



**UNIVERSIDADE DE UBERABA**

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL**

**LORENA MARCELE DE FARIA LEITE**

**IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO NO PROCESSO DE CALEAÇÃO  
DA FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR**

**UBERABA**  
**2019**





**LORENA MARCELE DE FARIA LEITE**

**IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO NO PROCESSO DE CALEAÇÃO  
DA FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química – Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Orientador (a):

Prof<sup>o</sup>. Euclides Antonio Pereira de Lima.

Co orientador (a):

Prof<sup>a</sup>. Ana Cláudia Chesca.

UBERABA

2019

Catálogo elaborado pelo Setor de Referência da Biblioteca Central UNIUBE

L536i Leite, Lorena Marcele de Faria.  
Implantação do controle estatístico no processo de caleação da fabricação de açúcar / Lorena Marcele de Faria Leite. – Uberaba, 2019. 86 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia Química, concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Euclides Antônio Pereira de Lima.

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Claudia Chesca.

1. Usinas de açúcar. 2. Produção – Qualidade. I. Lima, Euclides Antônio Pereira de. II. Chesca, Ana Claudia. III. Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia Química. IV. Título.

CDD 664.11

LORENA MARCELE DE FARIA LEITE

**IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO NO PROCESSO DE CALEAÇÃO  
DA FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais

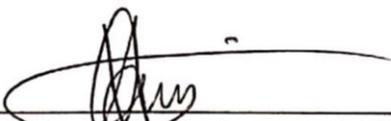
Aprovado em: 23/02/2019

BANCA EXAMINADORA:



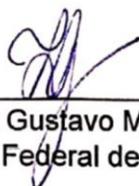
---

Prof. Dr. Euclides Antônio Pereira de Lima  
Orientador  
Universidade de Uberaba



---

Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis  
Universidade de Uberaba



---

Prof. Dr. Luiz Gustavo Martins Vieira  
Universidade Federal de Uberlândia



“Aventura não é dependurar-se em uma montanha amarrado em uma corda. Aventura é uma atitude que devemos aplicar nos obstáculos do dia-a-dia em nossa vida – encarando novos desafios, buscando novas oportunidades, testando nossos conhecimentos contra o desconhecido e, nesse processo, descobrir nosso próprio potencial.”

John Amatt



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em especial, ao querido Professor e Orientador deste trabalho Euclides Antonio Pereira de Lima por compartilhar seus conhecimentos e assim contribuir de forma significativa para realização deste trabalho e de minha formação profissional. Também agradeço por transmitir sua coragem e energia em uma expressão genuína de carinho e amizade.

Agradeço imensamente a meu pai Dalmi Sebastião de Faria por todo incentivo e suporte, sem os quais esta caminhada seria incerta. Um exemplo de pai, homem e profissional.

Agradeço aos Professores Ana Claudia Chesca e Leonardo Campos de Assis pela disponibilidade e atenção. Também a todos os outros professores que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

E, por fim, agradeço a minha família e à minha mãe, Ana Lúcia, pela torcida a cada conquista.



## RESUMO

Indústrias de todos os segmentos vivem um momento no mercado de trabalho em que produtos de má qualidade não são admitidos com complacência. Neste contexto, a procura por métodos que aperfeiçoem sua produção com a máxima qualidade cresce cada vez mais. O controle estatístico do processo neste trabalho apresenta de forma clara e fácil a percepção de um processo fora do controle em uma etapa de grande importância para a qualidade da fabricação de açúcar, a caleação, permitindo que ações sejam tomadas para solução de problemas específicos com máxima eficiência, a fim de que impossibilite a repetição dos mesmos. Este trabalho apresenta o estudo de caso de uma indústria sucroalcooleira, o qual tem como objetivo a implantação do Controle Estatístico do Processo e otimização do mesmo por meio do ciclo PDCA em uma usina de açúcar e álcool sob o processo de caleação, etapa de grande importância para a qualidade do produto final açúcar. No momento em que se constatou grandes variações de pH no processo de caleação do caldo foi implantado o controle estatístico e aplicado as cartas de controle ao processo. A partir dos resultados obtidos um estudo foi iniciado, utilizando ferramentas de qualidade, sobre cada variável crítica. A partir de então, houve o acompanhamento diário no setor em questão, analisando pontos críticos de interferência direta no processo. Por fim ações para correção e otimização de operação foram sugeridas e, em parte, implantadas. A implantação do trabalho mostrou-se satisfatória para a detecção prévia de desvios, possibilitando rápidas intervenções corretivas no processo, comprovando a eficácia da ferramenta de Controle Estatístico do Processo.

*Palavras chave: Diagrama de causa e efeito. Ciclo PDCA. Ferramentas de Qualidade. Usina Sucroalcooleira.*



## **ABSTRACT**

*Industries of all segments live a moment in the labor market in which poor quality products are not accepted complacently. In this context, the search for methods that improve their production to the highest quality grows increasingly. The statistical process control work behind this so clear and easy perception of a process out of control in a step of great importance to the quality of the manufacture of sugar, whitening, allowing actions to be taken upon trouble spots with maximum efficiency, so that it prevents the repetition of the same. This work presents the case study of an ethanol industry, which aims the implementation of statistical process control and optimization of the same through the PDCA cycle in a sugar and alcohol in the process of whitening, step of great importance the quality of the final product sugar. At the moment they found large variations in process caleação pH of the broth was implanted control and statistical control charts applied to process. From the results of a study was initiated, using quality tools, for each critical variable. From then, there was the daily monitoring in the sector concerned, analyzing critical points of direct interference in the process. Finally actions for correction and optimization of operation were suggested and, in part, implemented. It is expected that at the end of the implementation of actions the process is able to meet the highest quality prospects final product sugar.*

*Keywords: Diagram of cause and effect. PDCA Cycle. Quality tools. Sugar and Ethanol Plant.*



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Fluxograma recepção da cana e extração do caldo .....	7
<b>Figura 2</b> – Fluxograma do processo de tratamento de caldo .....	9
<b>Figura 3</b> – Representação Diagrama Causa e Efeito .....	11
<b>Figura 4</b> – Comportamento da cal ( $\text{CaOH}_2$ ) no caldo de cana .....	14
<b>Figura 5</b> – Fluxograma do processo de caleação .....	17
<b>Figura 6</b> – Bica de cal – Dosagem de Cal .....	18
<b>Figura 7</b> – Tanques de preparo de leite de cal .....	18
<b>Figura 8</b> – Sonda do pHmetro industrial .....	19
<b>Figura 9</b> – Descrição cronológica do projeto .....	20
<b>Figura 10</b> - Ciclo de realização e implantação do projeto de implantação do CEP .....	21
<b>Figura 11</b> – Carta de controle CEP – Mês Julho .....	33
<b>Figura 12</b> – Carta de controle CEP – Mês Agosto .....	34
<b>Figura 13</b> – Carta de controle CEP – Mês Setembro.....	35
<b>Figura 14</b> – Carta de controle CEP – Mês Outubro.....	36
<b>Figura 15</b> – Carta Amplitude – Mês Julho .....	37
<b>Figura 16</b> – Carta Amplitude – Mês Agosto .....	38
<b>Figura 17</b> – Carta Amplitude – Mês Setembro.....	39
<b>Figura 18</b> – Carta Amplitude – Mês Outubro.....	40
<b>Figura 19</b> – Carta de Controle de Sigmas – Mês Julho .....	41
<b>Figura 20</b> – Carta de Controle de Sigmas – Mês Agosto .....	42
<b>Figura 21</b> – Carta de Controle de Sigmas – Mês Setembro .....	43
<b>Figura 22</b> – Carta de Controle de Sigmas – Mês Outubro .....	44
<b>Figura 23</b> – Relação entre Limite de Controle de Amplitude e Capacidade do Processo.....	45
<b>Figura 24</b> – Diagrama de causa e efeito das variáveis.....	46
<b>Figura 25</b> – Planilha de controle de Baumé inserida no sistema de qualidade.....	49
<b>Figura 26</b> – Painel de acionamento de bombas – Preparo de leite de cal.....	50
<b>Figura 27</b> – Resíduos da cal após liquidação do tanque de preparo de leite de cal.....	51
<b>Figura 28</b> – Planilha de Evidência de Conclusões de Ações.....	56
<b>Figura 29</b> – Fluxograma de operações.....	57
<b>Figura 30</b> – Comparação de desempenho safra 2018/2019 – Produto químico Cal .....	59



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – As Dez principais referências para a estratégia da qualidade .....	2
<b>Tabela 2</b> – Regras Suplementares para interpretação das cartas de controle .....	13
<b>Tabela 3</b> – Valores de referência para interpretação da Capacidade do Processo.....	24
<b>Tabela 4</b> – Valores de referência para interpretação do Índice de Capacidade do Processo...	24
<b>Tabela 5</b> – Amostras de dados de pH do caldo caleadado colhidas no mês de Julho .....	26
<b>Tabela 6</b> – Amostras de dados de pH do caldo caleadado colhidas no mês de Agosto .....	27
<b>Tabela 7</b> – Amostras de dados de pH do caldo caleadado colhidas no mês de Setembro.....	28
<b>Tabela 8</b> – Amostras de dados de pH do caldo caleadado colhidas no mês de Outubro.....	29
<b>Tabela 9</b> – Conclusão do estudo das variáveis atuantes no processo .....	52
<b>Tabela 10</b> – Plano de Ação 5W2H – Parte 1 .....	53
<b>Tabela 11</b> – Plano de Ação 5W2H – Parte 2 .....	54
<b>Tabela 12</b> – Plano de Ação 5W2H – Parte 3 .....	55
<b>Tabela 13</b> – Cálculo de Ganho Financeiro – Prêmio de Qualidade do Açúcar .....	58
<b>Tabela 14</b> – Comparação de desempenho safra 2018/2019 – Produto químico Cal .....	60
<b>Tabela 15</b> – Valor total estimado em ganhos.....	60



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. JUSTIFICATIVA .....	4
3. OBJETIVOS .....	4
3.1 Objetivo Geral .....	4
3.2 Objetivos Específicos .....	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
4.1 O cenário Sucroalcooleiro e o Processo de Fabricação de Açúcar.....	5
4.1.1 Extração .....	5
4.1.2 Tratamento de caldo .....	7
4.1.3 Evaporação, Cozimento e Cristalização .....	9
4.1.4 Centrifugação .....	10
4.2 Controle Estatístico do Processo - CEP.....	10
4.2.1 Interpretação das cartas de controle .....	12
4.3 Caleação.....	13
4.3.1 Efeitos do pH do caldo clarificado .....	14
4.3.2 Cal .....	15
4.3.3 O processo de caleação na indústria em estudo.....	16
5. METODOLOGIA.....	20
5.1 Cronologia .....	20
5.2 Ciclo PDCA.....	20
5.3 Métodos e cálculos para elaboração das Cartas de Controle do CEP .....	22
5.4. Coleta de Dados.....	24
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	29
6.1 Estudo do processo de caleação mediante aplicação do Controle Estatístico do Processo	30
6.1.1 Cálculo da Capacidade do Processo e do Índice de Capacidade do Processo.....	30
6.1.1.1 Cálculo CP e ICP mês de Julho.....	30
6.1.1.2 Cálculo CP e ICP mês de Agosto .....	30
6.1.1.3 Cálculo CP e ICP mês de Setembro .....	30
6.1.1.4 Cálculo CP e ICP mês de Outubro .....	31
6.1.2 Plotagem e Interpretação das Cartas de Controle.....	31
6.1.3 Estudo do Processo e das Variáveis Atuantes .....	45
6.1.3.1 Treinamento.....	47



6.1.3.2 Lavatório para higiene (pessoal e de materiais) .....	47
6.1.3.3 Iluminação da área.....	47
6.1.3.4 Controle de Baumé no preparo do leite de cal .....	47
6.1.3.5 Solubilidade do leite de cal .....	48
6.1.3.6 Melhoria no procedimento operacional.....	48
6.1.3.7 Planilha de controle de Baumé.....	48
6.1.3.8 Aferição do eletrodo.....	49
6.1.3.9 Identificação do painel de acionamentos.....	49
6.1.3.10 Alarme de nível dos tanques .....	50
6.1.3.11 Qualidade da cal .....	50
6.1.3.12 Conclusão do estudo das variáveis atuantes no processo.....	51
6.1.4 Ações Corretivas .....	52
6.1.4.1. Elaboração do Plano de Ação.....	52
6.1.4.2 Ações realizadas de imediato .....	56
6.1.5 Quantificações de Ganhos .....	57
7. CONCLUSÃO.....	61
ANEXO A – FATORES PARA CÁLCULO DE LINHAS CENTRAIS – GRÁFICO DE AMPLITUDE.....	62
8. REFERÊNCIAS .....	63



## 1. INTRODUÇÃO

Estatística é a ciência que lida com a coleta, processamento e disposição de dados (PIRES, 2000). Diante do cenário competitivo, empresas de vários segmentos vêm utilizando métodos estatísticos em busca de meios mais eficientes de produção visando a máxima qualidade do produto final e menor custo de produção em busca de sua permanência no mercado (PIRES, 2000). Não se vive mais no tempo em que decisões são tomadas com base em opiniões e intuição. Um dos oito princípios da gestão da qualidade diz: “Tomar decisões baseado em dados”. Embasar-se em dados é fundamental e garante a segurança e confiabilidade do processo (SOUZA, 2013). O Controle Estatístico do processo (CEP) é uma ferramenta de otimização de grande potencial para a busca da melhoria contínua do processo que tem por objetivo aumentar a produtividade e reduzir perda (BACKES; PACHECO, 2016).

É certo que profissionais engajados em programas de qualidade e que possuem conhecimentos em estatística possuem maior facilidade em interpretar a variabilidade do processo, fator responsável pela produção de produtos de baixa qualidade. Assim, estão aptos a identificar problemas, determinar tipos de dados que contribuam para a análise, coletar dados e estabelecer conclusões com ações sólidas para que o problema seja resolvido.

Os consumidores atuais apresentam um perfil cada vez mais exigente, a qualidade do produto se destaca como o diferencial de toda empresa que, para se manterem ativas e competitivas, se veem obrigadas a atender as necessidades dos consumidores com custos menores e garantir a qualidade de seus produtos e serviços. Segundo Camargo, (2011), “Um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente”, seja este interno ou externo. Para tal, é necessário que haja, além de comprometimento da parte de todos na busca pela melhoria contínua, entendimento sobre o processo envolvido e bom gerenciamento (CAMARGO, 2011).

Apenas a coleta de dados estatísticos não é suficiente para alcançar o bom desempenho do processo. É fundamental a comunicação entre gestão e operação, nesta busca, o gestor precisa ter total conhecimento do processo com todas suas variáveis em seu domínio, para tal o uso de planilhas e gráficos são boas ferramentas para monitoramento, além de técnicas de estratégias bem definidas. Para tal, o acompanhamento do setor no dia-a-dia deve ser constante. A Tabela 1 apresenta de forma clara as 10 mais importantes referências para a “Estratégia da Qualidade”, segundo Camargo (2011).

**Tabela 1 – As Dez principais referências para a estratégia da qualidade**

---

**Estratégias da Qualidade**

---

1. Produzir e fornecer produtos e serviços que atendam plenamente as necessidades dos clientes;
2. Garantir a sobrevivência da organização com a obtenção de lucro contínuo e crescente através dos resultados das ações de qualidade
3. Identificar e priorizar a solução dos problemas
4. Tomar decisões racionais baseadas em dados e fatos
5. Organização gerenciada por processos e não por resultados
6. Prevenção das causas dos problemas nas origens; Evitar reincidência de problemas
7. Agrupar e focar nas causas principais para resoluções ágeis e eficientes
8. Respeito e motivação aos colaboradores (Recursos Humanos)
9. O cliente é o ator principal. Eliminar defeitos dos produtos e serviços é fundamental.
10. Estratégia da organização bem definida e a garantia de sua execução.

---

Fonte: CAMARGO, 2011

A proposta de implantação do controle estatístico aplicado a este setor surgiu após a constatação que uma grande variação ocorria no pH, deixando-o fora dos critérios de qualidade por vários dias.

O trabalho apresentado foi direcionado com base no ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), técnica composta por quatro fases, planejar, executar, verificar e atuar de forma corretiva, que visa o controle do processo atuando de forma contínua para a gestão de atividades, trazendo melhorias de forma eficiente, padronizando informações de controle de qualidade e facilitando o entendimento das atividades de controle dos processos.

Foram utilizados para o estudo e controle deste processo de caleação ferramentas de qualidade como folha de verificação (check list), fluxogramas e diagrama de causa e efeito, até métodos avançados como as cartas de controle para facilitar a interpretação e operação do processo, bem como apoiar na gestão do processo.

As cartas de controle são representações gráficas. Seus benefícios podem ser descritos em: servem aos operadores para o controle contínuo de um processo; ajudam o processo a ter desempenho consistente e previsível; permitem que o processo alcance melhor qualidade e menor custo por unidade; fornecem uma linguagem comum para a discussão do

desempenho do processo e distinguem as causas especiais de variação das causas comuns, como guia para ações locais ou sobre o sistema (SOUZA, 2010).

As causas especiais são aquelas que não fazem parte dos processos, são imprevisíveis e normalmente catastróficas, como por exemplo, erro de operação. As causas comuns são aquelas que fazem parte da natureza do processo, estando sempre presentes e podem ser previstas, como por exemplo, precisão do equipamento de produção (PIRES, 2000).

O primeiro capítulo deste trabalho apresenta noções sobre o processo fabricação de açúcar, dando ênfase ao processo de caleação, ressaltando a importância de um bom controle de qualidade e seus efeitos. O segundo capítulo apresenta noções sobre Controle Estatístico do Processo (CEP), suas aplicações e as ferramentas utilizadas. O terceiro capítulo apresenta o estudo das cartas de controle implantadas sobre o processo, o estudo das variáveis críticas e a gestão de processo estabelecida. O quarto capítulo apresenta uma sugestão para implantação, o plano de ação a ser realizado sobre variáveis definidas, por fim um cálculo de ganhos em valores de reais/ dólares foi realizado considerando a qualidade do produto açúcar vendido e a quantidade em gramas de cal utilizada no processo durante a safra 2018/2019. Ao final da consolidação o resultado esperado é um processo sob controle estatístico, obtido a partir do ciclo PDCA de gerenciamento.

## **2. JUSTIFICATIVA**

O processo de caleação visa à clarificação do caldo com a menor perda possível, seja esta por inversão ou destruição do açúcar. Neste cenário, um processo mal conduzido eleva o índice de perdas no processo, impactando na redução de eficiência, qualidade e produtividade. Diante de tal, a utilização de ferramentas de qualidade, como o Controle Estatístico do Processo vem a aprimorar o processo e permitir o controle antecipativo à falha, permitindo ao profissional atuar preventivamente ao problema.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo Geral**

Aperfeiçoar o processo de correção de pH de uma indústria sucroalcooleira implementando a ferramenta ‘Controle Estatístico do Processo’ aplicada em uma das etapas de maior importância na qualidade do processo de fabricação de açúcar, a caleação.

### **3.2 Objetivos Específicos**

1. Verificar os possíveis fatores que ocasionam o descontrole do pH do caldo caleado.
2. Implantar ações corretivas no controle de pH do caldo caleado.
3. Implantar o Controle Estatístico como ferramenta de acompanhamento do pH do caldo caleado.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 O cenário Sucroalcooleiro e o Processo de Fabricação de Açúcar

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar. Segundo dados da UNICA – União da Indústria da Cana de Açúcar de São Paulo existem no Brasil 365 usinas e 70.000 produtores rurais de cana de açúcar, fato que leva o Brasil ao lugar de maior produtor e exportador mundial de açúcar e o segundo maior produtor e exportador mundial de etanol do mundo (CNA, 2018).

A cana de açúcar está entre as principais agriculturas do mundo, sendo cultivada em mais de 100 países. No Brasil a produção cresceu de forma acelerada a partir de 1993, motivado pelo aumento das exportações de açúcar (NOVACANA, 2018).

O processo de fabricação de açúcar consiste essencialmente na extração do caldo contido na cana, preparo e concentração, resultando em uma variedade de açúcares produzidos, tais como Cristal, VHP, Demerara, entre outros (MACHADO, 2012).

A Fabricação de açúcar consiste em uma operação contínua composta por diversas etapas, sendo estas: Extração, na qual a matéria prima é processada obtendo caldo e bagaço; Tratamento de caldo, no qual as impurezas são retidas e separadas, obtendo o caldo clarificado ou caldo decantado e uma massa de impurezas sólidas denominada Torta, a qual, muito comumente, é utilizada em lavouras como parte da adubação por conter um alto teor de Fosfato (LEITE, 2017); Evaporação e Cozimento, nas quais a água do caldo é evaporada e o açúcar é cristalizado, dando origem a um composto de cristais de açúcar denominado de Massa; Por fim, a Centrifugação, na qual o composto de cristais de açúcar é centrifugado resultando nos produtos açúcar e melaço, mel esgotado do qual não se extrai mais açúcar, como subproduto.

