ocorrida mediante o fornecimento de energia térmica (GEANKOPLIS, 2003). Industrialmente a secagem é uma operação unitária largamente utilizada numa variedade de processos, incluindo indústrias químicas, de alimentos, de mineração, papel e celulose, entre outras e visa a padronização e melhoria de propriedades físicas de materiais (LEONEL, 2014).

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a variabilidade do processo de secagem em um secador-resfriador tambor rotativo com o uso de algumas ferramentas estatísticas da qualidade. Com o propósito de contribuir com a melhoria do processo

de secagem na fabricação de açúcar, identificando as causas que afetam o bom funcionamento do processo e possíveis oportunidades de melhorias.

Foi realizado um estudo de caso em uma usina produtora de açúcar e álcool. Com análises de variáveis de qualidade para avaliar o desempenho e a variabilidade do processo de secagem. Sendo assim, neste trabalho propõe-se verificar as principais causas de variabilidade no processo de secagem em um secador-resfriador de tambor rotativo.

2. OBJETIVOS

Nesta seção, serão abordados o objetivo geral e os objetivos específicos que conduzirão este trabalho.

2.1 GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a variabilidade do sistema de secagem na produção de açúcar em uma indústria sucroalcooleira.

2.2 ESPECÍFICOS

Como forma de atingir o objetivo geral proposto, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Acompanhar as variáveis: cor do açúcar, temperatura de saída do açúcar e umidade final do açúcar de um do secador-resfriador de tambor rotativo.
- Analisar os dados obtidos utilizando ferramentas estatísticas da qualidade.
- Verificar as condições que afetam a variável temperatura de saída do produto final.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na presente seção, serão explanados assuntos pertinentes ao entendimento do estudo, baseado em uma revisão de literatura.

3.1. CONTROLE DE PROCESSO

O aumento da competitividade entre as empresas e a expansão das exigências dos consumidores têm causado significativas mudanças na produção em todo o mundo. Muitas indústrias foram confrontadas com a necessidade de melhorar os seus produtos. Como consequência, o controle da qualidade de seus produtos e serviços tornou-se extremamente importante para garantir a satisfação do cliente e gerar lucro. (Louzada et al.,2019).

Nos processos industriais, as condições de operação estão sujeitas às variações ao longo do tempo, como por exemplo: pressão, vazão, temperatura. O controle de processo atua sobre essas condições, de modo a reduzir as variabilidades inerentes ao processo, atendendo de uma melhor forma os requisitos de qualidade e segurança.

A análise de processo é a análise que esclarece a relação entre os fatores de causa no processo e os efeitos como qualidade, custo, produtividade, etc., quando se está engajado no controle de processo. O controle de processo tenta descobrir os fatores de causa que impedem o funcionamento suave dos processos. Ele procura assim a tecnologia que possa efetuar o controle preventivo. Qualidade, custo e produtividade são efeitos ou resultados do controle de processo. (Ishikawa,1993, p.79).

O bom desempenho da produção de açúcar e etanol depende não apenas dos aspectos ambientais, sociais e culturais, mas também do esforço interno da empresa, modernizando-se e adaptando-se para responder às pressões e novos desafios do mercado (Manoel et al., 2016). Nesse sentido, ter um bom controle dos processos e realizar melhorias para evitar a variabilidade, aumentando a eficiência e reduzindo os custos, é um importante diferencial diante de um mercado tão importante, como o açucareiro no Brasil.

3.1.1. CAUSAS DE VARIABILIDADE DO PROCESSO

Existem dois tipos de causas de variação no processo: causas comuns e causas especiais. Causa comum é o efeito acumulativo de causas não controláveis, com pouca influência individualmente, resultante de diversas origens e as causas especiais são fatores que geram variações afetando o comportamento de maneira imprevisível, não sendo, portanto, possível obter um padrão. (WERKEMA, 1995)

A variação, devido a causas comuns, está sempre presente e não pode ser reduzida sem mudanças na concepção do processo ou do projeto. Quando apenas causas comuns estão atuando no processo, a quantidade de variabilidade mantém-se em uma faixa estável. (Santos, 2019, pg.7)

As causas especiais são poucas, identificáveis e têm forte efeito sobre a variabilidade e a qualidade do produto, já as causas comuns são variadas, mas têm pouco efeito na variabilidade do processo (MONTGOMERY, 2010).

3.2. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

A metodologia padrão para a melhoria da qualidade é o controle de processo estatístico (CEP), o qual Montgomery, 2009 define como um conjunto poderoso de ferramentas utilizadas na obtenção de estabilidade do processo e a capacidade de melhorar através da redução da variabilidade.

A implementação do CEP envolve fatores técnicos e fatores organizacionais, ambos são considerados críticos para uma implementação bem-sucedida. Elg *et al.*, 2018 defende a implementação da CEP baseada em três etapas: a primeira, relacionada à gestão, que envolve questões como entender o papel gerência, foco na melhoria contínua, treinamentos e trabalho em equipe; o segundo, relacionado ao fator humano, que apresenta resistência a mudanças, dificuldades com o uso de tecnologias de informática e necessidade de incentivos; o terceiro, concentra-se na implementação do CEP, incluindo o uso de ferramentas apropriadas para monitorar o processo.

3.3. FERRAMENTAS ESTÁTICAS DE CONTROLE DA QUALIDADE

As ferramentas da qualidade ajudam a analisar e propor soluções para os problemas que interferem na eficiência/eficácia do processo. As sete principais ferramentas utilizadas no controle da qualidade do processo são:

1. Histograma
2. Diagrama de Pareto
3. Diagrama de Ishikawa
4. Carta de Controle
5. Fluxograma de processos
6. Diagrama de dispersão
7. Folha de verificação

As ferramentas que foram utilizadas no desenvolvimento desse projeto serão aprofundadas na sequência.

3.3.1. FOLHA DE VERIFICAÇÃO

As folhas de verificação são formulários simples com diferentes formatos que podem ajudar o usuário a gravar dados sistematicamente em uma empresa. Os dados são preenchidos na folha de verificação para registrar a frequência de eventos específicos durante um período de coleta de dados. As principais vantagens de folhas de verificação é a facilidade de aplicar e compreender, e por oferecer uma imagem clara da situação e da condição da organização. Elas são ferramentas eficientes e poderosas para identificar problemas frequentes. (NEYESTANI, 2017).

3.3.2. FLUXOGRAMA

Fluxograma é uma representação gráfica que descreve a sequência de etapas de processo. Em um fluxograma podemos visualizar em uma imagem as entradas e saídas do processo, atividades principais, pontos de decisão, facilitando a compreensão sobre o objetivo da operação. Pode ser aplicado para detectar e analisar as áreas ou pontos do processo que possuem problemas em potencial de melhoria (FORBES E AHMED, 2011).

3.3.3. DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

O diagrama de Ishikawa, também chamado como diagrama de causa e efeito, diagrama de espinha de peixe ou análise da causa raiz e foi inventado por Kaoru Ishikawa em 1969.

Quando o diagrama espinha de peixe é elaborado, tem-se uma visão completa de todas as causas possíveis do problema designado, contribuindo para um melhor entendimento do processo (MEYEER, 2003).

As causas primárias dos problemas que ocorrem nas indústrias em geral são: Máquinas (equipamentos), Materiais (insumos), Meio ambiente (condições do ambiente), Mão de obra (pessoas), Métodos (procedimentos de operação) e Medidas (informações do processo). (SANTOS, 2009).

