



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

DANIEL MORORÓ MELO

**DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE MELHORIA DO DESEMPENHO DO
PROCESSO PRODUTIVO DE ETANOL EM UMA USINA DA PARAÍBA**

**JOÃO PESSOA-PB
Dezembro/2022**

DANIEL MORORÓ MELO

**DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE MELHORIA DO DESEMPENHO DO
PROCESSO PRODUTIVO DE ETANOL EM UMA USINA DA PARAÍBA**

**Trabalho de conclusão de curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia de
Produção do Centro de Tecnologia da
Universidade Federal da Paraíba,
apresentado como requisito à obtenção do
título de Bacharel.**

Orientador: Prof. Me. Jailson Ribeiro de Oliveira

**JOÃO PESSOA-PB
Dezembro/2022**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M528d Melo, Daniel Mororo.

DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE MELHORIA DO DESEMPENHO DO
PROCESSO PRODUTIVO DE ETANOL EM UMA USINA DA PARAÍBA /
Daniel Mororo Melo. - João Pessoa, 2022.
55 f. : il.

Orientação: Jailson Ribeiro de Oliveira.
TCC (Graduação) - UFPB/TECNOLOGIA.

1. Melhoria do processo. PDCA. Desempenho. I. de
Oliveira, Jailson Ribeiro. II. Título.

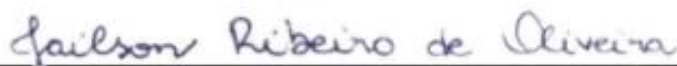
UFPB/BSCT

CDU 658(043.2)

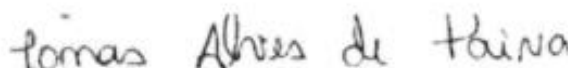
DANIEL MORORÓ MELO

**Diagnóstico e proposta de melhoria do desempenho do processo produtivo de etanol em
uma usina da Paraíba**

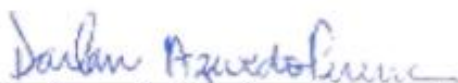
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação de Graduação do Curso de
Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba, apresentado em **06/12/2022**,
obtendo o conceito **APROVADO**, sob a avaliação da banca examinadora a seguir:



Prof. Me. Jailson Ribeiro de Oliveira – Orientador – DEP/CT/UFPB



Prof. Dr. Jonas Alves de Paiva – Examinador – DEP/CT/UFPB



Prof. Dr. Darlan Azevedo Pereira – Examinador – DEP/CT/UFPB

João Pessoa / PB

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos derramadas sobre minha vida e por esta concluindo mais uma etapa da minha vida, assim alcançando meus objetivos.

A meus pais e minha esposa por estarem sempre presente, por todo suporte e apoio em todos os momentos.

Aos professores da UFPB por todos os ensinamentos e conhecimentos compartilhados.

"Pensamos demasiadamente e sentimos muito pouco. Necessitamos mais de humildade que de máquinas. Mais de bondade e ternura que de inteligência. Sem isso, a vida se tornará violenta e tudo se perderá."

Charles Chaplin

RESUMO

A eficiência industrial é um dos principais indicadores de desempenho de uma usina sucroalcooleira e pode ser indicada pelo percentual de cana-de-açúcar recuperado e transformado em etanol. Contudo, para aumentar a competitividade e otimizar o desempenho, das unidades produtivas é necessário melhorar o desempenho nos processos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise, por meio de um estudo de caso da melhoria do processo produtivo de etanol em uma Usina da Paraíba. Os procedimentos metodológicos utilizados envolvem entrevistas com os funcionários da usina, além de acompanhamento dos setores de produção e boletins, com bases nos dados foi possível a construção de tabelas com auxílio de algumas ferramentas de qualidade como 5W1H e o ciclo PDCA e fotografias dos processos produtivos. Os resultados encontrados mostram que mapear o processo de moagem da usina de etanol é de grande importância para elaboração de propostas de melhoria dos processos produtivos. Aplicação de ferramentas de qualidade é possível realizar uma comparação se o método de produção é eficiente ou não.