#### 4.1.1 Extração

A moagem da cana consiste basicamente em um processo de separação de materiais, no qual a fração sólida da cana, a Fibra, é separada da fração líquida, o Caldo da Cana. Este processo normalmente é realizado de duas formas: por meio de moendas ou difusores (FERNANDES, 2011).

O processo de preparo da cana para extração do caldo inicia-se nas mesas alimentadoras, onde a cana inteira ou picada é tombada em uma esteira metálica. Nesta,

ocorre o preparo da cana, fase em que a matéria-prima passa por um nivelador, picador, desfibrador e espalhador, o produto obtido é uma cana desfibrada pronta para a moagem (CASTRO, 2013).

A moenda geralmente é composta por conjuntos de 5 a 6 ternos com 4 rolos os quais possuem função de extrair o caldo. O caldo extraído da primeira unidade do conjunto de esmagamento das moendas é denominado caldo primário, geralmente utilizado na produção de açúcar por conter um teor maior de sacarose em relação ao caldo secundário ou misto, obtido pela mistura dos caldos extraídos dos conjuntos de esmagamento posteriores. É comum utilizar a mistura entre os caldos primário e secundário para a produção de açúcar (CASTRO, 2013).

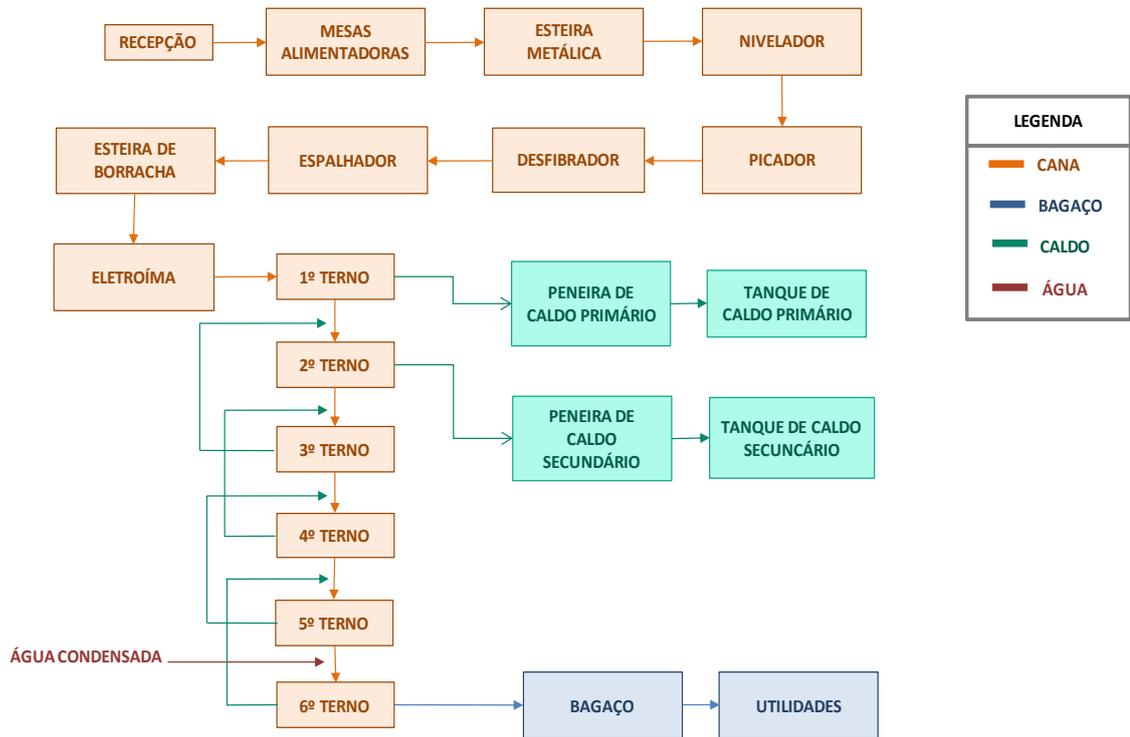
Segundo Fernandes (2011), apenas com a pressão dos rolos de moagem é possível extrair até 90% do caldo contido na cana, pois, a certo ponto, a parte sólida e a líquida coalescem essencialmente em uma só quantidade de massa expelida, por este motivo, para obter uma maior extração é necessário utilizar água quente, comumente chamada de água de embebição.

O processo de remoção de impurezas do caldo inicia-se na moenda em um procedimento de peneiramento. Neste, os fragmentos maiores, em sua maior parte bagaço, é separado do caldo e redirecionado ao processo de moagem, em um ciclo. O caldo é direcionado a tanques de recolhimento para serem processados nas etapas posteriores da fabricação de açúcar e etanol (CASTRO, 2013).

O bagaço extraído no último conjunto de rolos da moenda é utilizado nas caldeiras como combustível para produção de vapor. O valor de umidade do bagaço representa maior ou menor perda de açúcar, uma vez que um bagaço úmido carrega um teor de sacarose maior que um bagaço seco, por este motivo é considerado um dos maiores pontos de perdas de sacarose da indústria. Um processo de moagem eficiente permite que o bagaço saia do processo de extração com uma umidade em torno de 50% (MANDALOUFAS, 2010).

Um bom desempenho do processo de extração está relacionado com diversos fatores como preparo de cana, alimentação uniforme das moendas, taxa de embebição, rotação e regulagem de cada terno, entre outros. Um fluxograma do processo é apresentado na Figura 1. A etapa de extração ocorre nas fases indicadas do 1º terno até o 6º terno (OLIVEIRA et al., 2016).

**Figura 1** – Fluxograma recepção da cana e extração do caldo



Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.2 Tratamento de caldo

O processo de Tratamento do caldo é uma das etapas mais importantes, visto que, a qualidade dos processos posteriores bem como do produto final açúcar está diretamente ligada a eficiente clarificação do caldo (CASTRO, 2013).

O sistema de Tratamento de Caldo, segundo Albuquerque (2011), consiste em trocar os não açúcares solúveis em sólidos solúveis e logo separar a matéria em suspensão mediante a sedimentação.

Entre os objetivos do processo de clarificação do caldo, destacam-se: (ALBUQUERQUE, 2011)

- Corrigir o pH elevando-o para próximo da neutralidade, a fim de inibir a inversão da sacarose.
- Eliminar as impurezas solúveis ou coloidais como fosfatos solúveis que precipitam sob a forma de sais de cálcio e arrastam partículas coloidais.
- Alvejar os compostos coloridos existentes e inibir a formação de novos compostos.

Para obter um eficiente tratamento de caldo é necessário (ALBUQUERQUE, 2011):

- Moer canas sadias;
- Automatizar o controle de pH;
- Proceder de forma adequada a alcalinização e sulfitação do caldo;
- Manter estabilidade na vazão de caldo;
- Realizar de forma eficaz a decantação de impurezas no caldo;
- Realizar de forma eficaz a operação dos filtros de lodo;
- Utilizar de forma correta os auxiliares de clarificação;

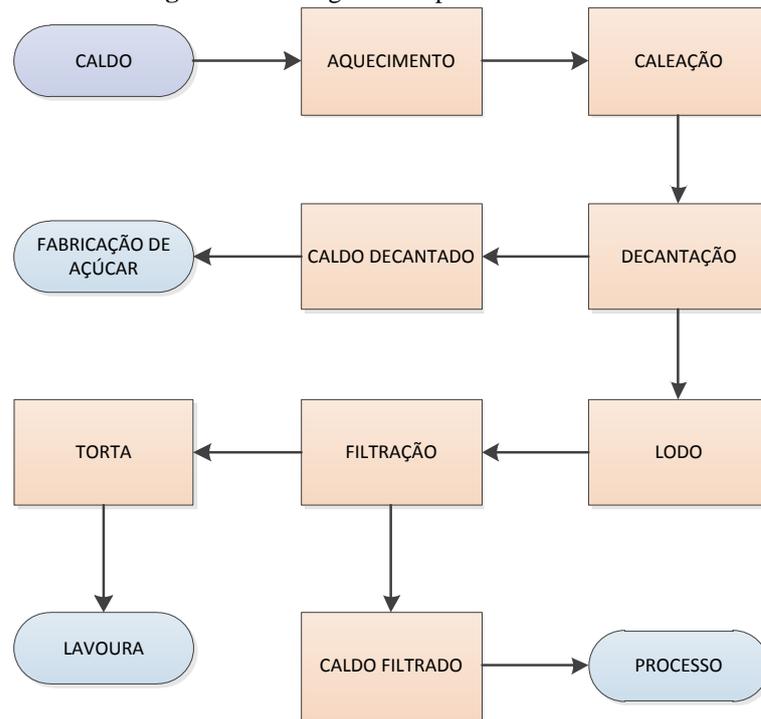
Precedendo o processo de decantação o caldo é aquecido a uma temperatura de aproximadamente 105°C. Os objetivos do aquecimento do caldo são (ALBUQUERQUE, 2011):

- Acelerar as reações químicas;
- Facilitar as reações do caldo;
- Promover a coagulação das proteínas;
- Diminuir a viscosidade e densidade do caldo;
- Provocar a floculação;
- Eliminar e impedir o desenvolvimento de bactérias;

Após o aquecimento o caldo é enviado para tanques onde é adicionado leite de cal, processo denominado caleação que tem como função elevar o pH do caldo para aproximadamente 7, afim de facilitar o processo de decantação (LOPES, 2011). Nos decantadores é dosado polímero, compostos de alto peso molecular e cadeias longas, que auxiliam na decantação, promovendo a aglomeração dos flocos, aumento da velocidade de sedimentação e redução e compactação do volume do lodo (PAULINO, 2012).

Ao lodo retirado dos decantadores como produto da decantação é adicionado bagacinho para atuar como ajuda filtrante, após é encaminhado para o processo de filtração, dando origem à Torta (ALBUQUERQUE, 2011).

A Figura 2, a seguir, apresenta as etapas do processo de tratamento de caldo (COOPERSUCAR, 1987).

**Figura 2** – Fluxograma do processo de tratamento de caldo

Fonte: Albuquerque (2011)

#### 4.1.3 Evaporação, Cozimento e Cristalização

O objetivo da evaporação no processo de fabricação de açúcar é retirar a máxima quantidade de água do caldo, desta forma, atingir uma concentração de aproximadamente 65°Brix, removendo uma quantidade próxima a 75% da água existente no caldo. A água evaporada é utilizada no processo de troca térmica da indústria, gerando os chamados Vapores Condensados (ALBUQUERQUE, 2011).

Os evaporadores concentram o caldo a partir da troca térmica com vapores a altas temperaturas. Um processo ineficiente de evaporação pode acarretar em um baixo Brix do caldo, neste caso a evaporação de água durante o processo de cozimento faz com que o cristal de açúcar cresça além do tamanho ideal, podendo causar aumento de cor (ALBUQUERQUE, 2011).

O produto final do processo de evaporação é o chamado Xarope, o qual é direcionado para o processo de Cozimento e Cristalização (ALBUQUERQUE, 2011).

O objetivo dos processos de Cozimento e Cristalização consiste em transformar o açúcar solubilizado em açúcar cristalizado e formar cristais com a mais alta pureza possível, a fim de que o melaço ou mel final esteja bem exaurido (ALBUQUERQUE, 2011).

O processo de cristalização mais comum acontece por meio de “semeadura”, no qual uma solução de grãos de açúcar fino misturado a etanol é adicionado ao tacho de cozimento para iniciar o processo cristalização (ALBUQUERQUE, 2011).

#### 4.1.4 Centrifugação

O processo de centrifugação consiste basicamente na separação do mel que envolve os cristais de sacarose de uma massa através da força rotacional. (MACHADO, 2012)

Entre os fatores que influenciam no bom rendimento do processo de centrifugação é possível destacar: (ALBUQUERQUE, 2011)

- Granulometria do açúcar;
- Quantidade de lavagem do açúcar na centrífuga;
- Projeto do equipamento;

Há dois tipos de máquinas utilizadas nas indústrias sucroalcooleiras, sendo estas centrífugas bateladas e centrífugas contínuas. No caso das centrífugas bateladas a carga é adicionada ao iniciar o movimento da centrífuga e massa cozida sobe no cesto devido à força centrífuga gerado pela rotação da mesma, no mesmo momento em que o mel é drenado sobre o revestimento perfurado. Em seguida o descarregador automático é acionado e a carga extraída do cesto. O ciclo se repete a cada tempo. (ALBUQUERQUE, 2011)

No caso das centrífugas contínuas a massa é adicionada na centrífuga continuamente, sem que haja ciclos. (ALBUQUERQUE, 2011)

Ao final do processo de centrifugação o açúcar úmido é direcionado para um secador industrial finalizando o processo de fabricação de açúcar.

## 4.2 Controle Estatístico do Processo - CEP

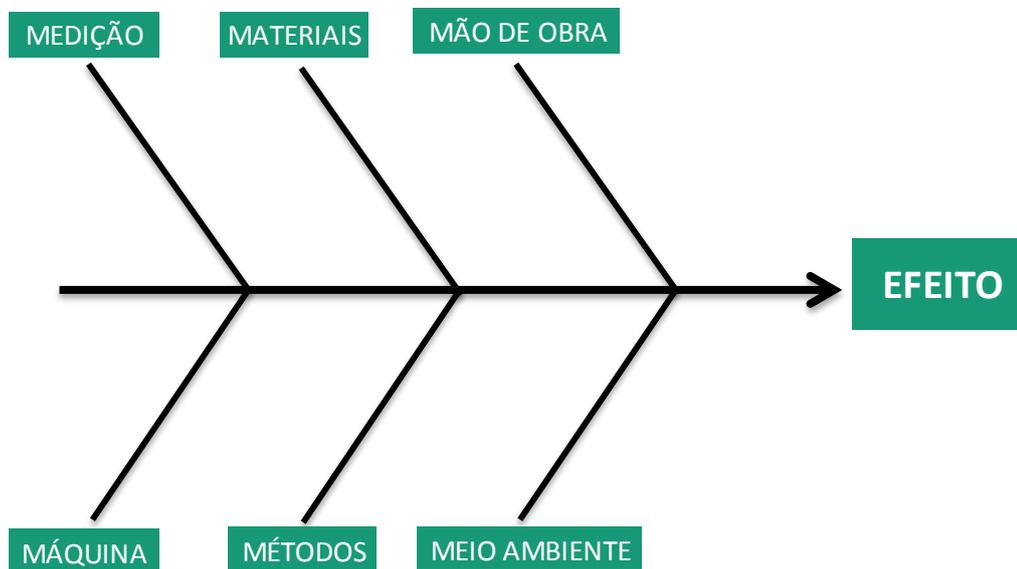
É fato que uma ação aberta sobre resultados é frequentemente menos econômica quando se restringe à detecção e correção da falha/produto fora da especificação sem indicar a causa do problema no processo.

No controle estatístico do processo, ações são tomadas para prevenir que características importantes variem em relação aos seus valores-alvos, garantindo estabilidade e confiança do processo. Tais ações podem consistir em: mudança nas operações, com treinamentos diversos; mudanças nos elementos básicos do processo, alternando equipamento

e aprimorando a comunicação e relacionamento entre funcionários; mudança no projeto do processo.

Para que o objetivo seja alcançado, todas as mudanças devem ser monitoradas e acompanhadas com detalhes e então adequadas de acordo com a necessidade do processo. Para a identificação destas ações é frequentemente utilizado o Diagrama de Causa e Efeito, ferramenta básica da qualidade criada por Kaoru Ishikawa, em 1943, no qual são definidas as ‘causas principais’ da incapacidade do processo no formato de uma espinha de peixe. O diagrama é dividido em seis variáveis principais: Mão de obra, Materiais, Medição, Meio Ambiente, Máquina e Método. A Figura 3 apresenta o esboço de um Diagrama de Causa e Efeito:

**Figura 3** – Representação Diagrama Causa e Efeito



Fonte: Próprio Autor

- Pessoa/ Mão de obra  
Neste tópico é averiguada a capacidade e conhecimentos técnicos dos funcionários atuantes no processo, seus conhecimentos, dificuldades e habilidades para desenvolverem as atividades competentes ao mesmo.
- Medição  
Neste tópico são estudadas formas de medição de parâmetros do processo e como é realizado o monitoramento.
- Meio ambiente

Neste tópico são estudadas as características físicas do ambiente de trabalho, tais como temperatura, iluminação, ruídos, facilidade de acesso, entre outras.

- Máquina/ Equipamento

Esta variável contempla o estudo de problemas ou fatores relacionados aos equipamentos de trabalho

- Método

Neste tópico são estudadas e detalhadas as informações relacionadas ao sistema de trabalho, como rotina de trabalho e modos de operação.

- Materiais/ Matéria prima

Neste tópico são estudados problemas ou fatores relacionados com componentes, insumos, matérias primas entre outros utilizados na realização do processo.

#### 4.2.1 Interpretação das cartas de controle

Cartas de controle são gráficos de linhas sobre um processo ou variável que, a partir do qual se interpreta a capacidade do processo. Para distinguir um processo estável de um processo não estável é realizada uma análise das cartas de controle com objetivo de detectar causas especiais atuantes no processo (PYLRO, 2008).

O principal objetivo das cartas de controle é monitorar estatisticamente o processo e a partir de então visualizar o comportamento do processo. Um processo é definido totalmente sob controle quando todos os pontos de valores encontram-se posicionados dentro dos limites superior e inferior de especificação, no entanto quanto mais pontos estiverem localizados próximos a linha central, mais confiável e estável se encontra o processo (PYLRO, 2008).

A interpretação das cartas é uma etapa tão importante quanto a criação das mesmas, uma vez que possibilita ao gestor a visualização da evolução do processo. A cada ponto uma nova análise deve ser realizada e sempre que o processo se apresentar fora do controle ações corretivas devem ser tomadas (SOUZA, 2010).

A Tabela 2 apresenta as sete regras suplementares utilizadas para interpretação das cartas de controle.

**Tabela 2** – Regras Suplementares para interpretação das cartas de controle

<b>Regras Suplementares</b>	<b>Definição</b>
Regra Suplementar nº 1	O processo apresenta-se fora do controle quando sete ou mais pontos sucessivos encontram-se em um mesmo lado da linha central LCX.
Regra Suplementar nº 2	O processo encontra-se fora do controle quando apresenta sete ou mais pontos sucessivos ascendentes ou descendentes.
Regra Suplementar nº 3	O processo encontra-se fora do controle quando em um grupo de doze pontos sucessivos, dez apresentam-se em um mesmo lado da linha central LCX.
Regra Suplementar nº 4	O processo apresenta-se fora do controle quando em um grupo de quatorze pontos sucessivos, onze se encontram em um mesmo lado da linha central.
Regra Suplementar nº 5	O processo apresenta-se fora do controle quando dois em três pontos sucessivos de um mesmo lado da linha central estão fora da região compreendida pelo intervalo de $\pm 2$ sigmas ( $\sigma$ ).
Regra Suplementar nº 6	O processo apresenta-se fora do controle quando, em um grupo de cinco pontos sucessivos, quatro encontram-se em um lado da linha central e fora da região compreendida entre $\pm 1$ sigma ( $\sigma$ ).
Regra Suplementar nº 7	O processo apresenta-se fora do controle quando, em certo momento inicia-se uma distribuição anormal dos pontos, ou seja, a distribuição dos pontos que até então se apresentava em certo parâmetro sai deste e apresenta outra distribuição.

Fonte: IETEC (2013)

### 4.3 Caleação

A caleagem ou caleação é um processo utilizado na fabricação de todos os tipos de açúcar como uma forma de se obter um produto de boa qualidade. Consiste na adição de leite de cal a 7° Baumé no caldo com objetivo de inibir a inversão da sacarose em glicose e frutose e precipitar as impurezas do caldo – clarificação (ALBUQUERQUE, 2011).