3.3.4. GRÁFICOS DE CONTROLE

Os gráficos de controle ou gráfico de controle de Shewhart foi introduzido e desenvolvido por Walter A. Shewhart na década de 1920 é provavelmente a técnica mais sofisticada para gestão da qualidade. (MONTGOMERY, 2009).

Esse tipo de gráfico ilustra o comportamento das variações no processo ao longo do tempo e determina estatisticamente uma faixa de limites de controle que é

limitada pela linha superior e uma linha inferior, além de uma linha média (VIEIRA, 1999). Onde objetivo é verificar se o processo está sob controle, isto é, isento de causas especiais.

3.3.4.1. TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROLE

Os gráficos de controle são classificados em dois tipos: gráficos de controle por variáveis e gráficos de controle por atributos, dependendo do tipo de característica que está sendo avaliada. (TURNES, 19997)

Os gráficos de controle de variáveis são utilizados se a característica de qualidade pode ser medida e expressa como um número em alguma escala contínua de medição. Os gráficos de controle por atributos são utilizados caso a característica de qualidade não seja medida em escala contínua ou em escala quantitativa, isto é, podemos julgar cada unidade de produto como conforme ou não conforme com base no fato de possuir ou não determinados atributos (MONTGOMERY DC. 2009).

Entre os gráficos de controle de variáveis destacam-se \bar{x} , Gráficos S e R, que são os gráficos mais utilizados para controlar a tendência central com base na média amostral (\bar{x}), e variabilidade do processo através do desvio padrão da amostra (gráfico S) ou intervalo de amostra (gráfico R). Entre os gráficos de controle de atributos, destacam-se aqueles para não-conformidade de fração (gráficos p e np) e para não-conformidades ou defeitos (gráficos de c e u) (LOUZADA,2019).

O gráfico $\bar{x} - S$, o qual foi utilizado no presente trabalho, como dito anteriormente monitora a variação da média e do desvio padrão, dando uma visão da variação estatística de um processo. Segundo Souza, 2003 a vantagem de sua utilização é que indica com maior segurança essa variabilidade. Uma desvantagem é que pode apresentar uma maior dificuldade operacional.

3.3.5. HISTOGRAMA

O histograma é um gráfico de colunas utilizado na estatística. É composto de vários retângulos adjacentes, representando a tabela de freqüências com perda de

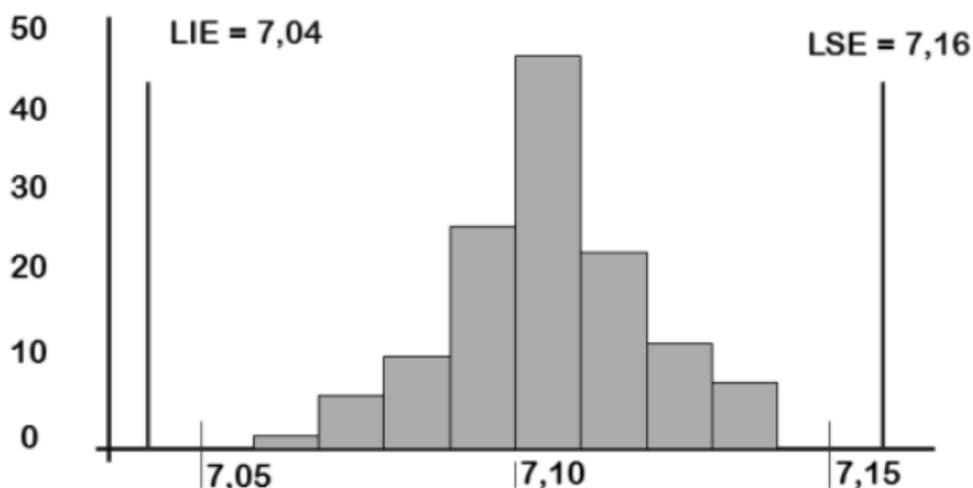
informações (valores agrupados por classes) de um conjunto de valores. Na escala horizontal, marcam-se os intervalos de classes, e cada intervalo é a base de cada retângulo ou barra; na escala vertical, marcam-se as alturas dos retângulos ou barras, que são as respectivas frequências absolutas das classes (LOPES, 1999).

3.3.6. CAPABILIDADE OU CAPACIDADE DE PROCESSO

Três técnicas fundamentais são utilizadas na análise da capacidade do processo: histogramas ou gráficos de probabilidade, gráficos de controle e experimentos planejados (MONTGOMERY, 1997). Para este trabalho foi realizada a análise da capacidade através da técnica de histogramas.

A Figura 1 mostra o exemplo da capacidade de um processo analisada por meio de histograma.

Figura 1 - Análise de Capacidade por meio do Histograma



Fonte: WERKEMA, 1995.

Uma vantagem de usar o histograma para estimar a capacidade do processo é que ele dá uma impressão visual e imediata do desempenho do processo. Ele pode também mostrar imediatamente a razão do fraco desempenho do processo (WERKEMA, 1995).

Wooluru, 2017, p. 400 salienta que a capacidade do processo se refere à avaliação de quão bem um processo satisfaz as especificações. Uma maneira simples e quantitativa de expressar a capacidade ou capacidade do processo é através dos índices de capacidade, sendo eles: Cp, Cpk, Cpm e Cpmk (LOUZADA,2019).

O Cp foi o primeiro índice proposto na literatura e é utilizado para avaliar a largura da amplitude do processo em comparação com a largura da especificação (GONÇALEZ, 2009). Ele pode ser calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Sendo:

- LSE: Limite Superior de Especificação
- LIE: Limite Inferior de Especificação
- σ : Desvio-padrão calculado a partir da amostragem de medições.

Quanto maior for o índice Cp, menor a probabilidade da característica avaliada estar fora das especificações, o que indica que haveriam menos produtos defeituosos durante o processo produtivo.

Avaliação do cálculo do índice:

Processo incapaz: $Cp < 1$

Processo aceitável: $1 = Cp = 1,33$

Processo capaz: $Cp = 1,33$

O Cpk foi criado em 1986, com o objetivo de medir as características de qualidade, onde apenas um limite de especificação é importante. É o ajuste do índice Cp para uma distribuição não-centrada entre os limites de especificação (GONÇALEZ,2009). Ele pode ser calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$Cpk = \text{MIN}\left(\frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma}\right)$$

Sendo:

- LSE – Limite Superior de Especificação
- LIE -- Limite Inferior de Especificação
- \bar{x} – Mediana da característica medida
- σ – Desvio-padrão calculado a partir da amostragem de medições.

Na prática, quanto maior for o índice cpk, menor será a probabilidade da característica de qualidade medida estar fora de especificação.

Avaliação do cálculo do índice:

Processo incapaz: $Cpk < 1$

Processo aceitável: $1 = Cpk = 1,33$

Processo capaz: $Cpk = 1,33$

3.4. SECAGEM

A secagem é uma das operações unitárias mais encontradas em diversos processos usados nas indústrias atualmente. É também uma das operações mais complexas e menos entendida, devido à dificuldade e deficiência da descrição matemática dos fenômenos envolvidos na transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento para os sólidos, baseado em extensiva observação experimental e operacional (MENON; MUJUMDAR, 1987).