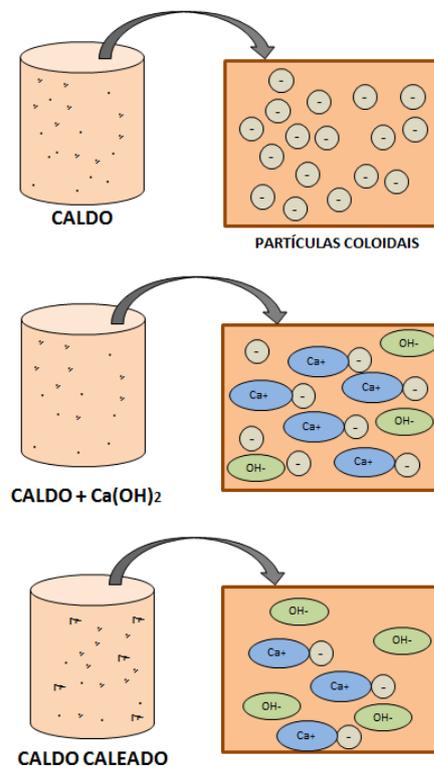
O caldo da cana apresenta um pH relativamente ácido, variando entre 5.0 a 5.5. Nestas condições é impossível que substâncias presentes no caldo se precipitem, assim a adição de leite de cal leva à formação de substâncias insolúveis que precipitam e floculam partículas coloidais, aumentando o pH do caldo. O leite de cal é obtido a partir da hidratação da cal virgem (ALBUQUERQUE, 2011).

O processo de caleação é uma importante etapa para a qualidade do açúcar, possui impacto não somente na característica da cor, mas em todos os processos posteriores a este,

assim é de vital importância conhecer a atividade do cálcio no caldo de cana (CASTRO, 2013).

As substâncias do caldo ao entrarem em contato com a ‘cal’ produzem três reações, como: formação de substâncias insolúveis; formação de substâncias que permanecem em solução e coagulação de suspensões coloidais e suspensões grosseiramente dispersas (ALBUQUERQUE, 2011). Tais reações dependem principalmente da concentração efetiva de íons de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{OH}^-$  presentes, como ilustra a Figura 4.

**Figura 4** – Comportamento da cal ( $\text{CaOH}_2$ ) no caldo de cana



Fonte: Próprio autor.

#### 4.3.1 Efeitos do pH do caldo clarificado

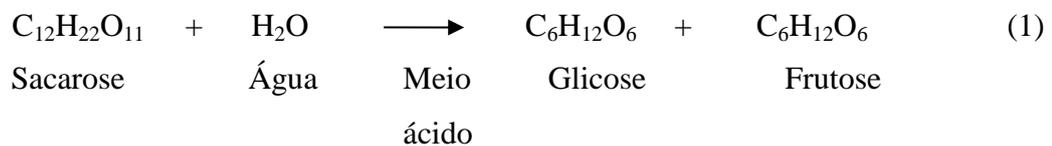
O controle do pH do caldo clarificado é uma etapa de grande importância no processo de produção de açúcar. Um dos fatores de maior relevância na qualidade da caleação é a pureza da cal, pois os variados tipos de impurezas podem causar problemas como (ALBUQUERQUE, 2011):

- Redução da velocidade de decantação;
- Variação no tamanho dos flocos formados;

- Aumento das incrustações nos trocadores de calor e equipamentos posteriores;

Já a dosagem incorreta de leite de cal no caldo pode causar problemas que levam desde a perda de sacarose até problemas em equipamentos dos processos posteriores a este (CASTRO, 2013).

A principal consequência da baixa dosagem de cal é a perda de sacarose por inversão. Inversão é definida como a hidrólise da sacarose em frutose e glicose, açúcares denominados redutores. A sacarose quando em meio ácido e calor é facilmente hidrolisada de acordo com a reação (1) (LOPES, 2011):

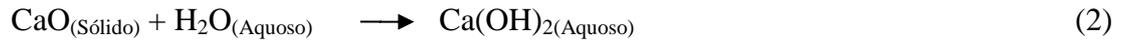


A inversão da sacarose produz quantidades iguais de glicose e frutose, a presença destes açúcares no caldo não é interessante uma vez que os mesmos não possuem capacidade de cristalização, sendo perdidos no processo. A decomposição destes por sua vez geram produtos de cor elevada, impedindo a obtenção de açúcares de cores claras e também reagem com íons de cálcio formando sais que aumentam consideravelmente as incrustações em aquecedores e evaporadores. Desta forma, a queda de pH do caldo é indicador de queda de pureza e deterioração do caldo (ALBUQUERQUE, 2011).

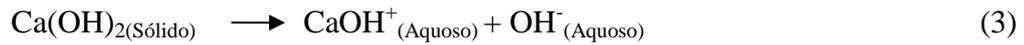
Já a dosagem excessiva cal causa, além da destruição dos açúcares redutores, a formação de produtos de decomposição dos ácidos e sais solúveis de cálcio e favorece a existência de cálcio no caldo clarificado. Esta sobre alcalinização aumenta até certo grau o teor dos não açúcares no caldo e aumentam as incrustações e precipitação parcial dos sais de cálcio no processo de evaporação em forma de suspensão, ao permanecerem no melaço prejudicam a filtrabilidade do açúcar, impedindo que na operação da centrifugação se obtenha uma boa separação dos cristais e licor mãe (FERREIRA, 2013).

#### 4.3.2 Cal

A cal ou óxido de cálcio é um mineral encontrado na natureza sob a forma de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Dois tipos de cal podem ser utilizadas para aplicação na indústria sucroalcooleira, cal virgem e cal hidratada. A cal virgem reage com a água produzindo cal hidratada ou hidróxido de cálcio de acordo com a reação: (LOPES, 2011)



Ao ser adicionada no caldo de cana ocorre a ionização do hidróxido de sódio de acordo com as seguintes equações: (ALBUQUERQUE, 2011)

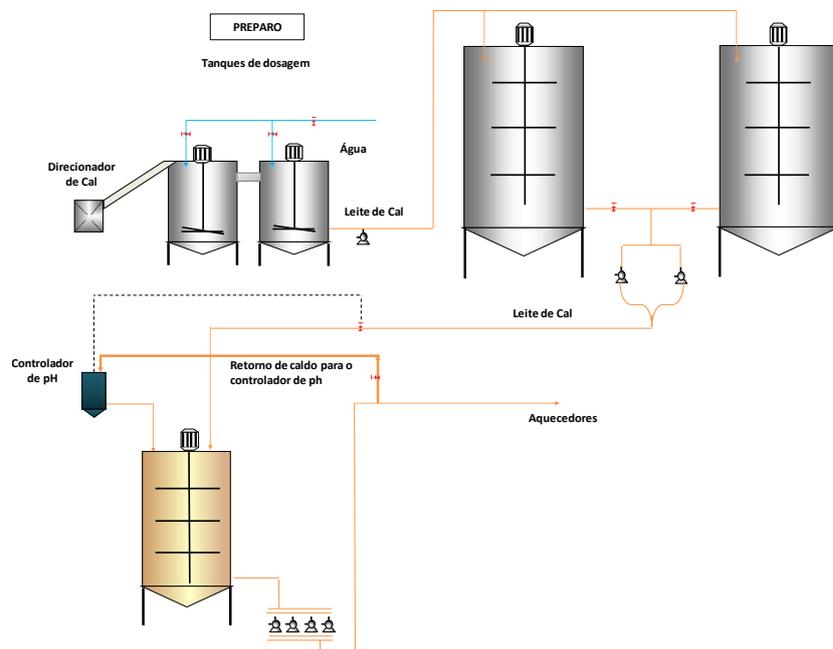


O óxido de cálcio se perde por recarbonatação quando em presença de ar e umidade, assim cuidados em seu armazenamento devem ser tomados, como evitar o contato da cal com o ar atmosférico e armazenagem por um longo período de tempo. (CASTRO, 2013)

#### 4.3.3 O processo de caleação na indústria em estudo

A caleação consiste em um processo contínuo no qual são empregados tanques com constante agitação. Para compreender as causas e o estudo das variáveis atuantes no processo é preciso que se conheça o fluxograma de caleação. A Figura 5, a seguir, apresenta o processo disposto como na planta industrial.

**Figura 5 – Fluxograma do processo de caleação**  
**CALAGEM**



Fonte: Próprio autor.

O preparo do leite de cal é realizado utilizando-se dois tanques de 7 m<sup>3</sup> e dois tanques de 80 m<sup>3</sup> cada. Inicialmente os bags de cal são descarregados com o auxílio de uma ponta rolante, uma bica de cal e uma rosca sem fim, que tem como função direcionar a cal puro ao primeiro tanque de 7 m<sup>3</sup>, que em seguida é direcionado ao segundo tanque de 7m<sup>3</sup> e posteriormente ao tanque de 80m<sup>3</sup>.

Os tanques de 80<sup>3</sup> trabalham em alternância, sendo que no momento em que um tanque prepara-se para receber o leite de cal o outro tanque, com um volume maior, é disponibilizado para o tratamento do caldo.

O parâmetro de Baumé definido pela empresa em estudo desejável no preparo do leite cal compreende a faixa entre 8 a 12°. A Figura 6 apresenta a dosagem de cal na bica de dosagem no setor de preparo de leite de cal. A seguir, a Figura 7 retrata os tanques de 80 m<sup>3</sup> aos quais o leite de cal é direcionado e conservado.

**Figura 6** – Bica de cal – Dosagem de Cal



Fonte: Próprio autor.

**Figura 7** – Tanques de preparo de leite de cal



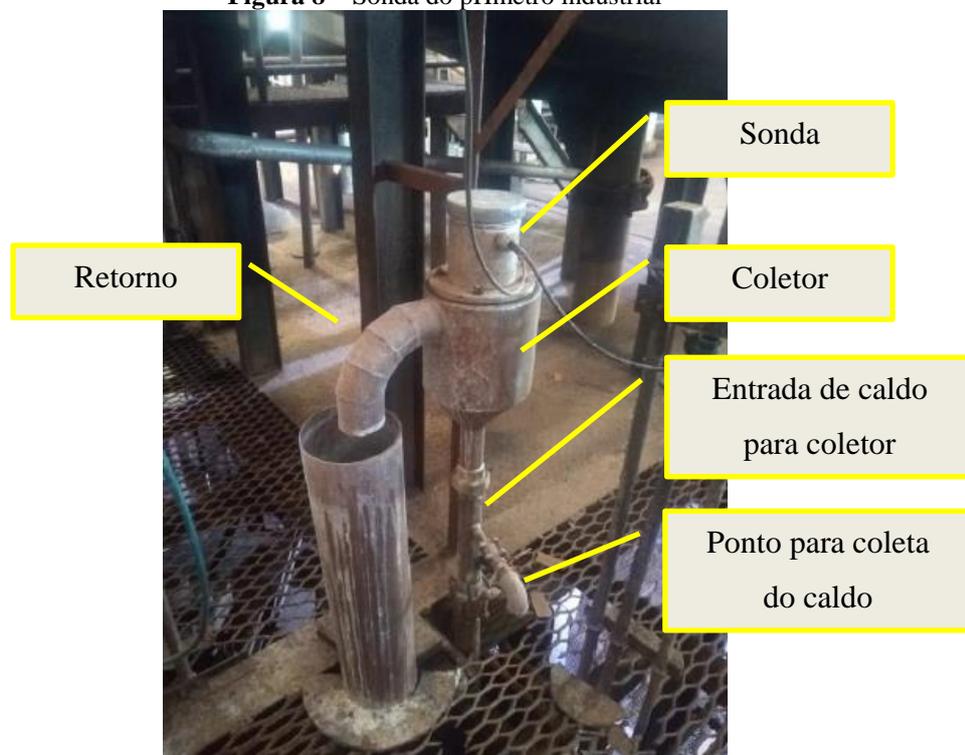
Fonte: Próprio autor.

Após completado o volume dos tanques de 80<sup>3</sup>, em uma operação normal de moagem de cana, cada tanque dispõe de um tempo de consumo de aproximadamente 5 a 6 horas.

A dissolução do leite de cal no caldo é realizada em um tanque de 300 m<sup>3</sup>, o qual não possui tempo de retenção. Na linha de saída deste tanque há um medidor de pH o qual realiza a leitura do pH do caldo e aciona a válvula de abertura da tubulação de dosagem de leite de cal. Desta forma, a dosagem de leite de cal ao caldo se ajusta conforme o pH do caldo caleado. A leitura do pH e acionamento da válvula acontece via supervisorio localizado no COI (Centro de Operações Industriais).

A Figura 8 retrata o local de instalação da sonda do pHmetro localizado no setor de tratamento de caldo, no qual se realiza a leitura do pH do caldo caleado. No mesmo local há uma válvula que permite ao operador coletar o caldo para realizar análises de contra prova no laboratório industrial, havendo também a opção de realizar a leitura do pH em um pHmetro que encontra-se no supervisorio do COI. O setor laboratório industrial é responsável por realizar a coleta e análise do caldo caleado a cada 2 horas.

**Figura 8** – Sonda do pHmetro industrial



Fonte: Próprio autor.

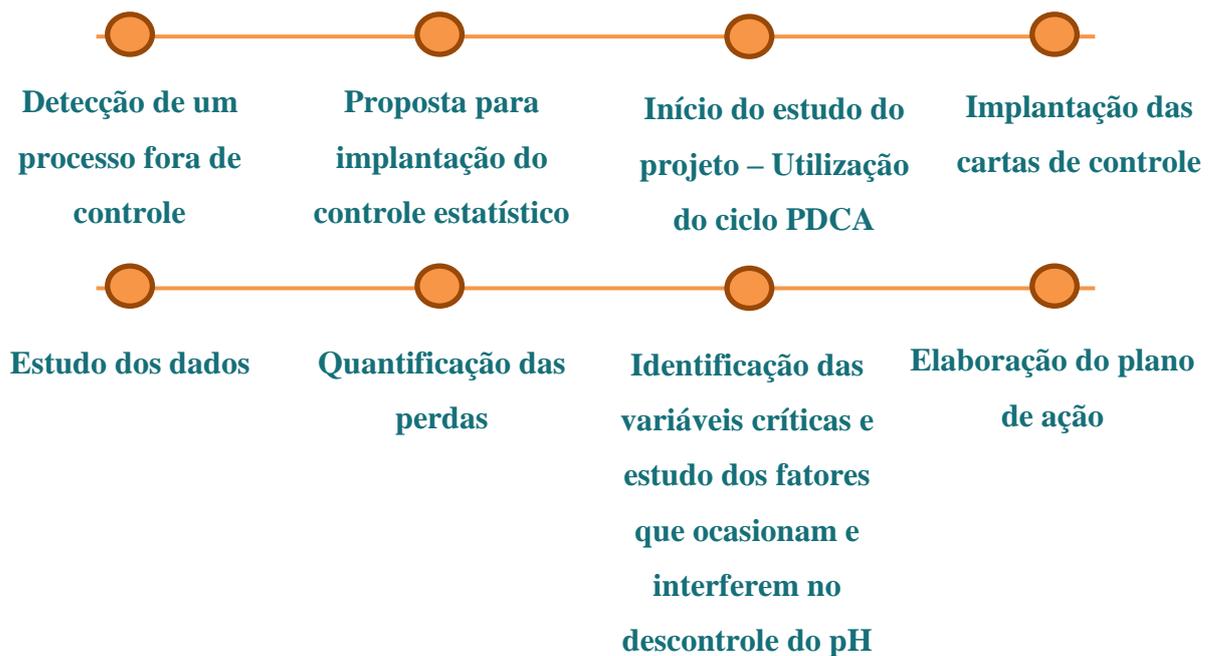
## 5. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho é apresentada abaixo em quatro fases distintas: Cronologia, Ciclo PDCA, Métodos e cálculos para elaboração das Cartas de Controle do CEP e Coleta de dados.

### 5.1 Cronologia

O presente projeto apresenta uma pesquisa exploratória desenvolvida em uma indústria do setor sucroalcooleiro a partir do ciclo PDCA. O estudo contemplou dados dos meses de julho, agosto, setembro e outubro de 2018, nos quais os valores de pH das análises realizadas pelo setor de controle de qualidade foram monitoradas e um plano de ações foi desenvolvido. A Figura 9 apresenta de descrição cronológica o desenvolvimento do projeto.

**Figura 9** – Descrição cronológica do projeto



Fonte: Próprio autor.

### 5.2 Ciclo PDCA

Na primeira etapa “Plan – Planejar” o projeto foi elaborado definindo as diretrizes, ferramentas utilizadas, frequências de coleta de dados e responsáveis.

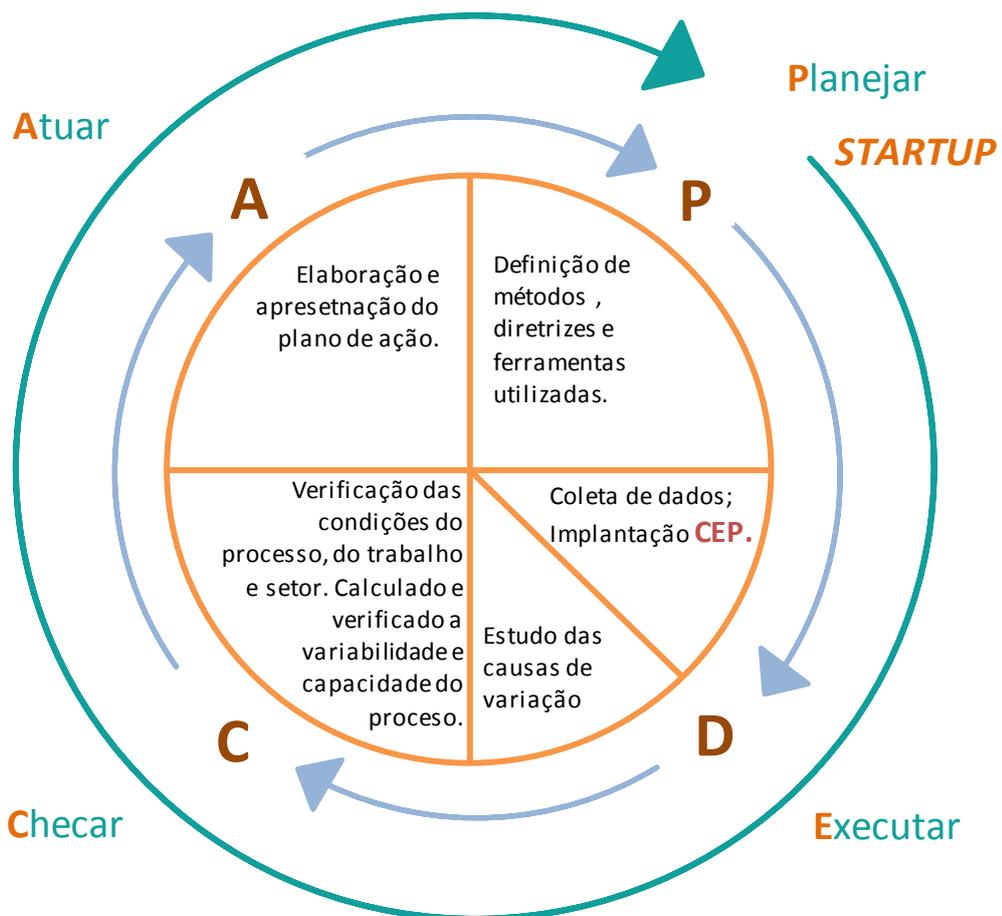
Na segunda etapa “Do – Executar” foi implantado o Controle Estatístico do processo, realizado o acompanhamento e estudo das causas especiais e comuns de variação utilizando como apoio o Diagrama de Causa e Efeito.

Na terceira etapa “Check – Checar” foi verificado a variabilidade e capacidade do processo, bem como as condições do processo, do trabalho e do setor.

Por fim, na quarta etapa, “Act – Atuar” um plano de ação foi elaborado com auxílio da ferramenta de gestão 5W2H (When, What, Where, Why, Who, How, How much), e por fim apresentado.

A Figura 10 apresenta a orientação do trabalho e disposição do projeto de acordo com o ciclo PDCA.

**Figura 10** - Ciclo de realização e implantação do projeto de implantação do CEP



Fonte: Próprio Autor

### 5.3 Métodos e cálculos para elaboração das Cartas de Controle do CEP

Para obter uma boa qualidade do produto final, o açúcar, e um bom desempenho dos processos posteriores à caleação a indústria em estudo estipulou que o pH desejável do caldo caleado tenha valor aproximado de 7.2, com uma tolerância de 0,2 para mais ou menos, com este pH o processo está sob controle, com o rendimento e parâmetros desejados.

As cartas de controle estatístico do processo foram elaboradas utilizando o aplicativo de criação de planilhas eletrônicas Excel. Os cálculos foram desenvolvidos utilizando as seguintes equações: (IETEC, 2013)

- Limite de Controle de Amplitude

$$LCR = \frac{\sum R}{n_R} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

R = Amplitude diária, calculada pela diferença entre os valores de pH de um dia após o outro.

$n_R$  = número de amostras de amplitude

- Limite Superior de Controle de Amplitude

$$LSCR = D4 * R \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

D4 = Constante (anexo A)

R = Amplitude diária

- Limite de Controle

$$LCX = \frac{\sum X}{n_X} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,

X = Valores diários de pH

$n_X$  = número de amostras de pH

- Limite Superior de controle

$$LSCX = LCX + 3DP \quad (\text{Equação 4})$$

Onde,

LCX = Limite de controle

DP = Desvio padrão

- Limite Inferior de controle

$$LICX = LCX - 3DP$$

(Equação 5)

Onde,

LCX = Limite de controle

DP = Desvio padrão

- Limite de Especificação

$$LE = \text{Set Point}$$

(Equação 6)

Onde,

Set point = 7,2 (Valor ótimo estipulado pela indústria em estudo para o pH do caldo caledado)

- Limite Superior de Especificação

$$LSE = \text{Set Point} + 0,2$$

(Equação 7)

- Limite Inferior de Especificação

$$LIE = \text{Set Point} - 0,2$$

(Equação 8)

- Desvio Padrão (sigma)

$$DP (\sigma) = \frac{LCR}{d2}$$

(Equação 9)

Onde,

LCR = Limite de controle de amplitude

d2 = Constante (anexo A)

- Capacidade do processo

$$CP = \frac{(LSE - LIE)}{6 DP} \quad (\text{Equação 10})$$

LSE = Limite superior de Especificação

LIE = Limite inferior de Especificação

DP = Desvio padrão

- Índice de Capacidade do Processo

$$ICP = \frac{(LSE - LIE)}{8 DP * 100} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde,

LSE = Limite superior de Especificação

LIE = Limite inferior de Especificação

DP = Desvio padrão

Os Valores de referência para interpretação dos resultados são dispostos nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3** – Valores de referência para interpretação da Capacidade do Processo

<b>Valor CP</b>	<b>Interpretação do Processo</b>
Cp > 1,33	Bastante satisfatório
1,0 < Cp < 1,33	Adequado
Cp < 1,0	Inadequado

Fonte: Instituto de Educação Tecnológica

**Tabela 4** – Valores de referência para interpretação do Índice de Capacidade do Processo

<b>Valor ICP</b>	<b>Interpretação do Processo</b>
ICP > 150	Processo altamente capaz
100 < ICP < 150	Processo capaz
75 < ICP < 100	Processo relativamente capaz
ICP < 75	Processo totalmente incapaz

Fonte: Instituto de Educação Tecnológica

#### 5.4. Coleta de Dados

Foram coletados dados de análises laboratoriais de pH do caldo caleado durante os meses de Julho, Agosto, Setembro e Outubro do ano 2018. Para cada dia três amostras foram coletadas em diferentes horários do dia, respeitando um intervalo de oito (8) horas entre uma análise e outra.

As análises de pH foram realizadas manualmente em laboratório utilizando um pHmetro de bancada Digimed.

As Tabelas a seguir exibem as amostras de dados colhidos nos meses em estudo. Os horários isentos de valores representam análises não realizadas por motivos diversos, tais como falta de amostra por indústria parada, quebra ou defeito do equipamento pHmetro, amostra perdida, entre outros. É importante ressaltar que a ausência destes dados em momentos em que a planta industrial permanece em operação ocasiona uma interrupção na leitura dos dados durante o período de tempo em questão, fato que compromete a atuação e o controle do pH do caldo. A Tabela 5 apresenta os dados de pH do caldo caleado colhidos no mês de Julho.

**Tabela 5** – Amostras de dados de pH do caldo caleado colhidas no mês de Julho**Valores de pH do Caldo Caleado - Julho**

<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>	<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>	<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>	<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>
01/07 - 06:00	7,43	11/07 - 06:00	6,90	21/07 - 06:00	7,08	31/07 - 06:00	6,22
01/07 - 15:00	*	11/07 - 15:00	7,67	21/07 - 15:00	6,40	31/07 - 15:00	6,68
01/07 - 00:00	7,33	11/07 - 00:00	6,71	21/07 - 00:00	6,92	31/07 - 00:00	6,75
02/07 - 06:00	7,00	12/07 - 06:00	6,31	22/07 - 06:00	6,79		
02/07 - 15:00	7,43	12/07 - 15:00	8,64	22/07 - 15:00	7,60		
02/07 - 00:00	6,40	12/07 - 00:00	5,81	22/07 - 00:00	6,23		
03/07 - 06:00	6,84	13/07 - 06:00	6,73	23/07 - 06:00	7,44		
03/07 - 15:00	7,00	13/07 - 15:00	6,80	23/07 - 15:00	6,76		
03/07 - 00:00	7,00	13/07 - 00:00	6,47	23/07 - 00:00	6,89		
04/07 - 06:00	7,62	14/07 - 06:00	7,12	24/07 - 06:00	6,64		
04/07 - 15:00	*	14/07 - 15:00	6,93	24/07 - 15:00	6,89		
04/07 - 00:00	6,30	14/07 - 00:00	6,36	24/07 - 00:00	6,75		
05/07 - 06:00	7,57	15/07 - 06:00	7,51	25/07 - 06:00	6,80		
05/07 - 15:00	8,11	15/07 - 15:00	6,89	25/07 - 15:00	6,98		
05/07 - 00:00	6,83	15/07 - 00:00	7,10	25/07 - 00:00	7,41		
06/07 - 06:00	*	16/07 - 06:00	7,12	26/07 - 06:00	8,26		
06/07 - 15:00	*	16/07 - 15:00	6,86	26/07 - 15:00	7,42		
06/07 - 00:00	7,07	16/07 - 00:00	7,34	26/07 - 00:00	5,84		
07/07 - 06:00	8,80	17/07 - 06:00	6,95	27/07 - 06:00	6,47		
07/07 - 15:00	*	17/07 - 15:00	*	27/07 - 15:00	6,64		
07/07 - 00:00	*	17/07 - 00:00	7,00	27/07 - 00:00	7,36		
08/07 - 06:00	7,12	18/07 - 06:00	6,88	28/07 - 06:00	6,98		
08/07 - 15:00	6,77	18/07 - 15:00	*	28/07 - 15:00	6,71		
08/07 - 00:00	8,23	18/07 - 00:00	6,73	28/07 - 00:00	5,75		
09/07 - 06:00	6,35	19/07 - 06:00	6,63	29/07 - 06:00	5,74		
09/07 - 15:00	6,74	19/07 - 15:00	7,01	29/07 - 15:00	6,32		
09/07 - 00:00	6,57	19/07 - 00:00	6,77	29/07 - 00:00	6,78		
10/07 - 06:00	6,77	20/07 - 06:00	6,67	30/07 - 06:00	6,58		
10/07 - 15:00	7,08	20/07 - 15:00	7,43	30/07 - 15:00	6,47		
10/07 - 00:00	7,03	20/07 - 00:00	7,18	30/07 - 00:00	7,66		

\* Horários cuja análise de pH não foi realizada por motivos diversos, tais como: Parada da planta industrial por chuva, Parada da planta industrial por necessidade, Equipamento industrial parado, entre outros.

A Tabela 6 apresenta os dados de pH do caldo caleado colhidos no mês de Agosto.

**Tabela 6** – Amostras de dados de pH do caldo caleado colhidas no mês de Agosto**Valores de pH do Caldo Caleado - Agosto**

<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>	<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>	<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>	<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>
01/08 - 06:00	6,70	11/08 - 06:00	7,32	21/08 - 06:00	7,46	31/08 - 06:00	7,24
01/08 - 15:00	7,02	11/08 - 15:00	6,60	21/08 - 15:00	7,14	31/08 - 15:00	7,14
01/08 - 00:00	6,80	11/08 - 00:00	*	21/08 - 00:00	6,16	31/08 - 00:00	6,84
02/08 - 06:00	6,57	12/08 - 06:00	7,05	22/08 - 06:00	6,90		
02/08 - 15:00	7,06	12/08 - 15:00	7,44	22/08 - 15:00	6,36		
02/08 - 00:00	7,13	12/08 - 00:00	7,47	22/08 - 00:00	7,08		
03/08 - 06:00	6,12	13/08 - 06:00	7,00	23/08 - 06:00	6,82		
03/08 - 15:00	7,01	13/08 - 15:00	7,40	23/08 - 15:00	6,65		
03/08 - 00:00	6,90	13/08 - 00:00	*	23/08 - 00:00	8,12		
04/08 - 06:00	*	14/08 - 06:00	5,83	24/08 - 06:00	7,05		
04/08 - 15:00	*	14/08 - 15:00	7,19	24/08 - 15:00	7,12		
04/08 - 00:00	*	14/08 - 00:00	*	24/08 - 00:00	6,64		
05/08 - 06:00	*	15/08 - 06:00	6,29	25/08 - 06:00	6,75		
05/08 - 15:00	*	15/08 - 15:00	6,54	25/08 - 15:00	6,92		
05/08 - 00:00	*	15/08 - 00:00	*	25/08 - 00:00	*		
06/08 - 06:00	*	16/08 - 06:00	7,43	26/08 - 06:00	6,70		
06/08 - 15:00	*	16/08 - 15:00	8,61	26/08 - 15:00	*		
06/08 - 00:00	*	16/08 - 00:00	6,33	26/08 - 00:00	*		
07/08 - 06:00	*	17/08 - 06:00	6,43	27/08 - 06:00	7,07		
07/08 - 15:00	*	17/08 - 15:00	6,54	27/08 - 15:00	6,59		
07/08 - 00:00	*	17/08 - 00:00	*	27/08 - 00:00	7,41		
08/08 - 06:00	7,26	18/08 - 06:00	7,37	28/08 - 06:00	7,05		
08/08 - 15:00	7,88	18/08 - 15:00	6,90	28/08 - 15:00	7,00		
08/08 - 00:00	7,21	18/08 - 00:00	6,86	28/08 - 00:00	7,06		
09/08 - 06:00	6,13	19/08 - 06:00	6,64	29/08 - 06:00	6,94		
09/08 - 15:00	*	19/08 - 15:00	6,93	29/08 - 15:00	7,10		
09/08 - 00:00	*	19/08 - 00:00	6,94	29/08 - 00:00	6,04		
10/08 - 06:00	6,29	20/08 - 06:00	7,75	30/08 - 06:00	6,85		
10/08 - 15:00	5,96	20/08 - 15:00	7,38	30/08 - 15:00	7,01		
10/08 - 00:00	*	20/08 - 00:00	6,42	30/08 - 00:00	7,00		

\* Horários cuja análise de pH não foi realizada por motivos diversos, tais como: Parada da planta industrial por chuva, Parada da planta industrial por necessidade, Equipamento industrial parado, entre outros.

A Tabela 7 apresenta os dados de pH do caldo caleado colhidos no mês de Setembro.

**Tabela 7** – Amostras de dados de pH do caldo caleado colhidas no mês de Setembro**Valores de pH do Caldo Caleado - Setembro**

<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>	<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>	<b>Data/Hora</b>	<b>PH</b>
01/09 - 06:00	6,54	11/09 - 06:00	6,55	21/09 - 06:00	*
01/09 - 15:00	7,02	11/09 - 15:00	7,08	21/09 - 15:00	*
01/09 - 00:00	7,30	11/09 - 00:00	7,65	21/09 - 00:00	*
02/09 - 06:00	6,34	12/09 - 06:00	6,79	22/09 - 06:00	6,55
02/09 - 15:00	7,05	12/09 - 15:00	7,34	22/09 - 15:00	6,61
02/09 - 00:00	6,57	12/09 - 00:00	6,60	22/09 - 00:00	*
03/09 - 06:00	7,15	13/09 - 06:00	7,08	23/09 - 06:00	6,76
03/09 - 15:00	7,20	13/09 - 15:00	6,96	23/09 - 15:00	7,39
03/09 - 00:00	7,06	13/09 - 00:00	6,74	23/09 - 00:00	6,53
04/09 - 06:00	6,78	14/09 - 06:00	6,56	24/09 - 06:00	7,03
04/09 - 15:00	7,00	14/09 - 15:00	8,01	24/09 - 15:00	6,89
04/09 - 00:00	7,11	14/09 - 00:00	6,18	24/09 - 00:00	7,04
05/09 - 06:00	7,45	15/09 - 06:00	*	25/09 - 06:00	7,14
05/09 - 15:00	6,49	15/09 - 15:00	*	25/09 - 15:00	7,31
05/09 - 00:00	6,89	15/09 - 00:00	7,11	25/09 - 00:00	7,19
06/09 - 06:00	6,46	18/09 - 06:00	6,89	26/09 - 06:00	6,21
06/09 - 15:00	7,38	18/09 - 15:00	*	26/09 - 15:00	5,96
06/09 - 00:00	7,80	18/09 - 00:00	*	26/09 - 00:00	6,60
07/09 - 06:00	6,58	17/09 - 06:00	7,83	27/09 - 06:00	6,52
07/09 - 15:00	6,55	17/09 - 15:00	8,10	27/09 - 15:00	7,10
07/09 - 00:00	6,40	17/09 - 00:00	7,72	27/09 - 00:00	6,00
08/09 - 06:00	6,25	18/09 - 06:00	*	28/09 - 06:00	7,22
08/09 - 15:00	7,09	18/09 - 15:00	*	28/09 - 15:00	6,73
08/09 - 00:00	6,86	18/09 - 00:00	*	28/09 - 00:00	7,72
09/09 - 06:00	6,66	19/09 - 06:00	*	29/09 - 06:00	6,72
09/09 - 15:00	6,12	19/09 - 15:00	6,85	29/09 - 15:00	6,98
09/09 - 00:00	7,00	19/09 - 00:00	*	29/09 - 00:00	7,00
10/09 - 06:00	6,58	20/09 - 06:00	6,90	30/09 - 06:00	6,42
10/09 - 15:00	6,20	20/09 - 15:00	*	30/09 - 15:00	7,31
10/09 - 00:00	*	20/09 - 00:00	7,44	30/09 - 00:00	6,63

\* Horários cuja análise de pH não foi realizada por motivos diversos, tais como: Parada da planta industrial por chuva, Parada da planta industrial por necessidade, Equipamento industrial parado, entre outros.

A Tabela 8 apresenta os dados de pH do caldo caleado colhidos no mês de Outubro.

**Tabela 8** – Amostras de dados de pH do caldo caaleado colhidas no mês de Outubro**Valores de pH do Caldo Caleado - Outubro**

Data/Hora	PH	Data/Hora	PH	Data/Hora	PH	Data/Hora	PH
01/10 - 06:00	7,94	11/10 - 06:00	*	21/10 - 06:00	6,79	31/10 - 06:00	6,83
01/10 - 15:00	*	11/10 - 15:00	*	21/10 - 15:00	6,61	31/10 - 15:00	6,56
01/10 - 00:00	*	11/10 - 00:00	*	21/10 - 00:00	6,32	31/10 - 00:00	5,81
02/10 - 06:00	6,96	12/10 - 06:00	*	22/10 - 06:00	7,03		
02/10 - 15:00	7,26	12/10 - 15:00	*	22/10 - 15:00	7,57		
02/10 - 00:00	8,19	12/10 - 00:00	*	22/10 - 00:00	7,26		
03/10 - 06:00	6,37	13/10 - 06:00	7,65	23/10 - 06:00	6,66		
03/10 - 15:00	6,86	13/10 - 15:00	6,10	23/10 - 15:00	6,50		
03/10 - 00:00	6,65	13/10 - 00:00	7,34	23/10 - 00:00	7,83		
04/10 - 06:00	7,04	14/10 - 06:00	6,15	24/10 - 06:00	7,10		
04/10 - 15:00	6,62	14/10 - 15:00	6,55	24/10 - 15:00	6,90		
04/10 - 00:00	6,96	14/10 - 00:00	7,09	24/10 - 00:00	*		
05/10 - 06:00	6,54	15/10 - 06:00	6,49	25/10 - 06:00	*		
05/10 - 15:00	7,06	15/10 - 15:00	*	25/10 - 15:00	*		
05/10 - 00:00	7,73	15/10 - 00:00	*	25/10 - 00:00	*		
06/10 - 06:00	6,56	16/10 - 06:00	*	26/10 - 06:00	*		
06/10 - 15:00	6,27	16/10 - 15:00	6,67	26/10 - 15:00	*		
06/10 - 00:00	6,60	16/10 - 00:00	7,55	26/10 - 00:00	*		
07/10 - 06:00	6,74	17/10 - 06:00	6,87	27/10 - 06:00	*		
07/10 - 15:00	5,41	17/10 - 15:00	7,68	27/10 - 15:00	*		
07/10 - 00:00	6,92	17/10 - 00:00	7,00	27/10 - 00:00	*		
08/10 - 06:00	6,92	18/10 - 06:00	7,51	28/10 - 06:00	*		
08/10 - 15:00	*	18/10 - 15:00	*	28/10 - 15:00	*		
08/10 - 00:00	*	18/10 - 00:00	*	28/10 - 00:00	*		
09/10 - 06:00	*	19/10 - 06:00	*	29/10 - 06:00	6,35		
09/10 - 15:00	*	19/10 - 15:00	6,00	29/10 - 15:00	6,66		
09/10 - 00:00	*	19/10 - 00:00	6,80	29/10 - 00:00	6,80		
10/10 - 06:00	*	20/10 - 06:00	8,46	30/10 - 06:00	6,49		
10/10 - 15:00	*	20/10 - 15:00	5,06	30/10 - 15:00	7,14		
10/10 - 00:00	*	20/10 - 00:00	7,26	30/10 - 00:00	*		

\* Horários cuja análise de pH não foi realizada por motivos diversos, tais como: Parada da planta industrial por chuva, Parada da planta industrial por necessidade, Equipamento industrial parado, entre outros.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa foram analisados as cartas de controle do processo, o índice de capacidade e as condições para um processo fora do controle, além de uma análise sobre a implantação da ferramenta de Controle Estatístico do Processo.

## 6.1 Estudo do processo de caleação mediante aplicação do Controle Estatístico do Processo

### 6.1.1 Cálculo da Capacidade do Processo e do Índice de Capacidade do Processo

Conforme descrito na Equação 10 e na Equação 11 foram calculados a Capacidade do Processo e o Índice de Capacidade do Processo para os meses de Julho, Agosto, Setembro e Outubro.

#### 6.1.1.1 Cálculo CP e ICP mês de Julho

- Capacidade do Processo - CP

$$CP = \frac{(LSE - LIE)}{6 DP}$$

$$CP = \frac{(7,40 - 7,00)}{(6 * 0,52)} = \mathbf{0,12}$$

Resultado: “Inadequado”

- Índice de Capacidade do Processo - ICP

$$ICP = \frac{(LSE - LIE)}{(8 DP) * 100}$$

$$ICP = \frac{(7,40 - 7,00)}{(8 * 0,52) * 100} = \mathbf{9,61}$$

Resultado: “Processo totalmente incapaz”

#### 6.1.1.2 Cálculo CP e ICP mês de Agosto

- Capacidade do Processo - CP

$$CP = \frac{(LSE - LIE)}{6 DP}$$

$$CP = \frac{(7,40 - 7,00)}{(6 * 0,47)} = \mathbf{0,14}$$

Resultado: “Inadequado”

- Índice de Capacidade do Processo - ICP

$$ICP = \frac{(LSE - LIE)}{(8 DP) * 100}$$

$$ICP = \frac{(7,40 - 7,00)}{(8 * 0,47) * 100} = \mathbf{10,74}$$

Resultado: “Processo totalmente incapaz”

#### 6.1.1.3 Cálculo CP e ICP mês de Setembro

- Capacidade do Processo - CP

$$CP = \frac{(LSE - LIE)}{6 DP}$$

$$CP = \frac{(7,40 - 7,00)}{(6 * 0,46)} = \mathbf{0,14}$$

Resultado: “Inadequado”

- Índice de Capacidade do Processo - ICP

$$ICP = \frac{(LSE - LIE)}{(8 DP) * 100}$$

$$ICP = \frac{(7,40 - 7,00)}{(8 * 0,46) * 100} = \mathbf{10,86}$$

Resultado: “Processo totalmente incapaz”

#### 6.1.1.4 Cálculo CP e ICP mês de Outubro

- Capacidade do Processo - CP

$$CP = \frac{(LSE - LIE)}{6 DP}$$

$$CP = \frac{(7,40 - 7,00)}{(6 * 0,64)} = \mathbf{0,10}$$

Resultado: “Inadequado”

- Índice de Capacidade do Processo - ICP

$$ICP = \frac{(LSE - LIE)}{(8 DP) * 100}$$

$$ICP = \frac{(7,40 - 7,00)}{(8 * 0,64) * 100} = \mathbf{7,77}$$

Resultado: “Processo totalmente incapaz”

Para todos os meses citados o processo se mostrou “Inadequado” para o parâmetro Capacidade de Processo e “Totalmente incapaz” para o Índice de Capacidade do Processo, comprovando a necessidade de atuação corretiva imediata no processo.