A secagem tem a finalidade de eliminar um líquido volátil contido num corpo não volátil, através de evaporação. Durante este processo é necessário um fornecimento de calor para evaporar a umidade do material e também deve haver um sorvedor de umidade para remover o vapor água, formado a partir da superfície do material a ser seco (Park *et al*, 2014).

A qualidade do produto seco, a quantidade de energia gasta e o tempo utilizado no processo de secagem são parâmetros primordiais para a rentabilidade do bem submetido a esta operação. Os fenômenos de transferência de calor, remoção

de umidade e alterações de dimensões, cor, sabor, resistência mecânica e outros, envolvidos em uma operação de secagem são complexos (PACHECO, 2010).

Na fabricação do açúcar, a secagem é a última operação unitária e visa baixar o seu teor de umidade, a tal ponto que não permita o desenvolvimento de microorganismos, os quais causariam deterioração com perda da sacarose (DELGADO; CESAR, 1977).

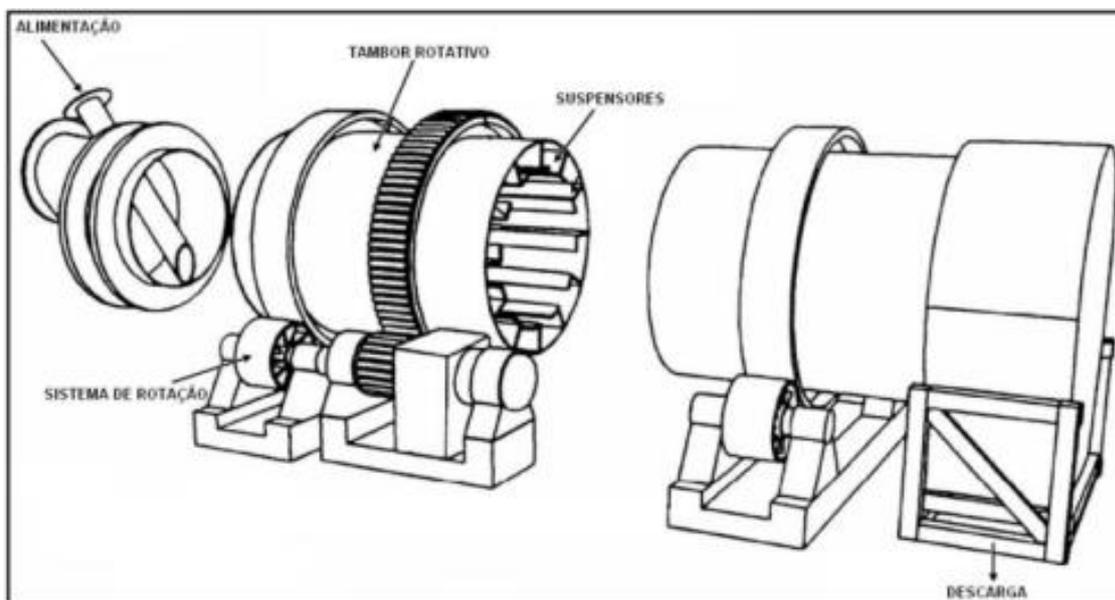
Segundo Rein (2007) esta é uma operação necessária para obter um açúcar com características necessárias ao manejo, ou seja, assegurar que ele se torne e permaneça com fluidez adequada livre e tenha as qualidades físicas e estéticas demandadas pelo mercado.

3.4.1. SECADORES-RESFRIADORES TAMBOR-ROTATIVO

O secador rotativo é um dos equipamentos mais utilizados para a secagem de sólido sem regime contínuo. Sua importância está no fato dele ser um equipamento de baixo custo de implantação e manutenção, e também devido à sua facilidade de operação (VIEIRA, 1996 *apud* LEONEL, 2014).

A Figura 2 representa um secador de tambor rotativo de aquecimento direto. Onde é possível observar as partes que compõem o equipamento: a entrada ou alimentação, o tambor com as pás no seu interior, o sistema de rotação e a saída ou descarga (Silva *et al*, 2012).

Figura 2 - Representação de um secador rotativo de aquecimento direto.



Fonte: Silva *et al.* (2012)

Segundo Pontes, 2014 o secador de tambor rotativo também pode funcionar como resfriador, onde o açúcar é introduzido na alimentação do secador e na primeira zona do tambor é secado e na segunda zona é resfriado.

Em processos convectivos de secagem, como é o caso do secador rotativo, a taxa de perda de umidade do material é controlada por fatores como velocidade, temperatura e umidade do ar e propriedades higroscópicas do material (LEONEL, 2014).

3.4.2. PARÂMETROS DE QUALIDADE NA OPERAÇÃO DO SECADOR

A operação de secagem consiste num abaixamento da umidade do açúcar até um ponto que ela seja compatível com a estocagem, outro ponto importante a considerar é que a temperatura do açúcar na saída dos secadores deve ser mantida preferencialmente na faixa de 30 a 40°C para que não ocorra amarelamento e empedramento do açúcar no período de estocagem (MEZARROBA *et al.*, 2010).

Das variáveis de operação de um secador, as condições do açúcar (vazão, umidade e temperatura) são muito dependentes do processo e podem ser alteradas

apenas dentro de limites mais ou menos estreitos. E naturalmente a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente influenciam na qualidade final do açúcar (PROCKNOR, 1998).

4. METODOLOGIA

Nesta seção, será abordada a classificação da pesquisa, bem como, a caracterização da usina estudada, o processo de secagem e análise de resultados.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Gil (2002), é possível classificar a pesquisa científica quanto à natureza; aos objetivos; a abordagem e aos procedimentos. Sendo assim esta pesquisa enquadra-se, respectivamente, como: Aplicada, Explicativa, Qualitativa e Quantitativa e Estudo de caso.

A pesquisa aplicada tem como objetivo resolver problemas concretos e a pesquisa explicativa tem como objetivo básico a identificação dos fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência de um fenômeno. É o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade (GIL, 2002).

Na pesquisa qualitativa, o ambiente natural é fonte crucial para o processo de coleta de dados e interpretação de fenômenos, e na quantitativa exige o uso de técnicas estatísticas para transformar em números as informações geradas pelo pesquisador. As abordagens qualitativas e quantitativas devem ser tratadas como complementares ao invés de concorrentes (MALHOTRA, 2001).

Para definir estudo de caso, Gil (2002) estabelece que esta classificação envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA USINA DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

Esta pesquisa foi realizada em uma usina de açúcar e álcool, localizado na região norte do Estado de São Paulo. A capacidade de moagem é de aproximadamente 7.000 toneladas de cana de açúcar, a produção de açúcar VHP está atualmente em torno de 9.000 sacas de 50 kg e 300.000 m³ de etanol por dia.

4.2.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM

As partes constituintes do secador-resfriador presente na usina podem ser divididas em duas: a de aquecimento e a de resfriamento. Também compõe o equipamento o aquecedor de ar, exaustor e o lavador de pó.

Ao sair do processo de centrifugação o açúcar possui uma umidade na faixa de 0,5-2% e uma temperatura relativamente elevada. Assim, para atingir os parâmetros de qualidade final do produto é necessária à realização da secagem do açúcar de tal forma que a sua umidade seja reduzida aos níveis de 0,1-0,2% e sua temperatura final seja entre 35-38°C.

O açúcar úmido, devido ao movimento rotativo do tambor e a inclinação das aletas os cristais de açúcar são conduzidos até a câmara de descarga passando pelas duas etapas presentes no secador-resfriador: secagem e esfriamento.

A fase de secagem é realizada mediante ar quente em fluxo de co-corrente, onde a quantidade de ar inserida no sistema é determinada pelo *set-point* da válvula da tubulação de vapor.

A fase de resfriamento ocorre também através de fluxo co-corrente, aproximadamente na metade do equipamento, mediante a entrada do ar ambiente, considerado na pesquisa como ar frio.

O ar de secagem e de esfriamento é removido por um ventilador na zona de confluência dirigindo-se ao lavador de pó, fazendo com que pequenos cristais e o pó do açúcar arrastados sejam dissolvidos e voltem para o processo, é liberado para a atmosfera.

4.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DO PROCESSO

As variáveis de qualidade foram definidas a partir da observação do processo *in loco*, diálogos com operadores envolvidos na atividade e com os gestores das áreas industriais. Sendo estas definidas como: temperatura de saída do açúcar, umidade de saída do secador, cor do açúcar final.

4.4 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada durante os meses de maio e agosto da Safra 2019/2020 diariamente junto ao banco de informações do Laboratório Industrial da usina.

Nesta etapa foi utilizada como ferramenta da qualidade a folha de verificação com o objetivo de registrar os dados sobre as variáveis definidas na etapa anterior. O conteúdo desta ferramenta foi elaborado de maneira simples e objetiva com a intenção de contribuir para obtenção dos dados para a pesquisa, onde além das características essenciais foi adicionado o campo Observações que visava a anotação de desvios na operação que poderiam auxiliar em uma análise posterior.

Para conseguir visualizar de melhor maneira as possíveis causas na perda da qualidade do açúcar na saída do processo de secagem foi construído o diagrama de causa e efeito a partir de informações coletadas com os operadores do setor e dos gestores da área industrial.

4.4.1 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE COR ICUMSA

De acordo com o Imetro, este ensaio verifica a coloração do produto. Quanto mais baixo esse índice, mais claro, ou mais branco, é o açúcar. À medida que esse índice aumenta, o açúcar vai adquirindo uma coloração mais escura.

A medida de cor ICUMSA é a expressão do índice de absorvência de uma solução açucarada multiplicada por 1.000. O açúcar é primeiramente diluído e depois realizado a leitura do Brix. Após esta etapa realizou-se a leitura da absorvência foi realizada em espectrofotômetro.

Com isso, a partir da fórmula determinou-se a cor dos açúcares analisados a partir da fórmula:

$$UI = \frac{Abs\ 0}{B \times C}$$

Onde:

UI é a unidade de cor

Abs 0 = Absorvência medida em espectrofotômetro

B = comprimento interno da cubeta (1cm)

C = concentração da sacarose em função do Brix

4.5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Referente às observações sobre a variabilidade de processo, as variáveis de qualidade umidade de saída do secador e cor do açúcar final foram analisadas com as ferramentas: gráfico de controle da média e amplitude.

Considerando a temperatura do açúcar como a principal variável de qualidade para indicar o desempenho do secador-resfriador foi possível verificar se o processo está ou não sob controle estatístico. Nesta etapa as ferramentas estatísticas utilizadas foram: gráfico de controle da média, amplitude e índices da capacidade de processo (Cp e Cpk).

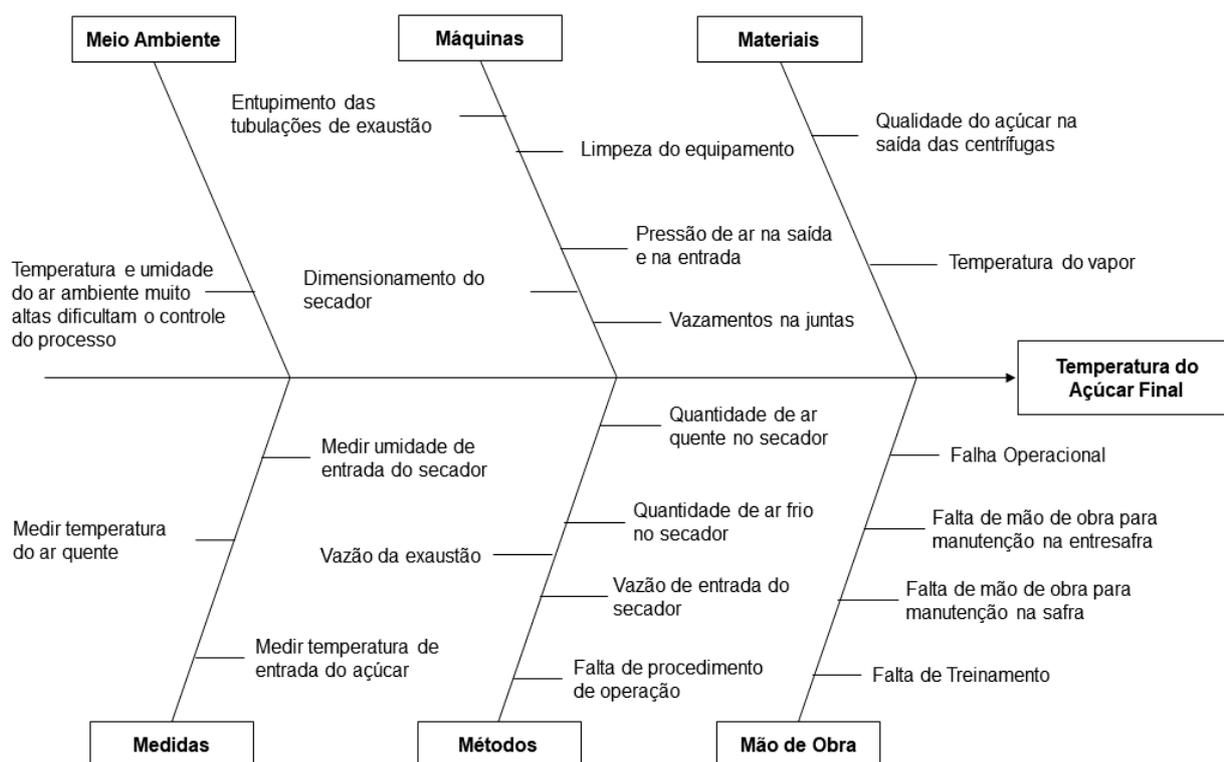
O *software* utilizado para a construção dos gráficos de controle foi o Minitab, que visa à análise de dados estatísticos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CAUSAS QUE CONTRIBUEM PARA A PERDA DA QUALIDADE DO PROCESSO E SUGESTÕES DE MELHORIA

No diagrama de causa e efeito (Figura 2) foram descritas causas que provavelmente podem interferir no aumento da temperatura do açúcar final no processo de secagem.

Figura 3 - Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Autoria Própria

Pela análise dos fatores envolvidos no processo de secagem (materiais, mão de obra, máquinas, métodos, meio ambiente e medidas) construíram-se os quadros de 1 a 6 que relacionam uma síntese dos problemas levantados, propostas de soluções dos mesmos e dos benefícios esperados com a aplicação.