#### 6.1.2 Plotagem e Interpretação das Cartas de Controle

A partir das equações específicas foram plotadas as cartas de controle para os meses de Julho, Agosto, Setembro e Outubro, bem como calculado a Capacidade do Processo e o Índice de Capacidade do Processo para os mesmos meses. Observa-se diante do resultado a incapacidade do processo em atender as especificações estabelecidas pela indústria. Em todos os meses estudados a Capacidade do Processo foi inferior à considerada “Adequada”, bem

como o Índice de Capacidade do Processo foi inferior ao considerado “Processo relativamente capaz”.

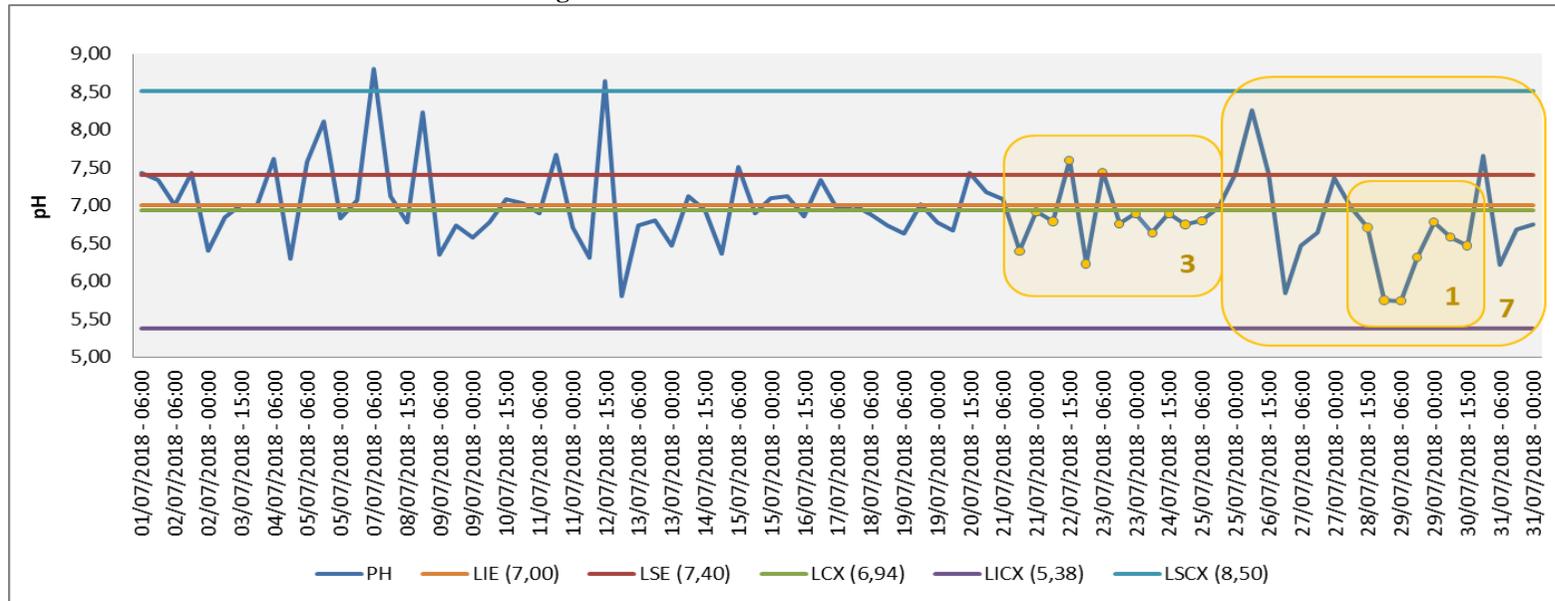
É possível interpretar a incapacidade do processo ao realizar a leitura das cartas de controle, quando se verifica que em todos os meses o Limite de Controle (LCX) esteve abaixo do Limite Inferior de Especificação (LIE), o que demonstra a dificuldade do processo em atender os parâmetros de qualidade especificados pela empresa, sugerindo modificações na operação, maquinário, processo ou mesmo adequação do parâmetro de qualidade se for o caso. As Figuras de 11 a 14 apresentam as cartas de controle para os meses em estudo.

Nota-se também ao interpretar a carta de amplitude picos de amplitudes que variam de 1,0 ponto a 2,0 pontos, chegando ao extremo de 3,4 de amplitude no mês de Outubro. A ocorrência exprime a dificuldade do processo em mante-se estável, fato considerado extremamente danoso a este, uma vez que o controle de pH requer um processo estabilizado com o mínimo de oscilação. As Figuras de 15 a 18 apresentam as cartas de amplitude para os meses em estudo.

Considerando que a capacidade do processo é inversamente proporcional à amplitude, justifica-se um menor número de capacidade do processo para o mês de outubro, uma vez que também foi observado um maior número do Limite de Controle de Amplitude (LCR). A Figura 23 apresenta a relação inversamente proporcional entre a Capacidade do Processo (CP) e o Limite de Controle de Amplitude (LCR)

Por meio da Carta de Controle de Sigmas é possível observar a distribuição dos valores de pH dentro dos limites de +1 Sigma, +2 Sigma, +3 Sigma, -1 Sigma, -2 Sigma e -3 Sigma. As Figuras de 19 a 22 apresentam as Cartas de Controle de Sigmas para os meses em estudo.

Figura 11 – Carta de controle CEP – Mês Julho



Fonte: Próprio autor.

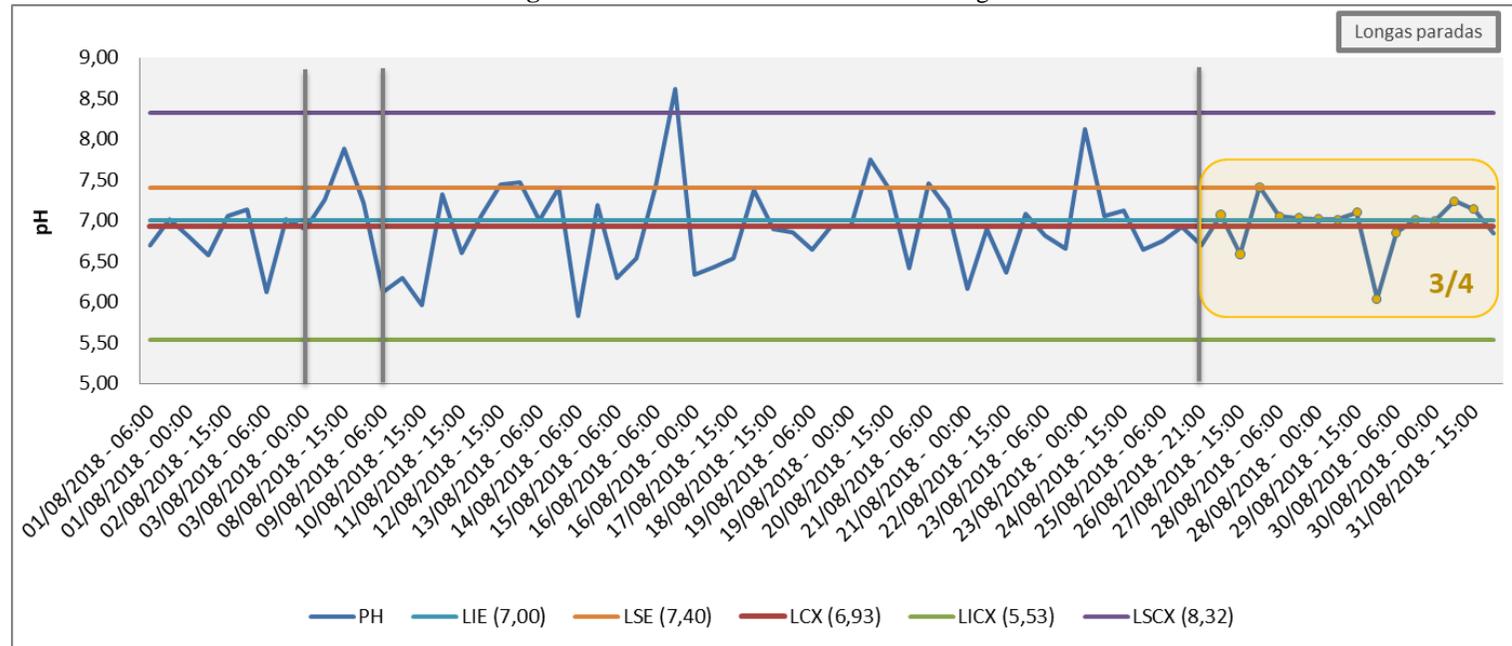
Regras Suplementares observadas:

Regra Suplementar nº 01: O processo apresenta-se fora do controle quando sete ou mais pontos sucessivos encontram-se em um mesmo lado da linha central LCX.

Regra Suplementar nº 03: O processo encontra-se fora do controle quando em um grupo de doze pontos sucessivos, dez apresentam-se em um mesmo lado da linha central LCX.

Regra Suplementar nº 07: O processo apresenta-se fora do controle quando, em certo momento inicia-se uma distribuição anormal dos pontos, ou seja, a distribuição dos pontos que até então se apresentava em certo parâmetro sai deste e apresenta outra distribuição.

**Figura 12** – Carta de controle CEP – Mês Agosto



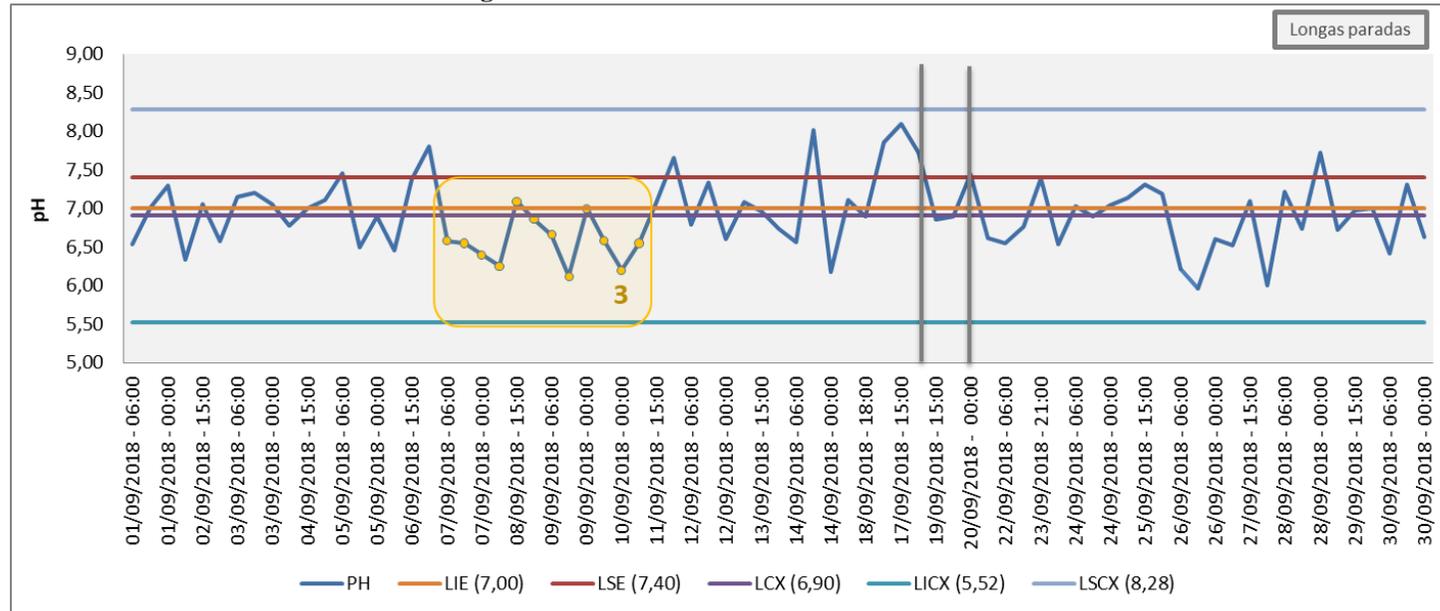
Fonte: Próprio autor.

Regras Suplementares observadas:

Regra Suplementar nº 03: O processo encontra-se fora do controle quando em um grupo de doze pontos sucessivos, dez apresentam-se em um mesmo lado da linha central LCX.

Regra Suplementar nº 04: O processo apresenta-se fora do controle quando em um grupo de quatorze pontos sucessivos, onze se encontram em um mesmo lado da linha central.

**Figura 13** – Carta de controle CEP – Mês Setembro



Fonte: Próprio autor.

Regras Suplementares observadas:

Regra Suplementar n° 03: O processo encontra-se fora do controle quando em um grupo de doze pontos sucessivos, dez apresentam-se em um mesmo lado da linha central LCX.

**Figura 14 – Carta de controle CEP – Mês Outubro**

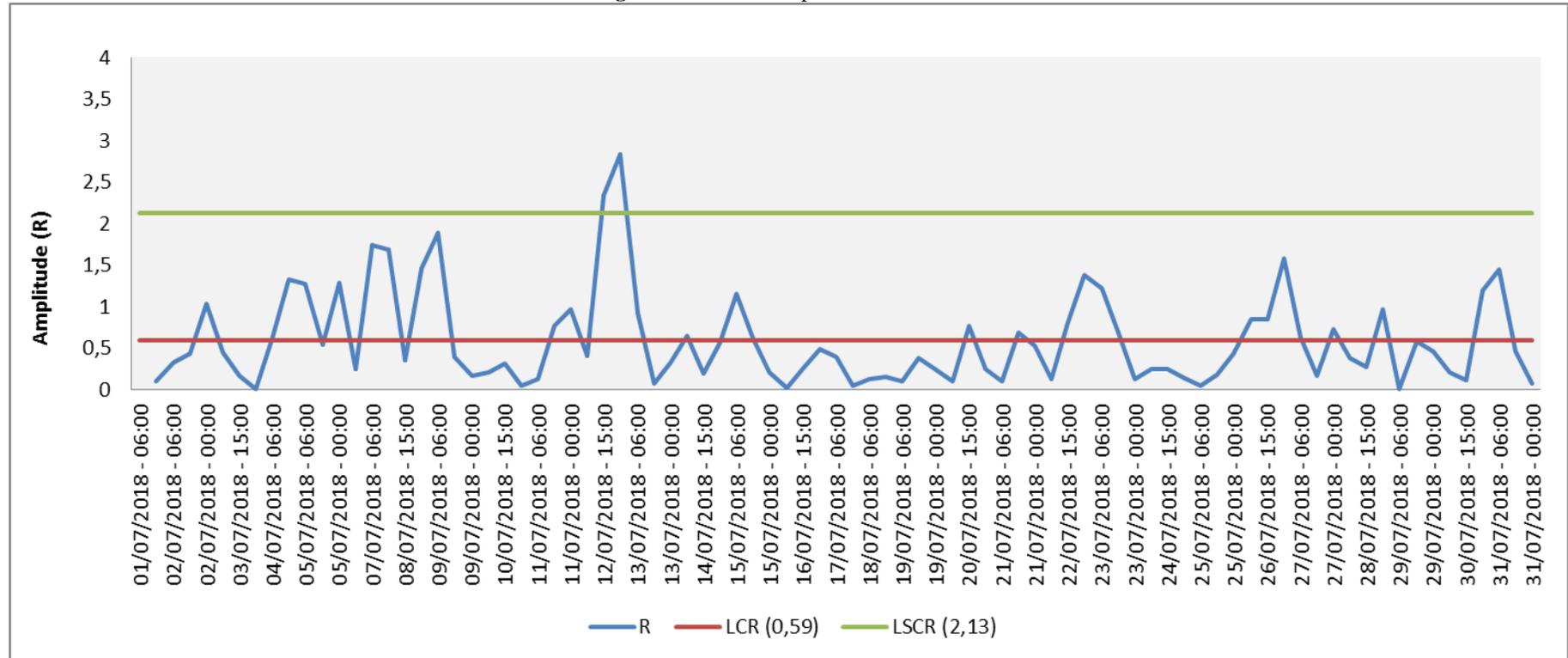


Fonte: Próprio autor.

Regras Suplementares observadas:

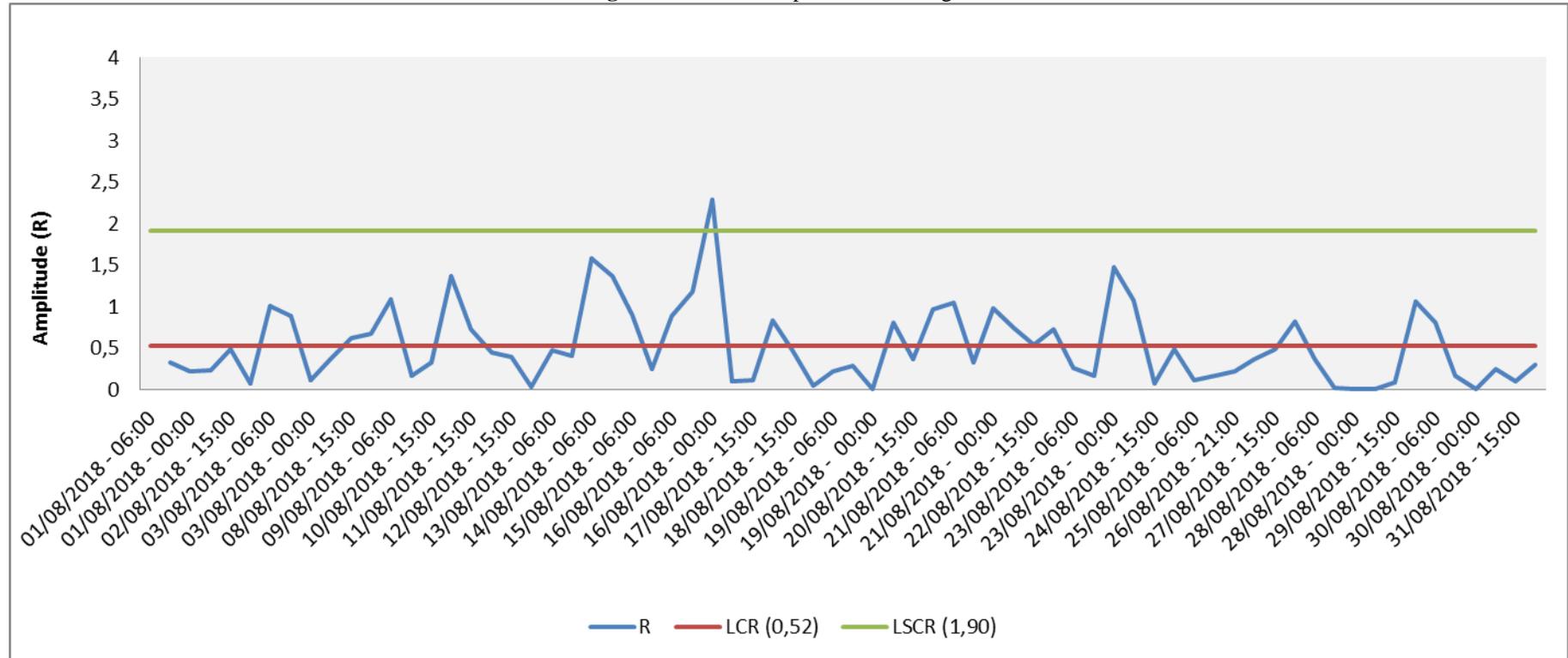
Não foi observado incidência de regras suplementares para a carta de controle no mês de Outubro.