Quadro 1 - Análise para o fator mão de obra

Problema	Sugestão	Benefício
Falha Operacional	Orientar funcionários sobre a importância da atenção na regulagem dos parâmetros de controle.	Maior eficiência no controle do processo de secagem.
Falta de mão de obra para manutenção na entressafra	Orientar e treinar operação para manutenção mais criteriosa.	Aumento da vida útil do secador.
Falta de mão de obra para manutenção na safra	Orientar e treinar operação para manutenção detalhada em pontos específicos do secador.	Aumento da vida útil do secador.
Falta de Treinamento	Realizar treinamento com os operadores sobre os parâmetros de controle do processo.	Padronização e controle das operações.

Fonte: A autoria Própria

Quadro 2 - Análise para o fator materiais

Problema	Sugestão	Benefício
Qualidade do açúcar na saída das centrífugas	Analisar açúcar que sai das centrífugas, avaliando umidade e temperatura.	Melhorar o controle e a operação do processo de secagem.
Temperatura do vapor	Instalar sensor de temperatura na linha de vapor.	Padronização da qualidade do vapor inserido no processo de secagem.

Fonte: A autoria Própria

Quadro 3 - Análise para o fator máquinas

Problema	Sugestão	Benefício
Limpeza do Equipamento	Elaborar um procedimento com uma rotina de limpeza.	Melhorar o desempenho do equipamento, evitando incrustações.
Pressão de ar na saída e na entrada	Alinhar e instrumentar relação de pressão no equipamento.	Evitar que a quantidade de entrada de ar seja maior que a saída no equipamento.
Vazamento nas juntas	Elaborar cronograma de inspeções mecânicas para avaliação das juntas no equipamento.	Melhorar a performance e disponibilidade do equipamento.
Entupimento das tubulações de exaustão	Elaborar cronograma de verificações para avaliar entupimento das tubulações.	Melhorar a performance do equipamento.
Dimensionamento do secador	Relacionar a quantidade de açúcar na entrada do secador com seu dimensionamento real.	Evitar que o secador opere em uma especificação maior que a sua capacidade.

Fonte: Autoria Própria

Quadro 4 - Análise para o fator medidas

Problema	Sugestão	Benefício
Medir temperatura do ar quente	Instalar medidor de temperatura na tubulação de ar quente.	Facilitar a intervenção pelo operador quando a variável estiver fora de especificação.
Medir temperatura de entrada do açúcar	Instalar medidor de temperatura na seção de alimentação do secador.	Melhorar a avaliação do processo de secagem.
Medir umidade de entrada do secador	Incluir análise de umidade do açúcar que sai das centrífugas.	Melhorar a avaliação do processo de secagem.

Fonte: Autoria Própria

Quadro 5 - Análise para o fator métodos

Problema	Sugestão	Benefício
Vazão da Exaustão	Medir a vazão da exaustão no processo.	Melhor a performance do equipamento e reduzir perdas.
Quantidade de ar quente no secador	Padronizar a quantidade de ar quente inserida no processo.	Facilitar a operação.
Quantidade de ar frio no secador	Instalar válvula de regulagem na entrada de ar frio.	Facilitar a operação.
Vazão de entrada do secador	Medir vazão de açúcar na entrada do secador.	Permitir que o processo ocorra de forma contínua sem oscilações.
Falta de procedimento de operação	Elaborar procedimento evidenciando as variáveis e seus parâmetros a serem monitoradas.	Padronização e controle da operação.

Fonte: Autoria Própria

Quadro 6 - Análise para o fator meio ambiente

Problema	Sugestão	Benefício
Temperatura e umidade do ar ambiente muito altas dificultam o controle do processo	Elaborar procedimento de operação considerando temperatura e umidade do ar ambiente	Facilitar operação do processo.

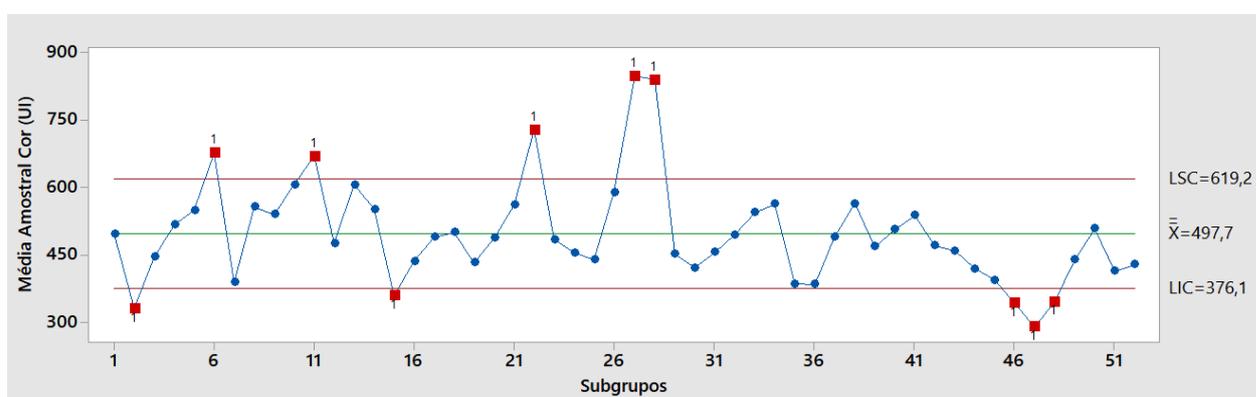
Fonte: Autoria Própria

5.2. VARIABILIDADE PARA A VARIÁVEL COR DO AÇÚCAR

Para essa característica de qualidade, foram coletadas 312 amostras, sendo seis amostras ao dia. Com as seis amostras coletadas no dia formou-se um subgrupo, de modo que, no total, 51 subgrupos foram obtidos.

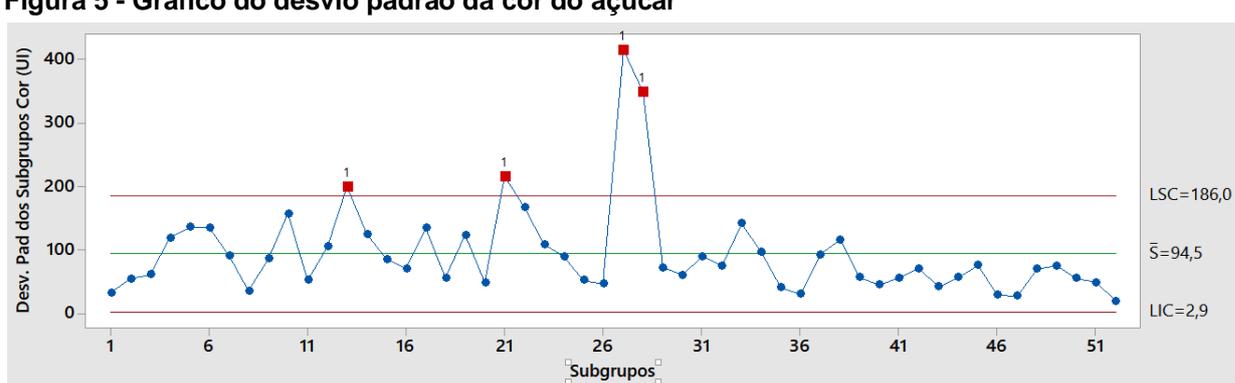
As figuras 4 e 5 ilustram o gráfico da média da cor do açúcar e o gráfico da amplitude, respectivamente.

Figura 4 - Gráfico da média da cor do açúcar



Fonte: Autoria Própria

Figura 5 - Gráfico do desvio padrão da cor do açúcar



Fonte: Autoria Própria

Com o monitoramento da média do processo (Figura 4), observou-se que existem oito pontos - subgrupos 42 a 59 - que estão situados abaixo do limite médio, assinalando a presença de causas especiais.

Analisando estes pontos, foi observado um teste de dosagem de enxofre no processo de tratamento do caldo, o que levou a redução do índice de coloração do

açúcar. É importante ressaltar que a variável cor, segundo diretrizes da empresa, deve ser menor que 800 U.I.

Os subgrupos 22, 27 e 28 que estão situados acima do limite superior de controle, também indicam a presença de causas especiais. Procurou-se identificar as causas do problema, pois estas são avaliadas como críticas para a qualidade do produto final. Verificou-se que no subgrupo 22 a temperatura ambiente estava muito elevada, o que dificulta o controle da temperatura interna na operação para adicionar ar frio.

Nos subgrupos 27 e 28 verificou-se que o processo acabava de reestabelecer após uma parada, o que ocasionou em um estoque de matéria prima para produção de açúcar e aumentando a cor.

No monitoramento da variabilidade do processo (Figura 5) verificaram-se quatro situações que apresentam a presença de causas especiais: os subgrupos 11, 13, 27 e 28, que estão situados acima do limite superior de controle e os subgrupos de 39 a 52 estão localizados abaixo da média.

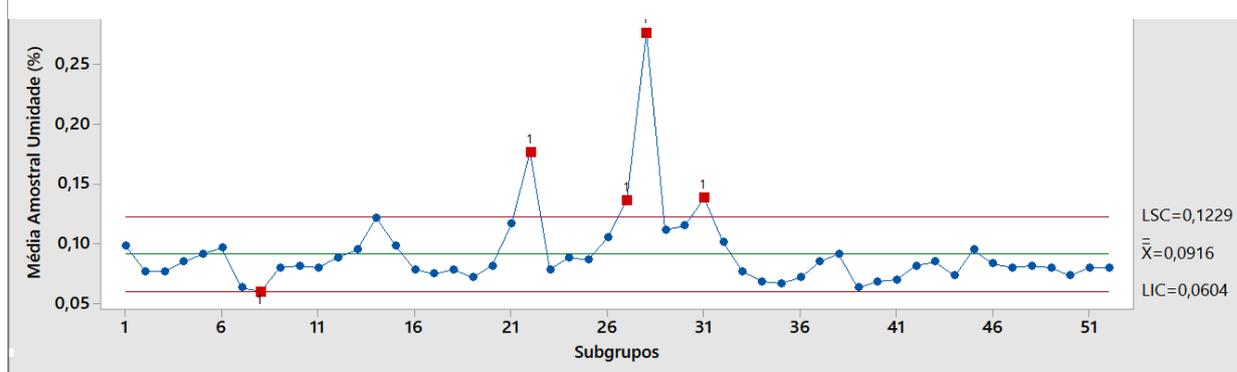
Após analisar os pontos que estavam fora de especificação, verificou-se que nos subgrupos 27 e 28, o reestabelecimento do processo afetou a variabilidade do processo. E que a dosagem de enxofre em etapas anteriores do processo, também influenciou na variabilidade da secagem, quando analisamos cor do açúcar, observando os pontos em destaque dos subgrupos 37 a 52.

5.3. VARIABILIDADE PARA A VARIÁVEL UMIDADE DO AÇÚCAR

Para a avaliação da variabilidade do processo utilizando a variável umidade do açúcar, foram coletadas 312 amostras, sendo seis amostras ao dia. As seis amostras coletadas no dia formam um subgrupo, ou seja, 51 subgrupos foram obtidos.

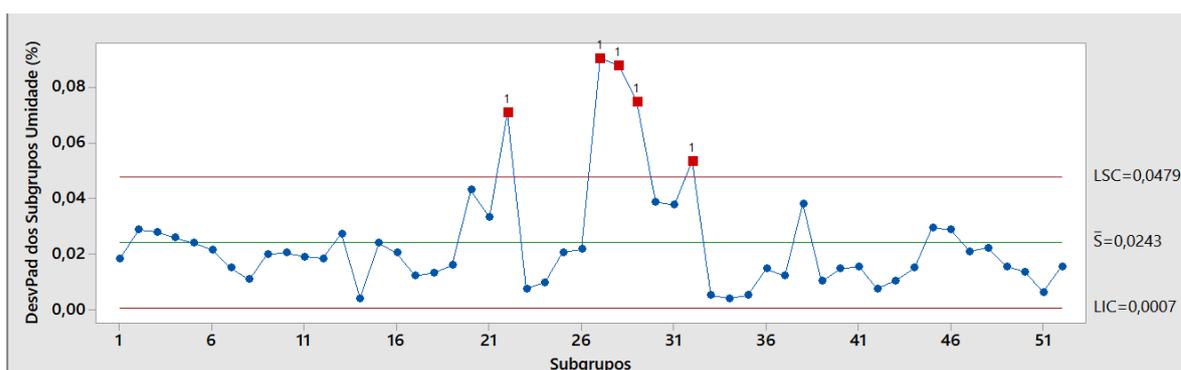
As figuras 6 e 7 ilustram o gráfico da média da cor do açúcar e o gráfico do desvio padrão, respectivamente.

Figura 6 - Gráfico da média da umidade do açúcar



Fonte: Autoria Própria

Figura 7 - Gráfico do desvio padrão da umidade do açúcar



Fonte: Autoria Própria

A partir da análise da média do processo (Figura 6) são notadas sete situações que indicam causas especiais: 5 pontos acima do limite superior, 1 ponto abaixo do limite inferior e um conjunto de subgrupos que estão situados acima do limite médio

Analisando a origem das ocasionalidades apresentadas, a alta temperatura ambiente no subgrupo 22, alterou não apenas a cor do açúcar, como apresentado no tópico anterior, mas também a umidade. Isto pode se explicar a partir do fato de que ao aumentar a temperatura, os operadores costumam diminuir a quantidade de vapor inserida no sistema, desta forma influenciando na média do dia da variável analisada.

Os subgrupos 45 a 52 que estão situados abaixo do limite médio de controle, por mais que possam representar uma causa especial, não foi indicado nenhuma prática diferente na operação para afetar diretamente a variável observada. Segundo a diretriz da usina, os parâmetros de umidade 0,06 a 0,15% desta forma nenhuma das amostras se mostrou fora valores ótimos.

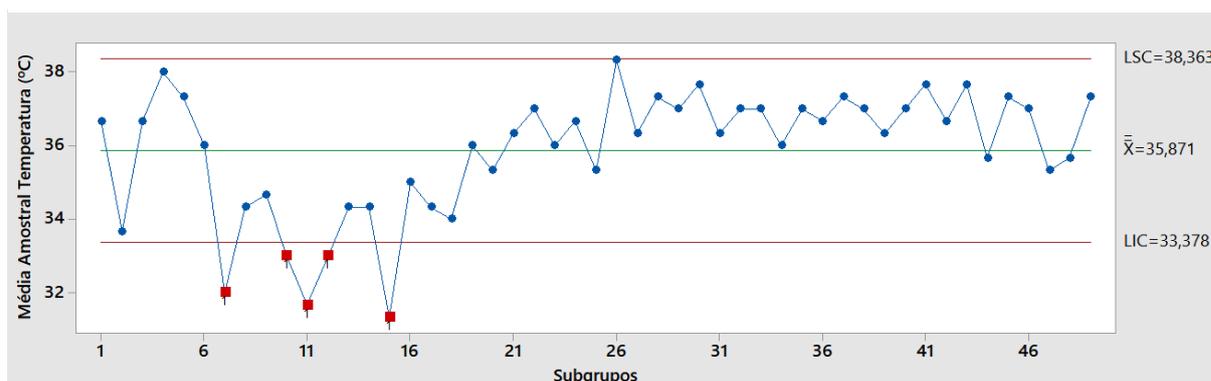
Os pontos que estão acima do limite superior – subgrupos 8, 14, 22, 27, 28, 29 e 32 – e o subgrupo 8 que está abaixo do limite inferior ao serem observados, foram identificados como falha operacional do processo tanto na inserção de água na etapa de centrifugação do açúcar o que afeta o controle da variável umidade.