Figura 15 – Carta Amplitude – Mês Julho



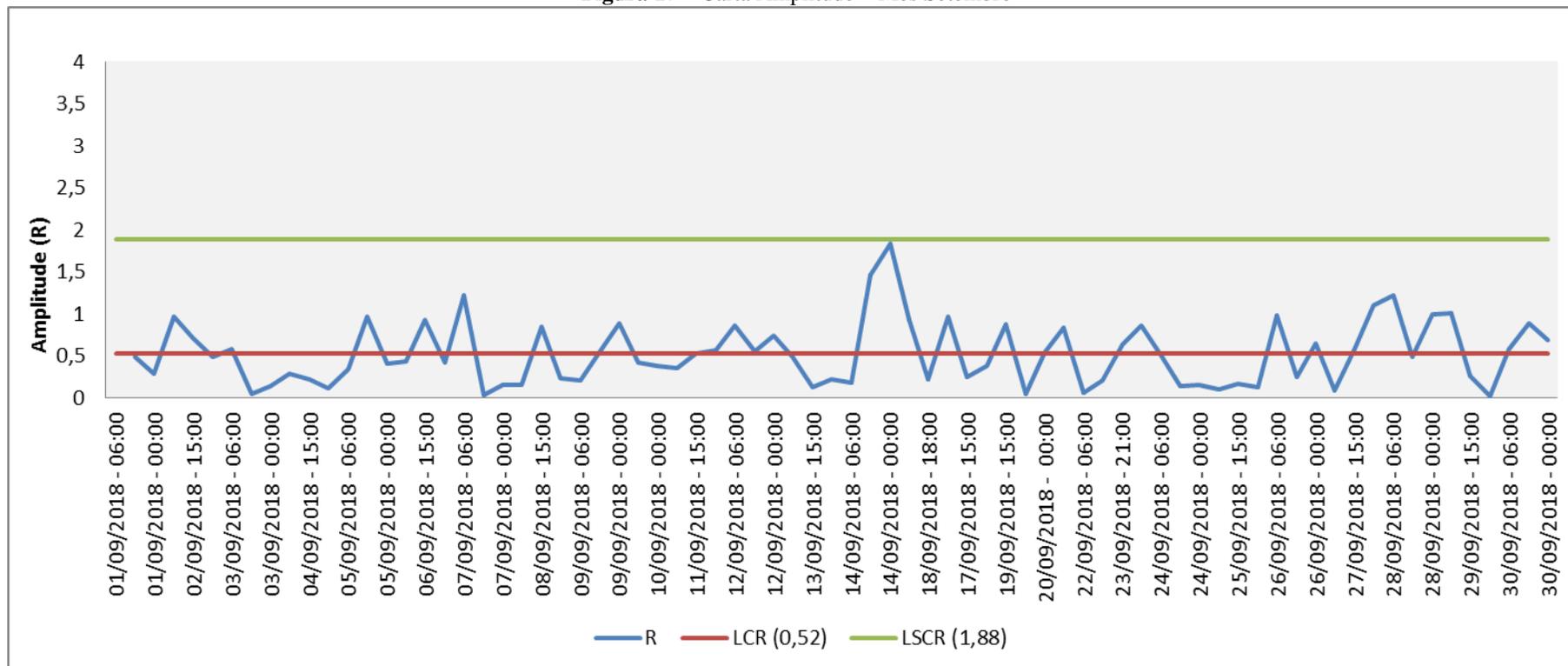
Fonte: Próprio autor.

Figura 16 – Carta Amplitude – Mês Agosto



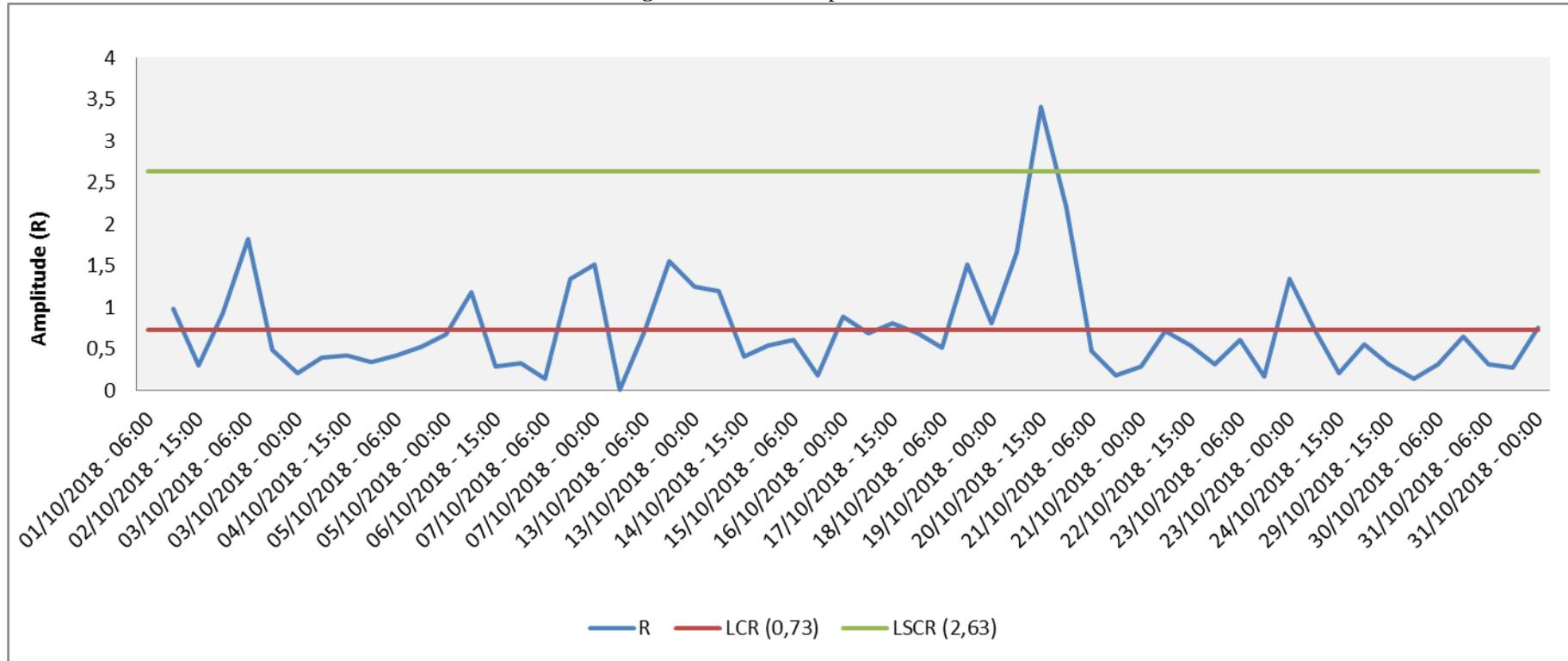
Fonte: Próprio autor.

Figura 17 – Carta Amplitude – Mês Setembro



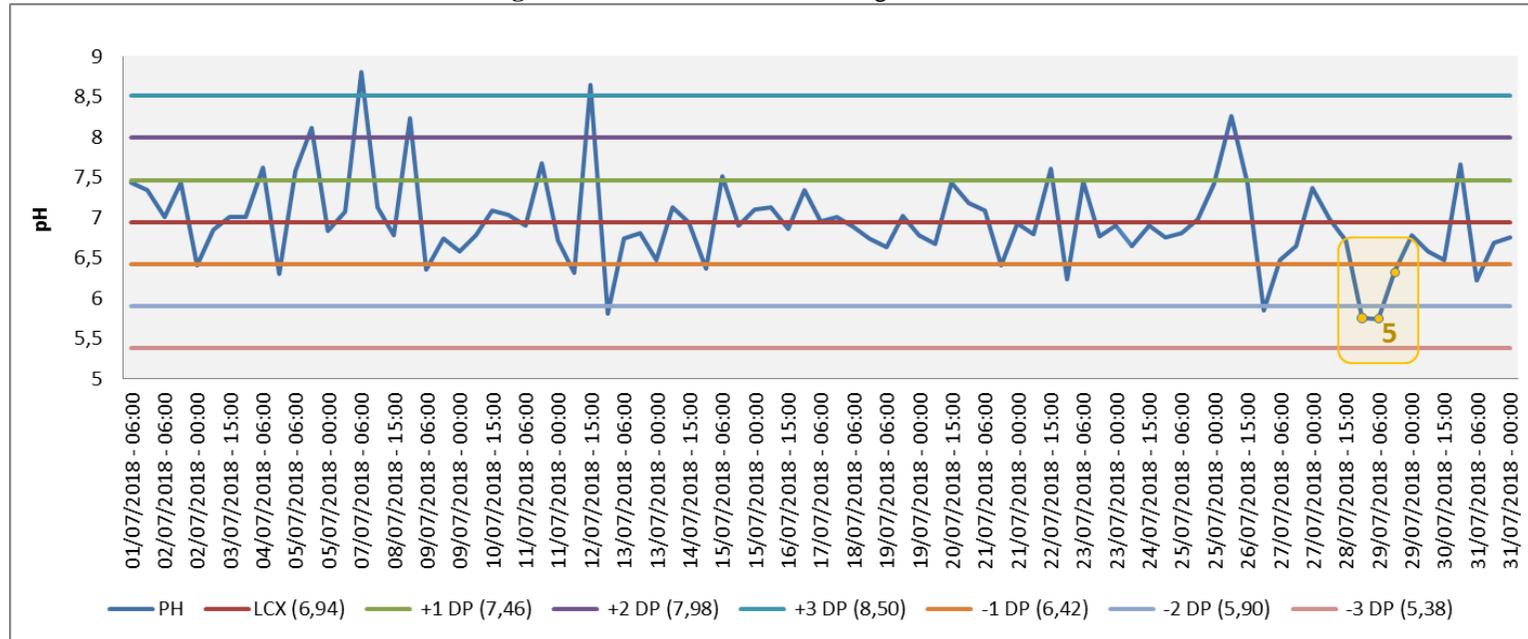
Fonte: Próprio autor.

**Figura 18** – Carta Amplitude – Mês Outubro



Fonte: Próprio autor.

**Figura 19** – Carta de Controle de Sigmas – Mês Julho

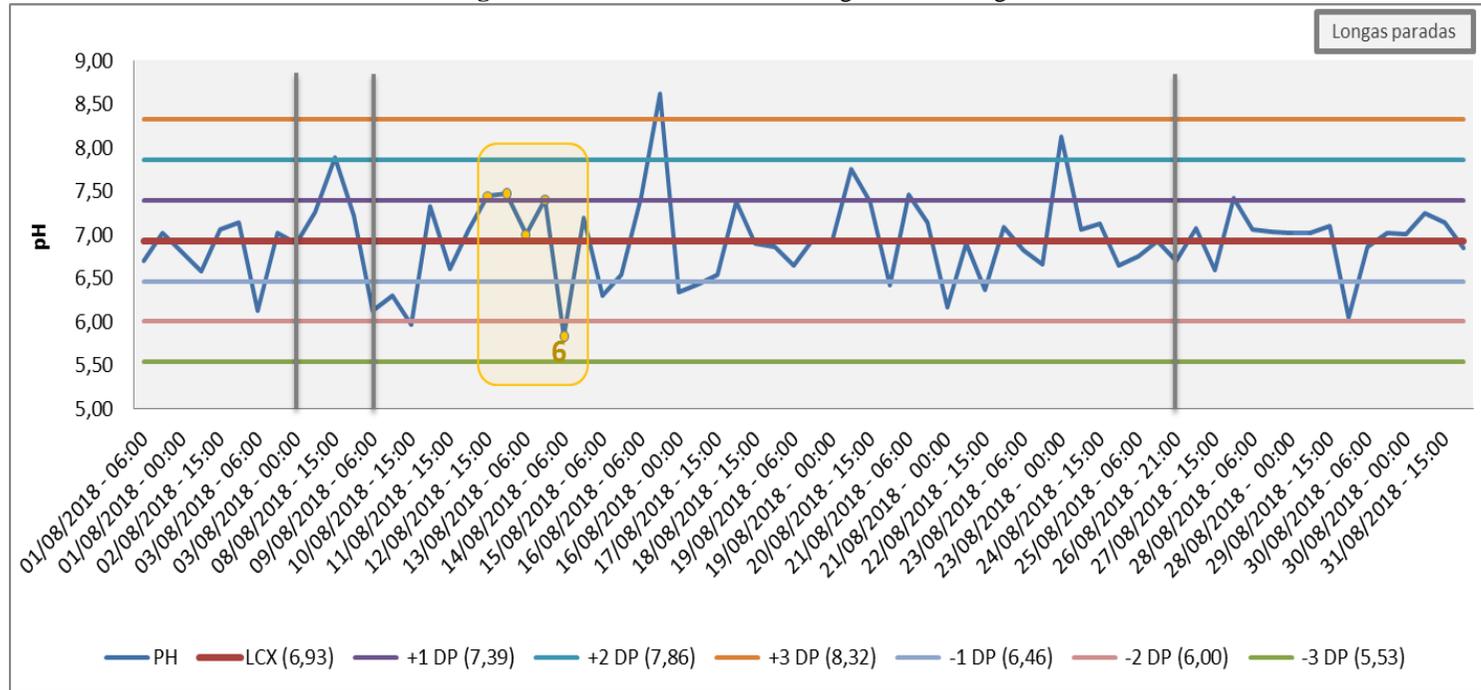


Fonte: Próprio autor.

Regras Suplementares observadas:

Regra Suplementar nº 05: O processo apresenta-se fora do controle quando dois em três pontos sucessivos de um mesmo lado da linha central estão fora da região compreendida pelo intervalo de  $\pm 2$  sigmas.

**Figura 20 – Carta de Controle de Sigmas – Mês Agosto**

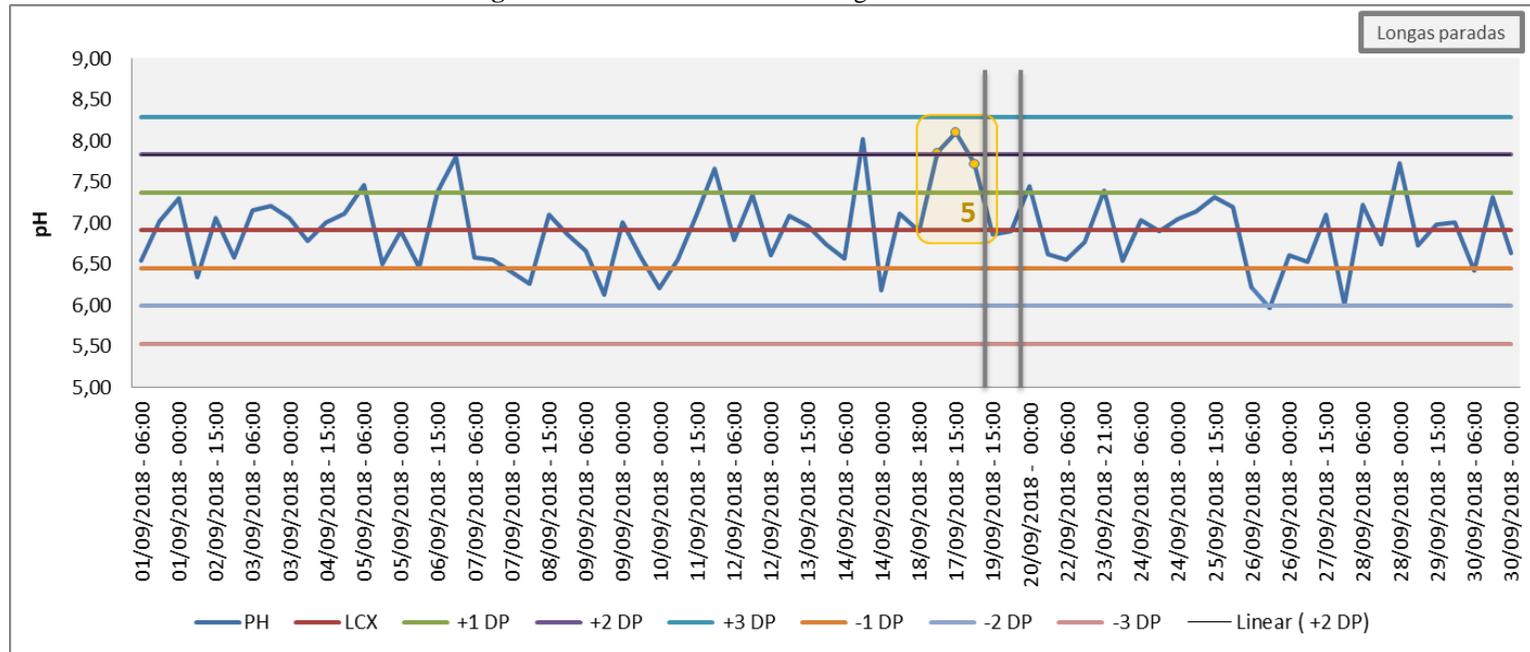


Fonte: Próprio autor.

Regras Suplementares observadas:

Regra Suplementar nº 06: O processo apresenta-se fora do controle quando, em um grupo de cinco pontos sucessivos, quatro encontram-se em um lado da linha central e fora da região compreendida entre  $\pm 1$  sigma.

Figura 21 – Carta de Controle de Sigmas – Mês Setembro

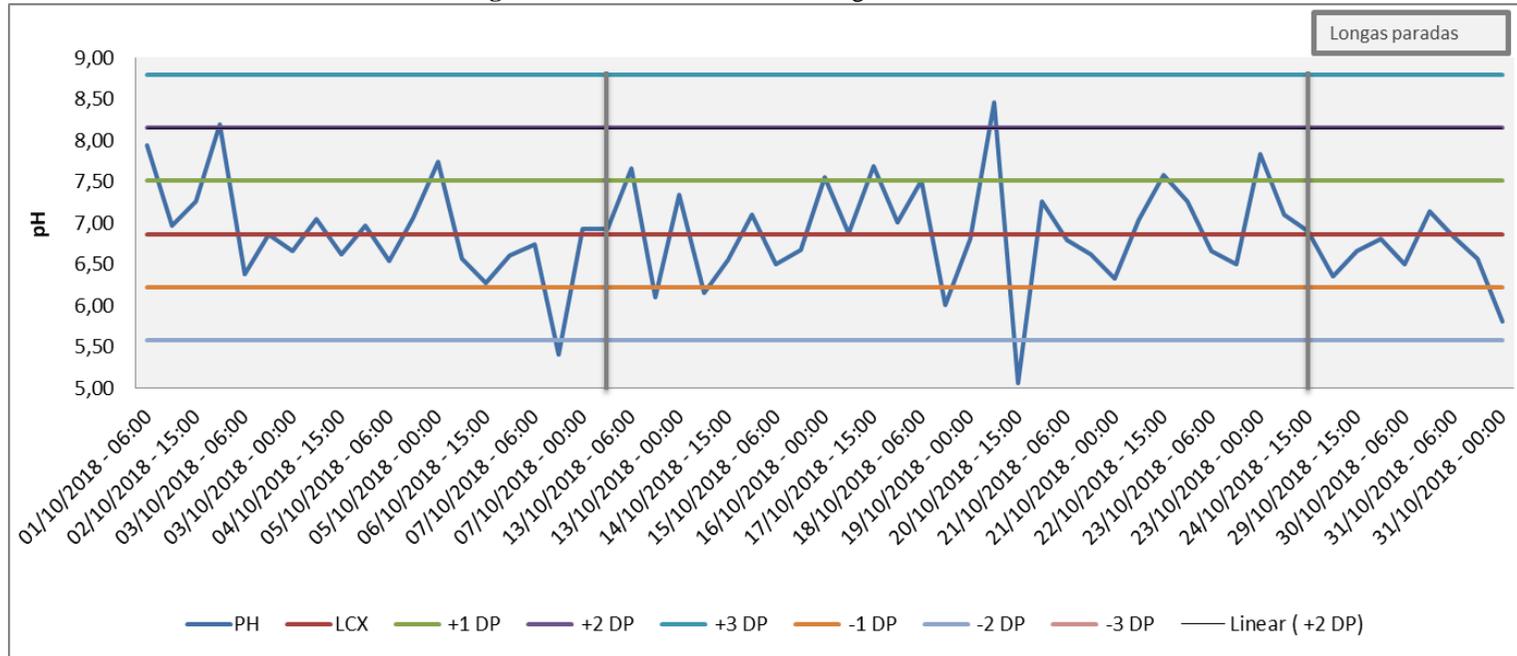


Fonte: Próprio autor.

Regras Suplementares observadas:

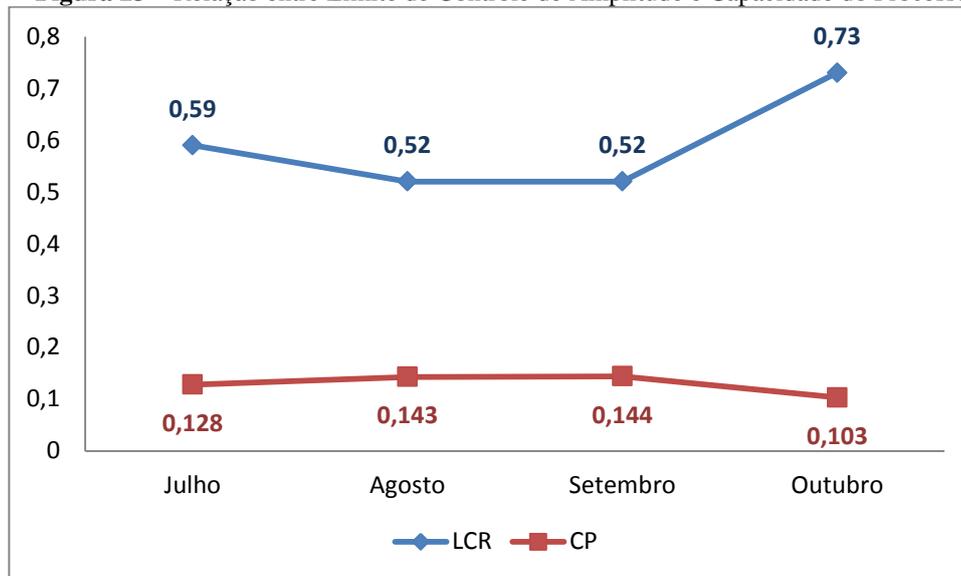
Regra Suplementar nº 05: O processo apresenta-se fora do controle quando dois em três pontos sucessivos de um mesmo lado da linha central estão fora da região compreendida pelo intervalo de  $\pm 2$  sigmas.