A Figura 7 apresenta as observações realizadas quanto a variabilidade do processo e pode-se verificar quatro situações que apresentam a presença de causas especiais: os subgrupos 27 e 28, que estão situados acima do limite superior de controle e os subgrupos de 7 a 14 estão localizados abaixo da média. Na avaliação do processo foi constada a mesma razão da variação da média da variável analisada.

5.4. DESEMPENHO PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA DE SAÍDA

A avaliação de desempenho para o processo de secagem foi dada a partir do estudo do gráfico de controle da média, apresentado na figura 8.

Figura 8 - Gráfico da média da temperatura do açúcar

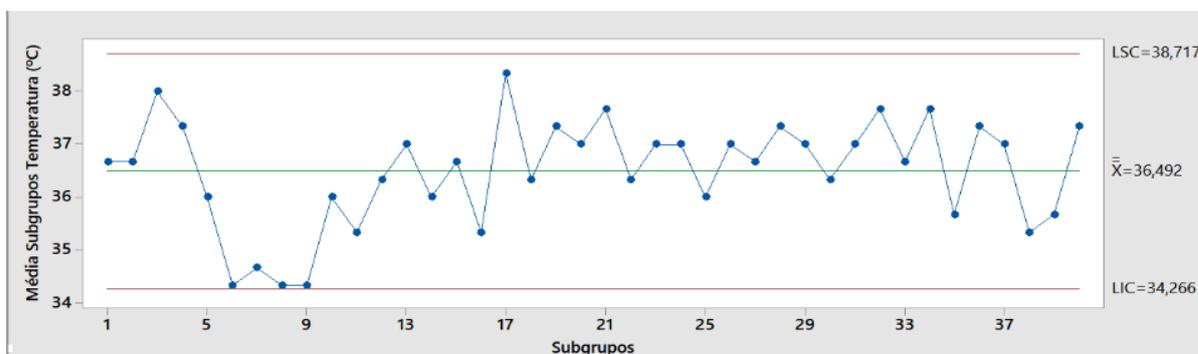


Fonte: Autoria Própria

Os pontos que estão acima do limite superior – subgrupos 7, 10, 11, 12 e 15 – foram identificados como causas especiais, a partir de uma observação específica em todos eles foi o fator meio ambiente foi apontado como a principal motivo para o processo apresentar uma média baixa de temperatura na saída do secador, ou seja, o fator climático desempenhou grande importância na variabilidade do processo.

Realizada a eliminação dos pontos que representavam as causas especiais, projetou-se o gráfico representado na Figura 9.

Figura 9 - Gráfico da média da temperatura sem causas especiais

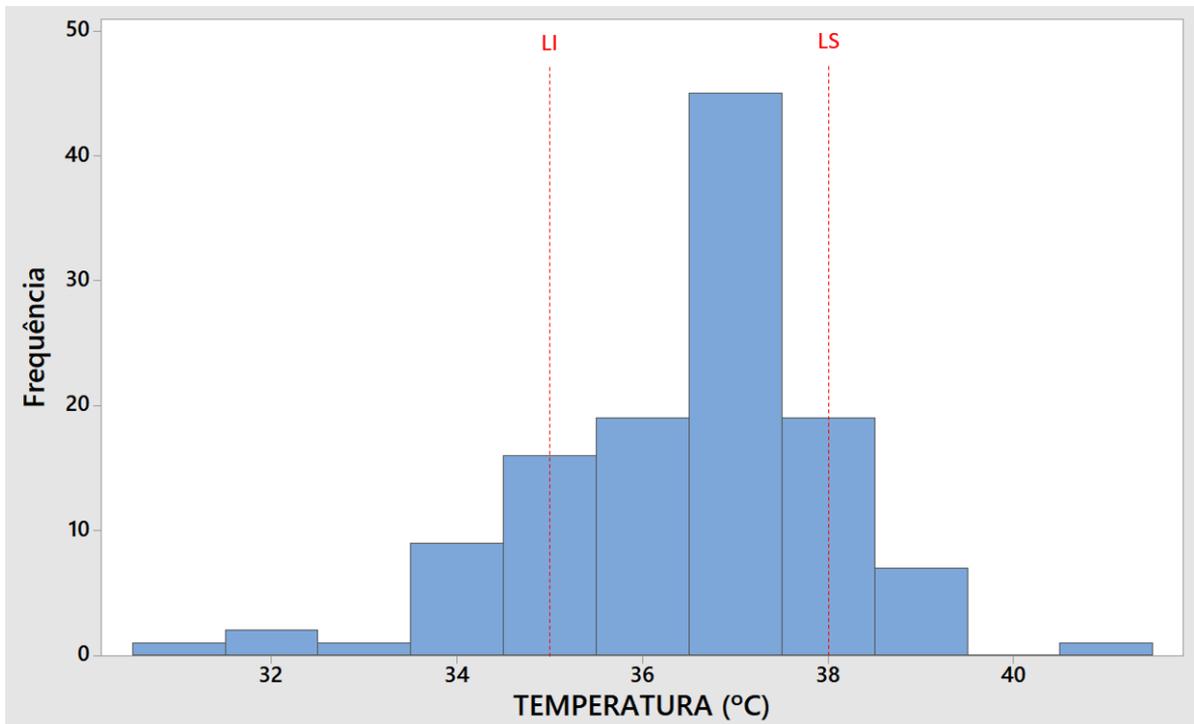


Fonte: Autoria Própria

Este não apresentou pontos fora dos limites de controle. O limite inferior de controle deste processo é 34,27°C, a média de 36,49°C e o limite superior de controle de 38,72°C, valores estes muitos condizentes com os objetivos da empresa, que é ter uma temperatura média de saída do açúcar de 36,00°C. Portanto para esse processo, podemos considerar uma boa eficiência quando eliminadas causas especiais, visto que atende a especificação desejada.

A capacidade do processo para a variável temperatura de saída, ilustrada na figura 9, foi analisada utilizando-se a revisão do gráfico de controle da média, sendo o limite inferior (LI) igual a 35,00°C e o limite superior de especificação (LS) 38,00°C, valores estes estabelecidos pela usina para conseguir atingir a meta, que é ter uma temperatura média de 36,00°C.

Figura 10 - Análise da Capacidade do Processo



Fonte: Autoria Própria

Os resultados dos índices de capacidade e desempenho foram:

$$s = 1,505$$

$$LIE = 35^{\circ}\text{C}$$

$$LSE = 38^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 0,33$$

$$C_{pk} = 0,33$$

Com isso, consegue-se verificar que o processo não é capaz de atender aos limites de especificações, pois por mais que a distribuição esteja centrada a variação dos pontos observados no processo é maior que a faixa dos limites de especificação.

Para tornar o processo capaz, será necessário reduzir as causas comuns de variabilidade incidentes sobre o processo, apresentadas no diagrama de Ishikawa, tornando desta forma o processo mais estável e de maior controle.

6. CONCLUSÃO

A partir da análise e interpretação do diagrama de causa e efeito, foram levantadas as causas que afetam esta característica, destacando-se entre elas: as medidas de variáveis de entrada, a influência do meio ambiente e a importância do controle por meio dos operadores. Com as sugestões de oportunidades de melhorias é possível identificar diversas ações benéficas ao processo de modo a aperfeiçoar o controle do processo de secagem de açúcar.

Viu-se que é muito importante analisar fatores comportamentais, como os que dependem da operação, e fatores de investimento do processo, como a inserção de medidores de algumas variáveis de entrada. Desta forma, aliando os dois tipos de fatores é possível reduzir consideravelmente as causas da variável crítica, temperatura de saída do secador.

Analisou-se a variabilidade do processo de secagem, utilizando o gráfico de controle, considerando as variáveis umidade e cor do açúcar. Durante esta análise foi possível encontrar diversas causas especiais, o que evidenciou uma falta de controle de processo e concluiu-se que estas podem afetar significativamente os objetivos de atingir os padrões de qualidade.

Para avaliar o desempenho do processo de secagem com relação a variável crítica: temperatura de saída, analisou-se primeiro variabilidade e depois a capacidade do processo, como o resultado deu um valor abaixo de um mostrou que a usina não é capaz de atender as especificações propostas pela empresa para a atingir a meta estabelecida, portanto é necessário a solução das causas comuns do processo de secagem para que possa atender ao objetivo de enquadrar a temperatura em seus parâmetros ótimos.

Por fim, esta pesquisa visou mostrar a importância da análise de dados com ferramentas da qualidade e para dar sequência a isto é necessária a implementação das ações, eliminando as causas comuns encontradas. Portanto, como sugestão de outros trabalhos fica a análise dos benefícios na execução das propostas e a avaliação de capacidade do novo projeto apresentado.

REFERÊNCIAS

DELGADO, A.A.; CÉSAR, M.A.A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Zanini S/A equipamentos pesados, v.1, 36p. 1977.

ELG, M., Olsson, J., & DAHLGAARD, J. (2008). **Implementing statistical process control: an organizational perspective**. International Journal of Quality & Reliability Management.

FORBES, L H. & AHMED S. M. (2011). **Modern construction: lean project delivery and integrated practices**. Boca Raton, Fly: Taylor and Francis Group.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALEZ, Patricia Ueda, & Werner, Liane. (2009). **Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais**. *Gestão & Produção*.

LOUZADA, Francisco; FERREIRA, Paulo; ARA, Anderson and GODOY, Caroline. **CEP ONLINE: A WEB-ORIENTED EXPERT SYSTEM FOR STATISTICAL PROCESS CONTROL**. *Pesqui. Oper.* [online]. 2019, vol.39, n.1, pp.177-204. Epub May 09, 2019.

ISHIKAWA, Kaoru; **Controle de qualidade total: à maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campos, 1993.

LEONEL, E. C.. **Análise da eficiência energética e otimização de secadores rotativos**. São Carlos : UFSCar, 2014, 64 f.

LOPES, C. H. **Problemas de qualidade do açúcar na armazenagem**. *Revista Alcoolbrás*, ed. 105, 2008.

LOPES, P. A. **Probabilidades & Estatística** 1. ed. Rio de Janeiro: R&A, 1999, 174 p.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de Marketing**, 3ª ed. Porto Alegre; Bookman, 2001.

MANOEL, A. A. S., Santos, D. F. L., & Moraes, M. B. C. (2016). **Determinants of indebtedness in the Brazilian sugarcane industry: analysis based on theories of capital structure**. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, 18(2), 140-153.

- MEZAROBA, S.; MENEGUETTI C. C.; MACHADO, A. G. **Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema.** Campo Mourão, 2010.
- MENON, A. S., MUJUMDAR, A. S. **Drying of solids: principles, classification, and selection of dryers.** In: **MUJUMDAR, A. S. Handbook of Industrial Drying.** New York: Marcel Dekker Inc., 1987. cap. 9, p. 295-326
- MEYEER VR. **Measurement uncertainty of liquids chromatographic analyses visualized by Ishikawa diagrams.** J Chromatogr Sci. 2003.
- MONTGOMERY D. C. 2009. **Introduction to Statistical Quality Control.** JohnWiley & Sons, 7 ed., 768 pp.
- MONTGOMERY, D. C. (2010). **A modern framework for achieving enterprise excellence.** International Journal of Lean Six Sigma.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control.** 3ª Ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade.** São Paulo: 4. ed. Editora LTC, 2004.
- NEYESTANI B. (2017, March). **Seven Basic Tools of Quality Control: An Appropriate Tools for Solving Quality Problems in the Organizations.** <https://doi.org/10.5281/zenodo.400832>
- PACHECO, C.R.F. **Apostila de conceitos básicos de secagem.** São Paulo, Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.
- PARK, K. J. B. et al. Secagem: Fundamentos e Equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p.93-127, nov. 2014.
- PROCKNOR, C. **Automação do Secador-Resfriador de Açúcar.** Revista STAB - Nov/Dez, 1998.
- REIN, P. **Cane Sugar Engineering.** Berlin: VERLAG, 2007. 768 p.
- SANTOS, Luís Carlos. **Análise da variabilidade do processo de filtração em filtros de tambor rotativo contínuo a vácuo para lodo de caldo de cana de açúcar** Dissertação (Mestrado) –Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2009
- SILVA, G. C. S.; RIBEIRO, F. C.; MÉLO, M. A. N. **Aplicação do controle estatístico de processo para análise de sobrepeso de uma linha de desodorantes em uma indústria de higiene pessoal.** Anais: XXVIII ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, M. et al. Modelling of fertilizer drying in a rotary dryer: parametric sensitivity analysis. Brazilian Journal of Chemical Engineering, SciELO Brasil, v. 29, n. 2, p.359-369, 2012.

SOUZA, R. A. **Análise da Qualidade do Processo de Envase Azeitona Verdes através de algumas Ferramentas do Controle Estatístico de Processo**. 2003. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TURNES, Osiris. **Custos da qualidade: planejamento econômico dos gráficos de controle por atributos e modelos correlatos**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/158174>, 1997.

VIEIRA, S. **Estatística para a Qualidade: Como Avaliar com Precisão a Qualidade Em Produtos e Serviços**. São Paulo: Campus, 1999.

WERKEMA, M. C. C. **As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos**. 2ª Ed Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995, 128 p.

WOOLURU, Yerriswamy. **The process capability analysis - a tool for process performance measures and metrics - a case study**, 2014. International Journal for Quality Research, pg.400.

APÊNDICE**APÊNDICE A:** Folha de verificação utilizada para registrar os dados obtidos.

Data:	Turno:	Horário:
Temperatura de Saída do Açúcar		
Cor do Açúcar		
Umidade de Saída do Açúcar		
Observações		
Operador Responsável:		

APÊNDICE B: Tela da análise de capacidade do software Minitab ®