Figura 22 – Carta de Controle de Sigmas – Mês Outubro



Fonte: Próprio autor.

Não foi observado incidência de regras suplementares para a carta de controle de sigmas no mês de Outubro.

**Figura 23** – Relação entre Limite de Controle de Amplitude e Capacidade do Processo

Fonte: Próprio autor.

### 6.1.3 Estudo do Processo e das Variáveis Atuantes

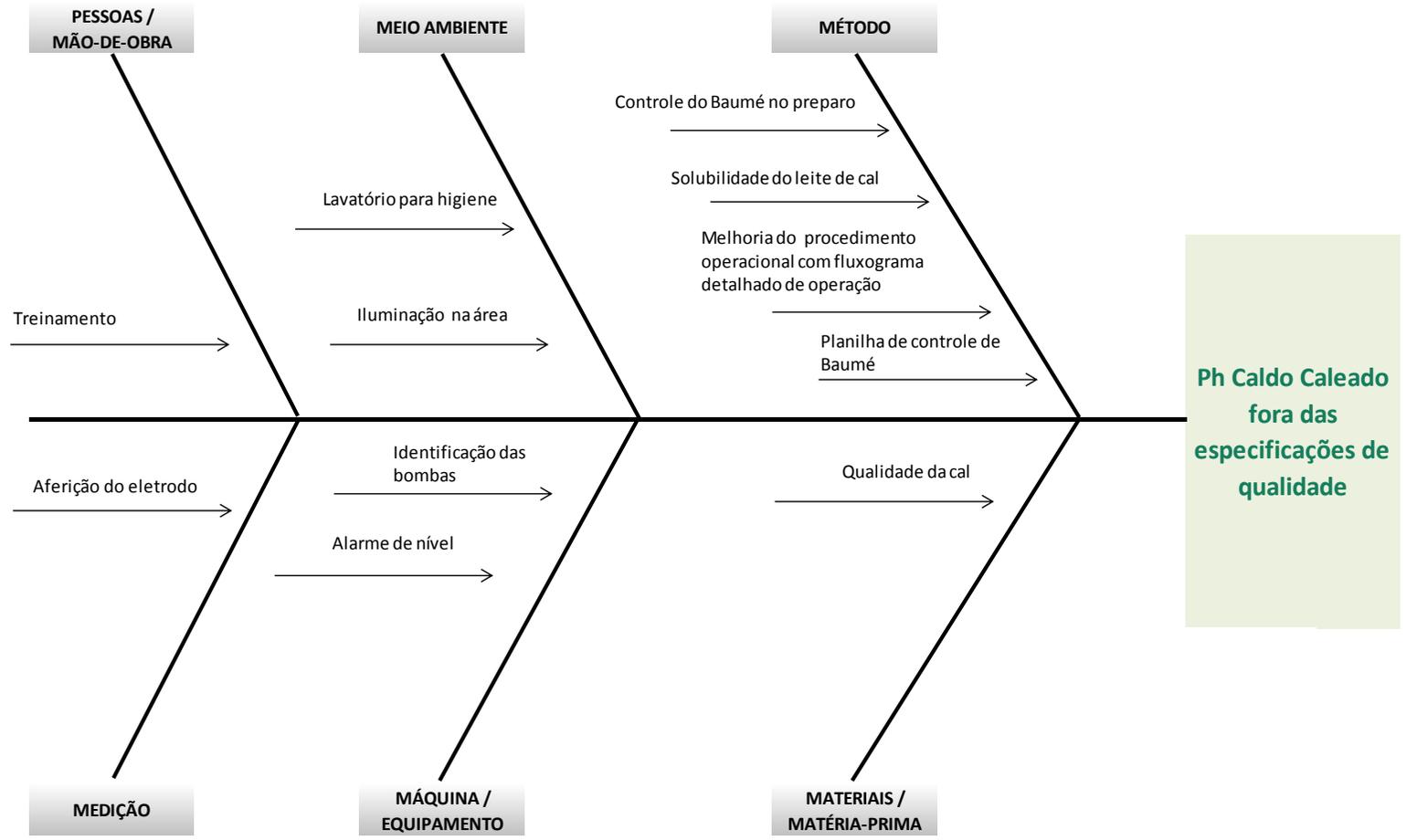
Após a plotagem das castas de controle e constatação insatisfatória da incapacidade do processo iniciou-se um estudo no processo com o objetivo de definir as variáveis críticas atuantes no mesmo e identificar as causas especiais e comuns de variação.

Para tal realizou-se um acompanhamento diário em todo o processo de caleação, observando variáveis como: rotina do operador, o funcionamento do setor e os parâmetros necessários para que o processo esteja sob controle e com boa eficiência.

Os tópicos a seguir trazem este estudo descrito em detalhes divididos por variáveis do processo de caleação da indústria sucroalcooleira em questão. Todos os dados, parâmetros e procedimentos são específicos da empresa em questão e não são, necessariamente, aplicados a outras empresas do mesmo segmento. Para cada variável fora do parâmetro foram identificadas causas raízes e definidas ações corretivas.

A Figura 24 apresenta o diagrama de Ishikawa com as variáveis avaliadas no processo de caleação.

Figura 24 – Diagrama de causa e efeito das variáveis  
**DIAGRAMA DE ISHIKAWA - ESPINHA DE PEIXE**



Fonte: Próprio autor.

#### 6.1.3.1 Treinamento

Para que se obtenha uma operação eficiente de caleação é necessário que haja conhecimento e domínio sobre o setor, equipamentos e do processo. Um treinamento específico proporciona ao operador maior conhecimento e conseqüentemente maior domínio sobre a operação. Após acompanhamento do setor foi observado que há operadores que não compreendem as operações do setor de caleação.

#### 6.1.3.2 Lavatório para higiene (pessoal e de materiais)

Não há no setor um lavatório para higiene do operador bem como de materiais utilizados no preparo do leite de cal, como o aerômetro de Baumé. O leite de cal é um material corrosivo e extremamente incrustante. Para que o aerômetro se mantenha sem incrustações o mesmo é mantido imerso em um recipiente com água, pois não há instalações para um lavatório no local. Sob o aspecto de higiene pessoal o operador necessita se deslocar até o setor mais próximo para fazer uso de um lavatório.

#### 6.1.3.3 Iluminação da área

Para o controle do pH do caldo caleado há um pHmetro no setor o qual permite ao operador acompanhar o pH e realizar modificações no processo caso necessário. Ao anoitecer, porém, não é possível ver com clareza os números do painel do pHmetro devido à pouca luminosidade do local.

#### 6.1.3.4 Controle de Baumé no preparo do leite de cal

Foi observado no setor uma dificuldade em acertar o Baumé do leite de cal. Entre diversos fatores, um deles é devido ao projeto das instalações. O leite de cal é direcionado por uma rosca sem fim a um tanque pequeno e em seguida desagua em um segundo tanque pequeno que, logo após é direcionado ao tanque maior de 80 m<sup>3</sup>. No momento em que o tanque de 80<sup>3</sup> alcança seu nível máximo não se é possível adicionar Cal ou água para elevar ou diminuir seu grau Baumé, podendo, o contrário, ocasionar transbordos. Desta forma, para que se obtenha um valor ideal de grau Baumé ao completar o volume do tanque é necessário que o mesmo seja averiguado no decorrer do preenchimento do volume do tanque. Não foi

observada no procedimento operacional físico a realização de tal atividade. Uma outra opção seria inserir um terceiro tanque de cal de 80 m<sup>3</sup> para que o volume seja parcialmente dividido caso o preparo necessite de alterações.

#### 6.1.3.5 Solubilidade do leite de cal

Para que se haja um preparo de leite de cal eficiente é preciso que se haja um tempo de solubilidade, geralmente, em torno de 3 horas. O tanque de 80 m<sup>3</sup> de leite de cal tem uma duração média entre 5 e 6 horas podendo variar conforme condições de moagem. O procedimento operacional não menciona o respeito ao tempo de solubilidade, sendo que, em certas ocasiões, o operador prepara o leite de cal no momento em que se faz necessário sua utilização. Nessas condições o leite de cal completa seu processo de solubilização já em contato com o caldo nos processos posteriores à caleação, dificultando o controle do pH e podendo ocasionar problemas de sedimentação de impurezas nos equipamentos pós decantadores.

#### 6.1.3.6 Melhoria no procedimento operacional

Os Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) são procedimentos específicos que se concentram em atividades rotineiras ou repetitivas, tarefas ou funções dentro de uma instalação ou sistema, fornecendo instruções particulares e direcionadas para a execução de atividades inerentes à diversas funções (SCHMIDT; PIERCE, 2005)

Após a aplicação do Diagrama de Ishikawa foi constatado a existência de um procedimento operacional padrão que pode ser melhoria por meio da aplicação de um fluxograma de operação explicativo.

#### 6.1.3.7 Planilha de controle de Baumé

A planilha de controle de Baumé é uma importante ferramenta para controle de operação, repasse de informações e gestão do setor. Existe uma planilha de controle de baumé validada no sistema de gestão, porém não se faz uso da mesma em área. A Figura 25 apresenta a planilha inserida no sistema de qualidade.



**Figura 26** – Painel de acionamento de bombas – Preparo de leite de cal



Fonte: Próprio autor.

#### 6.1.3.10 Alarme de nível dos tanques

Os tanques de leite de cal de 80m<sup>3</sup> são utilizados em paralelo, sendo que, no momento em que um tanque atinge um nível baixo a válvula de abertura deste é fechada manualmente e, instantaneamente, o operador passa a utilizar para dosagem de leite de cal segundo tanque que se encontra com o nível completo. Os tanques não possuem um sistema de alerta para nível baixo, ficando sob responsabilidade do operador identificar o momento ideal para revezamento dos tanques, refletindo em um processo mais suscetível a falhas por falta de leite de cal, esvaziamento do tanque ou mesmo baixo aproveitamento de mão de obra do operador que dispensa de um grande tempo para acompanhamento do nível do tanque. Ao inserir um alarme de nível via COI ou mesmo via alarme visual ou sonoro a empresa possibilita um melhor controle e segurança no nível dos tanques.

#### 6.1.3.11 Qualidade da cal

Um fator de extrema importância para a qualidade não só do preparo de leite de cal, mas também do processo de fabricação de açúcar é a qualidade da cal utilizada. Para que a cal seja recebida no processo produtivo, é realizado antes uma análise de % de CaO livre

realizada pelo controle de qualidade da indústria. Mensalmente análises de resíduos insolúveis são realizadas. O resíduo da cal, geralmente sílica, entra no processo de fabricação podendo causar incrustações e prejudicar a qualidade do açúcar se não removido no processo de decantação. A Figura 27 retrata a grande quantidade de resíduos encontrados no tanque de 80 m<sup>3</sup> após sua liquidação no final de safra.

**Figura 27** – Resíduos da cal após liquidação do tanque de preparo de leite de cal



Fonte: Próprio autor.

#### 6.1.3.12 Conclusão do estudo das variáveis atuantes no processo

Ao realizar o estudo das variáveis atuantes no processo concluiu-se a existência de pontos de melhorias. A Tabela 9 apresenta a conclusão das variáveis atuantes e seus cenários atuais na indústria.

**Tabela 9** – Conclusão do estudo das variáveis atuantes no processo

VARIÁVEL	ITEM	CENÁRIO ATUAL
PESSOA/ MÃO DE OBRA	Treinamento	Alguns operadores não receberam treinamento específico de caleação. Falta compreensão do processo.
MEIO AMBIENTE	Lavatório para higiene pessoal e de materiais	Não há um lavatório para higiene pessoal e de materiais, como aerômetro de Baumé
	Iluminação da área	Pouca iluminação do local, ocasionando dificuldades para realizar a leitura do pHmetro do caldo caleado
MÉTODO	Controle do Baumé no preparo do leite de cal	Volume disponível de tanques insuficiente/ Necessidade acompanhamento do Baumé no decorrer do preenchimento do tanque
	Solubilidade do leite de cal	Não há conhecimento do operador sobre o tempo de solubilidade do leite de cal.
	Fluxograma operacional	Não há no procedimento operacional um fluxograma de operação
	Planilha de controle de Baumé	Não foi evidenciado o uso da planilha existente em área
MEDIÇÃO	Aferição do eletrodo	Não há uma rotina de calibração para o eletrodo da área
MÁQUINA/ EQUIPAMENTO	Identificação do painel de acionamento	Não há identificação dos acionamentos do painel
	Medidor de nível	Não há um medidor de nível para alarme em caso de baixo nível
MATERIAIS/ MATÉRIA PRIMA	Qualidade da Cal	Não há um procedimento definido que estabeleça frequência e método para análise de resíduos insolúveis na cal comprada.

Fonte: Próprio autor.

#### 6.1.4 Ações Corretivas

Ações corretivas são definidas como medidas tomadas para que se elimine causas raízes de um determinado problema, a fim de prevenir sua repetição.

##### 6.1.4.1. Elaboração do Plano de Ação

Para cada variável fora do parâmetro encontrada no estudo do processo foram estabelecidas ações, levando em consideração as especificações do processo, custos, impactos, tanto no ambiente de trabalho quanto na operação e eficácia das mesmas. Desta forma um plano de ação foi elaborado para auxiliar a gestão. As Tabelas 10, Tabela 11 e Tabela 12 apresentam os planos de ação elaborados com auxílio da ferramenta de qualidade 5W2H.

Tabela 10 – Plano de Ação 5W2H – Parte 1

O que	Por que	Quem	Quando	Onde	Como	Quanto
Aplicar treinamento operacional	Capacitar a equipe de operação e liderança	Gestor da área	Março	Área de operação/ Auditório	Elaborar e aplicar treinamento operacional específico para os operadores de casa de cal, foguistas, líderes de turnos e demais operadores atuantes no processo.	Custo em Homem/hora da operação envolvido na instalação
Inserir um lavatório (pia) no local	Permitir a higiene pessoal e de materiais no setor	Manutenção Mecânica	Abril	Setor de preparo de leite de cal	Realizar a compra da pia, torneiras e conexões. Manutenção interna realizar instalação. Obs.: Considera-se já haver ponto de água no local.	Pia Inox: R\$ 152,00 Torneira: R\$ 24,00 Conexão: R\$ 10,00 Instalação: Custo em Homem/hora da operação envolvido na instalação
Inserir iluminação no setor próximo ao pHmetro	Permitir a visualização clara do pHmetro da área	Manutenção Elétrica	Março	Área do pHmetro	Realizar a compra do refletor. Manutenção interna realizar instalação.	Refletor: R\$ 85,00 Instalação: Custo em Homem/hora da operação envolvido na instalação
Checagem do Baumé do tanque de preparo	Permitir que haja tempo hábil para o operador corrigir o Baumé do leite de cal no decorrer de seu enchimento	Operação	Ao iniciar a safra	Setor de preparo de leite de cal	Garantir via planilha ou checagem em área que o operador faça a verificação	Sem custo

Fonte: Próprio autor.

Tabela 11 – Plano de Ação 5W2H – Parte 2

O que	Por que	Quem	Quando	Onde	Como	Quanto
Inserção de um tanque de 80 m <sup>3</sup> para preparo de leite de cal	Proporcionar maior área de volume para um melhor preparo de leite de cal	Gestor da área	A Definir	Setor de preparo de leite de cal	Opção 1: Confeccionar tanque Opção 2: Comprar tanque Realizar a instalação via equipe de caldeiraria interna	Em estudo
Garantir o tempo necessário de 3 horas para solubilidade do leite de cal	Melhorar a qualidade do leite de cal preparado	Gestor da área/ Operação	Ao iniciar a safra	Setor de preparo de leite de cal	Criar rotina para operador de preparo de leite de cal para que o preparo seja realizado logo após o esvaziamento do tanque.	Custo de Homem/hora envolvido na elaboração do procedimento
Elaborar e inserir no procedimento operacional um fluxograma de operação do setor de caleação de forma que seja claro e inteligível.	Aperfeiçoar o procedimento operacional de forma que seja claro e de fácil entendimento.	Controle de Qualidade	Imediato	Sistema de Qualidade	Elaborar um fluxograma de operação de forma clara e objetiva. Inserir no sistema de qualidade.	Custo de Homem/hora envolvido na elaboração do procedimento
Criar registro para controle de Baumé dos tanques preparados de forma que a informação permaneça registrada e acessível à operação e gestão	Permitir o acompanhamento e facilitar as tomadas de ações por parte da operação e gestão	Operação	Ao iniciar a safra	Setor de preparo de leite de cal	Fazer uso da planilha de controle de Baumé na área	Custo de Homem/hora envolvido na elaboração do procedimento

Fonte: Próprio autor.

Tabela 12 – Plano de Ação 5W2H – Parte 3

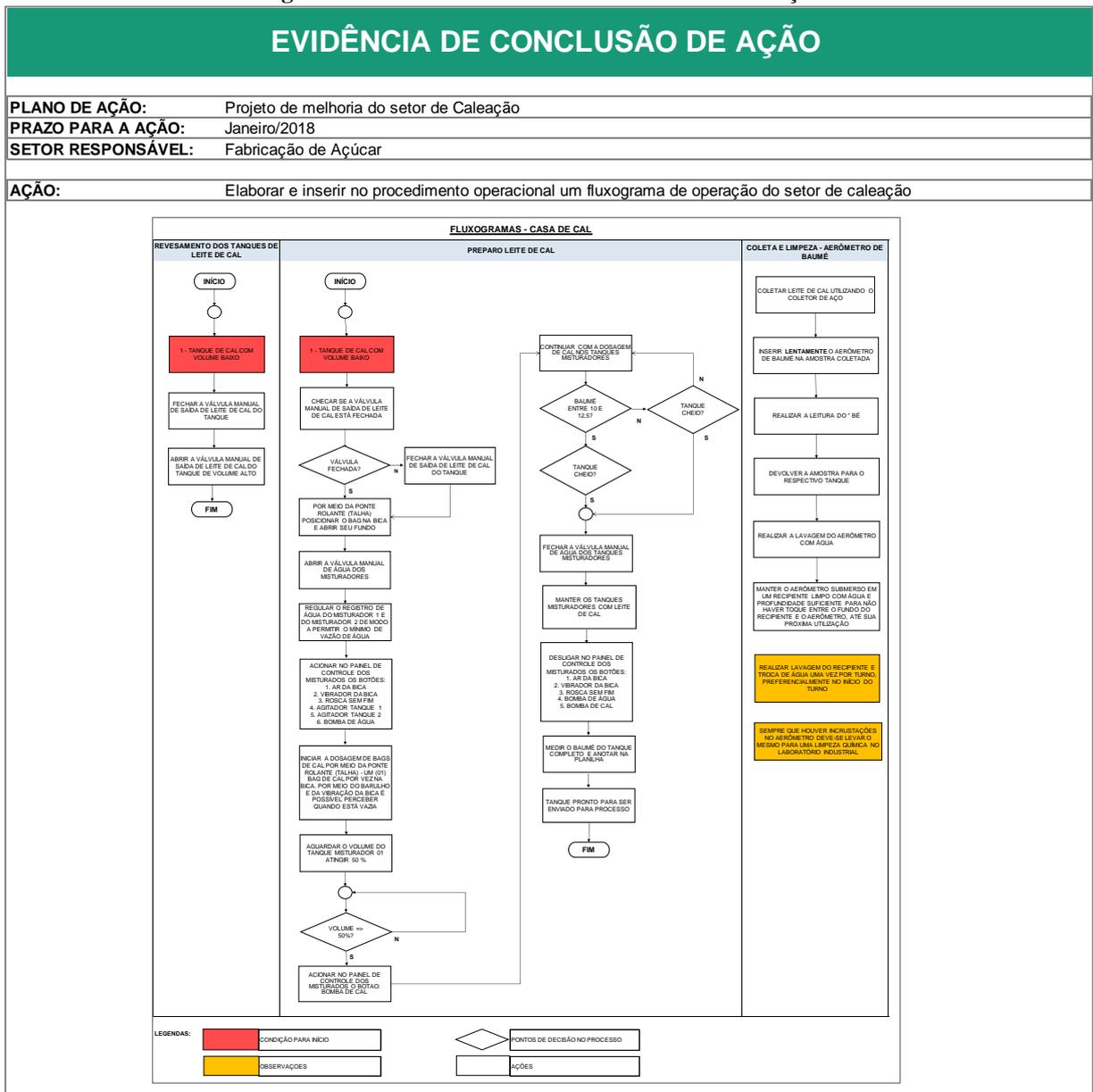
O que	Porque	Quem	Quando	Onde	Como	Quanto
Garantir que sejam realizadas calibrações regulares no pHmetro da área	Garantir a confiabilidade da leitura do pHmetro da área	PCM/ Instrumentação	Março	PCM/ Área do pHmetro	Elaborar uma planilha de acompanhamento bem como definir uma rotina de check do eletrodo com controle via PCM (Planejamento e Controle de Manutenção)	Custo de Homem/hora envolvido na elaboração do procedimento
Inserir identificação nos acionamentos do painel.	Permitir que a operação do painel de acionamento do setor de preparo de leite de cal seja fácil e claro.	Gestor da área	Março	Painel de acionamento do setor de preparo de leite de cal	Confeccionar etiquetas autoadesivas e inseri-las no painel	Custo de Homem/hora envolvido na elaboração do procedimento
Inserção de alarme de nível baixo nos tanques de 80m <sup>3</sup> .	Evitar casos de falta de leite de cal por nível zero no tanque. Permitir a utilização de mão de obra do operador em atividades diversas durante o esvaziamento do tanque.	Manutenção Elétrica/ Instrumentação	A Definir	Setor de preparo de leite de cal	Opção 1: inserir alarme de nível automático via Centro de Operação Industrial (COI) Opção 2: Inserir alarme de nível automático na área via sinal visual ou sonoro	Em estudo
Garantir a utilização de cal de qualidade no processo de fabricação	Reduzir consumo e custos com cal. Melhorar a qualidade do preparo de leite de cal e do processo de caleação.	Gestor da área/ Controle de Qualidade/ Compras	Ao iniciar a safra	Controle de Qualidade/ Compras	Definir uma maior frequência para realização de análise de resíduos insolúveis pelo controle de qualidade industrial. Realizar a devolução de cargas de cal que estejam fora de especificação.	Custo de Homem/hora envolvido na elaboração do procedimento

Fonte: Próprio autor.

6.1.4.2 Ações realizadas de imediato

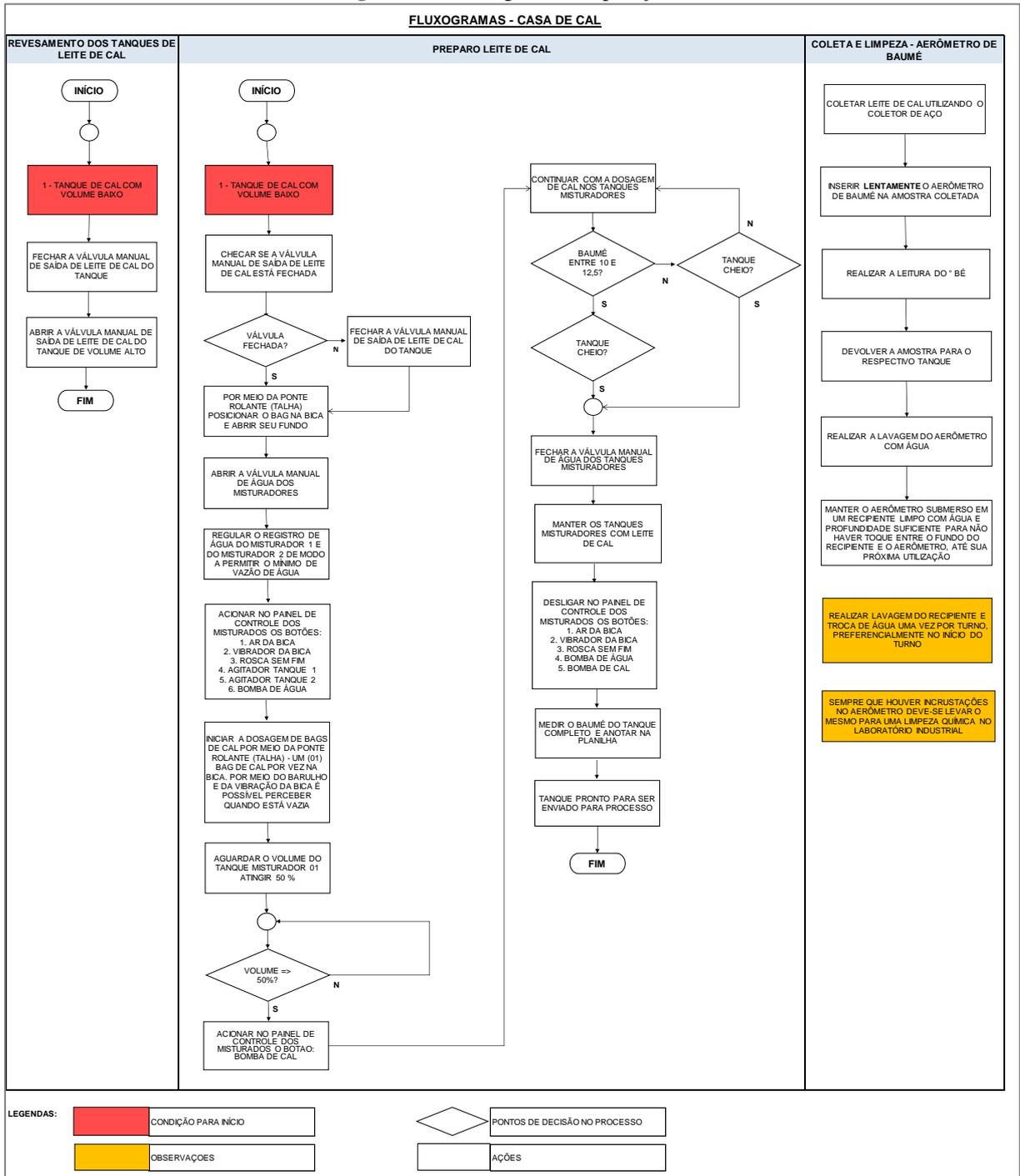
Após a elaboração do plano de ação foi elaborado um cronograma para o acompanhamento das conclusões. A ação com prazo “imediato” foi concluída conforme descrito no Plano. A Figura 28 apresenta a Planilha de Evidência de Conclusão de Ações da atividade “Elaboração do fluxograma de operação”, utilizada para divulgar as melhorias realizadas. A seguir a planilha 29 apresenta o Fluxograma de Operações elaborado.

Figura 28 – Planilha de Evidência de Conclusões de Ações



Fonte: Próprio autor.

Figura 29 – Fluxograma de operações



Fonte: Próprio autor.

### 6.1.5 Quantificações de Ganhos

Partindo-se do objetivo de aperfeiçoar o processo de correção de pH de uma indústria sucroalcooleira com a implementação da ferramenta Controle Estatístico do Processo calculou-se o possível ganho financeiro com base na venda e qualidade do produto final açúcar, considerando com base a venda e qualidade do açúcar de maior valor comercial. O

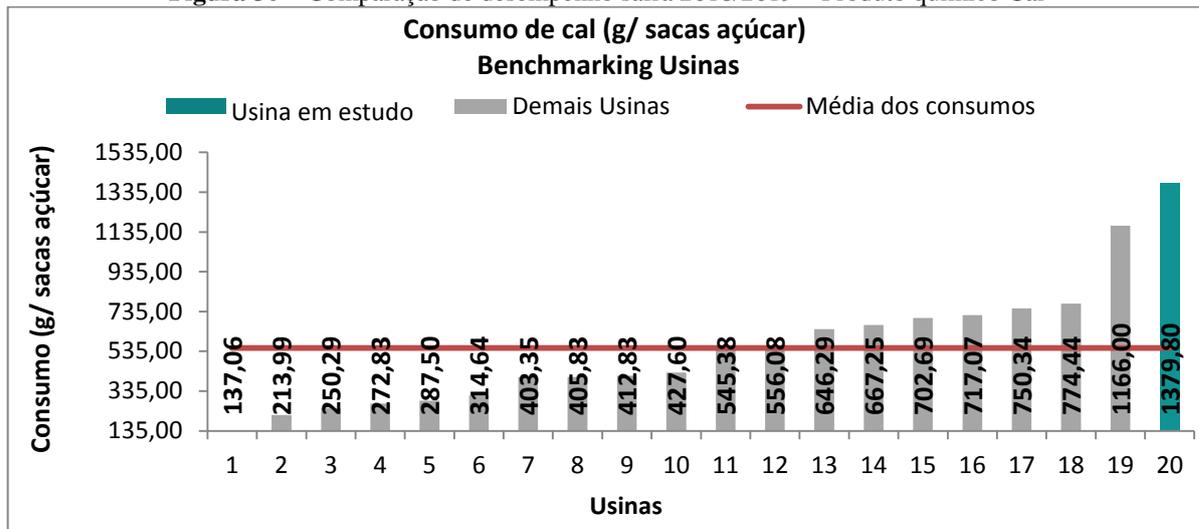
parâmetro de qualidade utilizado para o cálculo foi o percentual de Resíduos Insolúveis, uma vez que grande parte destes resíduos é removido no processo de decantação e depende diretamente da qualidade do bom processo de caleação. A partir dos cálculos realizados constatou-se que nos meses em que se deu o estudo a empresa produziu 402.110 sacas de açúcar de qualidade inferior por resíduos insolúveis. Considerando a diferença do lucro por qualidade do chamado “Prêmio de Qualidade” que equivalente a US\$ 6,00 por tonelada, conclui-se que a empresa deixou de lucrar US\$ 120.633. A Tabela 13 apresenta o cálculo de ganho financeiro realizado com base no Prêmio de Qualidade do Açúcar referente à safra 2018/2019.

**Tabela 13** – Cálculo de Ganho Financeiro – Prêmio de Qualidade do Açúcar

Quantidade Açúcar tipo 2E (Sacas)	402.110
Quantidade Açúcar tipo 2E (Ton)	20.106
Valor Prêmio de Qualidade para açúcar tipo 2E	US\$ 20/ton
Valor Prêmio de Qualidade para açúcar de qualidade superior	US\$ 26/ton
Depreciação valor Prêmio de Qualidade (Em relação ao açúcar de maior qualidade)	US\$ 6/ton
<b>Valor total perdido em Prêmio de Qualidade</b>	<b>US\$ 120.633</b>
<b>Valor total em reais (Dólar R\$ 3,70)</b>	<b>R\$ 446.342</b>

Fonte: Próprio autor.

Um segundo ganho financeiro pode ser calculado por meio da quantidade de cal utilizada no processo. Uma comparação de desempenho realizada ao final da safra 2018/2019 sobre o consumo de cal por uma empresa contratada mostrou que a usina em estudo possui o maior consumo de cal em gramas por sacas de açúcar entre 20 usinas estudadas, conforme apresenta a Figura 30.

**Figura 30** – Comparação de desempenho safra 2018/2019 – Produto químico Cal

Segundo os dados de pesquisa, a média de consumo entre os clientes da Empresa Fermentec tiveram um consumo médio na safra 2018/2019 de 551,562 gramas/saca de açúcar, enquanto a empresa em estudo obteve um consumo de 1.379,795 gramas/saca de açúcar, valor 250% maior.

Considerando a possibilidade de redução de consumo de cal, foi realizado um cálculo para quantificar os possíveis lucros. Uma redução de ao menos 20% (valor arbitrário) do consumo de cal na safra 2018/2019 foi estimada para cálculo do ganho financeiro, visto ser um valor atingível nas devidas condições de operação com mínimos danos ao processo. Neste cenário, o consumo que hoje representa 1.397,795 gramas por sacas de açúcar passaria para 1.118,236 gramas por sacas de açúcar, equivalente a uma redução de 279.255 gramas por sacas de açúcar. Considerando o valor médio de R\$ 0,35 por kg de cal, a redução implicaria em uma economia de R\$ 345.881. A Tabela 14 apresenta o cálculo de redução de custo no consumo de cal considerando a meta de 20% de redução.

**Tabela 14** – Comparação de desempenho safra 2018/2019 – Produto químico Cal

Quantidade de cal utilizada safra 2018/2019 (g/saca açúcar)	1.398
Quantidade de cal utilizada - 20% de redução do valor real (g/saca açúcar)	1.118
Valor da Cal (R\$/g)	0,35
Valor realizado safra 2018/2019	R\$ 1.824.617,86
Valor - 20% de redução do valor real	R\$ 1.478.736,61
<b>Economia</b>	<b>R\$ 345.881,00</b>

Fonte: Consultoria Fermentec

A Tabela 15 apresenta o valor total estimado em ganho considerando a produção total de açúcar com qualidade superior e a redução de 20% da utilização do insumo Cal.

**Tabela 15** – Valor total estimado em ganhos

Possível ganho em prêmio de qualidade do açúcar	R\$ 446.324
Economia em consumo de insumo Cal	R\$ 345.881
<b>OPORTUNIDADE TOTAL EM GANHO</b>	<b>R\$ 792.223</b>

Fonte: Próprio autor.

## 6.2 Implantação do Controle Estatístico do Processo

A principal vantagem observada na aplicação do Controle Estatístico do Processo foi a possibilidade de detecção rápida do descontrole do processo para operação e gestão, agregando agilidade na atuação. No entanto, para que o controle estatístico seja eficaz, é preciso que a gestão esteja fortemente engajada na proposta de atuação instantânea no processo no momento em que as regras suplementares são evidenciadas, empenhando a operação na investigação e resolução de desvios no processo.

Durante a aplicação do CEP foi notado que a compreensão dos operadores e demais colaboradores envolvidos na operação aumentou à medida que os problemas surgiam e as discussões sobre os planos de ação aconteciam. Congruente a isto, Madanhire e Mbohwa (2016), em sua pesquisa sobre a aplicação do Controle Estatístico do Processo em uma indústria de manufatura de um país em desenvolvimento, destacam em sua conclusão a melhora na capacidade dos funcionários em solucionar problemas e realizar diagnósticos no processo, além de melhorar a eficiência do trabalho, resultando em menor custo de produção.

Em contra partida, algumas dificuldades também foram observadas durante o trabalho, como falta de incentivo à operação e baixa prioridade para resolução e implantação de ações. Tais fatos causaram complicação e retardo na implantação do plano de ação. Madanhire e Mbohwa (2016) também evidenciaram a resistência à mudança, falta de treinamento e falta de compromisso da gestão como desafio na implantação do CEP.

## **7. CONCLUSÃO**

As aplicações do controle estatístico e das cartas de controle ao processo de caleação da indústria em questão indicaram a incapacidade do processo em atender às especificações desejadas. Mediante o resultado insatisfatório de capacidade e controle do processo apresentado pelas cartas de controle, ações foram planejadas e, em parte, executada para correção do processo. A efetividade das ações será monitorada ao retorno da operação após parada programada de entressafra, serão aplicadas e os índices de capacidade do momento em que novas cartas de controle processo recalculados.

Duas planilhas de controle foram criadas para a gestão do processo de caleação, mas a criação de planilhas para as demais variáveis, como quantidade de cal utilizada, e o acompanhamento diário no setor por um responsável se faz necessário e pode trazer grandes benefícios ao processo, como otimizações no modo de trabalho, melhoras no ambiente de trabalho e, principalmente, valores de pH mais próximos do desejável.

. A implantação do Controle Estatístico mostrou-se satisfatória para a detecção prévia de desvios, possibilitando rápidas intervenções corretivas no processo, comprovando a eficácia da ferramenta de Controle Estatístico do Processo.

Como sugestão para ação futura fica a implantação das cartas de controle para o mesmo processo de caleação, a fim de se comprovar a eficácia das ações desenvolvidas e propostas, e a expansão do controle estatístico do processo nas demais etapas seguintes da produção de açúcar, como evaporação, cozimento e centrifugação.

**ANEXO A – FATORES PARA CÁLCULO DE LINHAS CENTRAIS – GRÁFICO DE AMPLITUDE**

Tamanho Amostra	Cartas de Medianas ( $\tilde{X}$ e R )				Carta de Individuais ( $X_{nd}$ e $R_{max}$ )			
	Carta $\tilde{X}$	Carta R			Carta X	Carta S		
	$A_2$	$d_2$	$D_3$	$D_4$	$E_2$	$d_2$	$D_3$	$D_4$
2	1,880	1,128	-	3,267	2,660	1,128	-	3,267
3	1,187	1,693	-	2,574	1,772	1,693	-	2,574
4	0,796	2,059	-	2,282	1,457	2,059	-	2,282
5	0,691	2,326	-	2,114	1,290	2,326	-	2,114
6	0,548	2,534	-	2,004	1,184	2,534	-	2,004
7	0,508	2,704	0,076	1,924	1,109	2,704	0,076	1,924
8	0,433	2,847	0,136	1,864	1,054	2,847	0,136	1,864

## 8. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. M.; **Processo de Fabricação de açúcar**. 3. ed. Recife: Universitária da UFP, 2011. 447 p.
- BACKES, J. A.; PACHECO D. A. J.; **Controle Estatístico de Processos: Análise de um processo de Extrusão**. Espacios. v.38, n.2, p.21, ago., 2017.
- CAMARGO, W.; **Controle de Qualidade Total**. Curitiba: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, 2011. 150p.
- CASTRO, H. F.; **Processos Químicos Industriais II – Indústria Açucareira**. Apostila 1. Lorena: Escola de Engenharia de Lorena. Universidade de São Paulo. 2013. 19p.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. XXV, 2016, Gramado. **Sistema de Extração de Caldo de Cana de Açúcar em Empresas Produtoras de Cachaça do Estado da Paraíba**. Gramado, 2016. p.5.
- FERNANDES, A. C.; **Cálculos na Agroindústria da Cana de Açúcar**. 2. ed. Piracicaba: EME, 2003. 240 p.
- FERREIRA, N.; **Limpeza de Evaporação**. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO AGROINDUSTRIAL, 14., 2013, Piracicaba. *Tópicos temáticos...* Piracicaba. 2013.
- INSTITUTO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - IETEC – **Controle Estatístico do Processo**. Belo Horizonte. 2013.
- LEITE, L. M. F.; LIMA, E. A. P. **Aplicação de Torta de Filtro e Fuligem como Adubo Orgânico na Lavoura de Cana**. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE FERTILIZANTES, 5., 2017. *Tópicos Temáticos...* Uberaba, 2013.
- LOPES, C. H.; **Tecnologia de Produção de Açúcar de Cana**. São Carlos: Ed UFSCar, 2011. 183 p.
- MACHADO, S. S.; **Tecnologia da Fabricação de Açúcar**. Inhumas: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, 2012. 56p.
- MADANHIRE, I; MBOHWA,C; **Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country**. Science Direct. 2016. Doi: 10.1016/j.procir.2016.01.137
- MANDALOUFAS, M. **A Utilização do Bagaço da Cana-de-Açúcar como Fonte de Energia, Conforme Diretrizes do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. 2010. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté, Taubaté.
- NOVA CANA. **A produção de Cana-de-açúcar no Brasil (e no Mundo)**. Disponível em: <https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo>. Acesso em: 06 de jan. 2019.
- O FUTURO É AGRO. 2018, Brasília. CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. 53 p.

PAULINO, O. F. T.; **Produção de Açúcar**: Curso de Pós Graduação Gestão do Setor Sucroalcooleiro. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de São Carlos. 2012.

PIRES, V. T.; **Implantação do Controle Estatístico de Processo em uma Empresa de Manufatura de Óleo de Arroz**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). 2000. 105 f. Programa Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

PYLRO, A. S.; **Modelo Linear Dinâmico de Harrison & Stevens Aplicado ao Controle Estatístico de Processos Autocorrelacionados**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). 2008. 113 f. Programa Pós-Graduação em Engenharia Industrial. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica, 2008.

SCHMIDT, R. H.; PIERCE, P. D. **The use of standard operating procedures (SOPs)**. Handbook of Hygiene Control in the Food Industry, 348–362. 2005.  
Doi:10.1533/9781845690533.3.348

SOUZA, F. S.; **Índices de Capacidade para Gráficos de Controle Baseados em Modelo de Regressão**. 2010. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOUZA, R.; **Os Princípios da Gestão da Qualidade**: Benefícios e Aplicações Práticas. Disponível em: [http://qualidadenapratica.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Palestra\\_Principios.pdf](http://qualidadenapratica.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Palestra_Principios.pdf). Acesso em: 20 de nov. 2018.