PALAVRAS-CHAVE: Melhoria do processo. PDCA. Desempenho. Produção de etanol. Usina.

ABSTRACT

Industrial efficiency is one of the main performance indicators of a sugar and alcohol plant and can be indicated by the percentage of sugarcane recovered and transformed into ethanol. However, to increase the competitiveness and optimize the performance of the production units, it is necessary to improve the performance of the processes. Therefore, the objective of this work is to carry out an analysis, through a case study of the improvement of the ethanol production process in a plant in Paraíba. The methodological procedures used involve interviews with the plant's employees, in addition to monitoring the production sectors and bulletins, based on the data it was possible to construct tables with the help of some quality tools such as 5W1H and the PDCA cycle and photographs of the production processes. The results found show that mapping the milling process of the ethanol plant is of great importance for the elaboration of proposals for the improvement of the productive processes. Application of quality tools it is possible to make a comparison if the production method is efficient or not.

KEYWORDS: Process improvement. PDCA. Performance. Ethanol production. Power plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção industrial de etanol com cana-de-açúcar	17
Figura 2 - Diagrama mostrando um arranjo clássico de moinho de três rolos	21
Figura 3 - Os três tipos de embebição usados para extrair o caldo de cana	23
Figura 4 - Estado da Paraíba onde a Usina XPTU está localizada	32
Figura 5 - Fluxograma do processo no setor da moenda.....	36
Figura 6 - Tomabador de cana da mesa 1	37
Figura 7 - Mesa alimentadora, esteira metálica e preparação.....	38
Figura 8 - Esteira de 72 polegadas e primeiro terno da moenda	39
Figura 9 - Primeiro terno e Chute Donelly	40
Figura 10 - Rolos de extração dos ternos da moenda	40
Figura 11 - Peneira rotativa do caldo.....	41
Figura 12 - Peneiras estáticas do caldo.....	41
Figura 13 - Esteira da caldeira	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aumento do lucro por milhões de toneladas de cana com variação dos parâmetros de carregamento e transporte (Câmbio de 5,73R\$/US\$).....	19
Tabela 2 - Indicadores sucroalcooleiros	30
Tabela 3 - Planilha 5W1H	44
Tabela 4 - Ciclo PDCA.....	44
Tabela 5 - Prioridade para otimização do processo	45

LISTA DE SIGLAS

5W1H – Who? What? Where? When? Why? How?

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

GEE – Gases de efeito estufa

MWh – Megawatt-hora

PDCA – Plan, Do, Check, Act

PIB – Produto interno bruto

PRÓ-ÁLCOOL – Programa Nacional do Alcool

QFD – *Quality Function Deployment*

SPC – Controle estatístico de processo

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

XPTU – Nome fantasia da usina em estudo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo geral.....	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA	14
2.1.1 Fabricação do etanol	16
2.2 PROCESSO DE EXTRAÇÃO (MOAGEM)	21
2.3 MAPEAMENTO DE PROCESSO	24
3.3.1 Ferramentas integradas ao mapeamento de processos	25
2.4 DESEMPENHO DAS OPERAÇÕES	26
2.5 PDCA - PLANO E FERRAMENTAS DE MELHORIA	28
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	32
3.1 LOCAL DE ESTUDO.....	32
3.2 COLETA DE DADOS	32
3.3 TRATAMENTO DOS DADOS	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 MAPEAMENTO DO PROCESSO DE MOAGEM	34
4.2 MEDIDA DE DESEMPENHO DO PROCESSO DE MOAGEM	42
4.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO DE MOAGEM	43
4.4 PLANO DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE MOAGEM	44
5 CONCLUSÃO.....	46
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA EMPRESA.....	46
5.2 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS.....	Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O presente estudo trata-se de um trabalho de conclusão do curso de Engenharia de Produção na área de operações. A confiabilidade dos processos produtivos e o desempenho são duas dimensões estratégicas para o alcance dos objetivos e resultados nas empresas, principalmente produtivas, como é o caso do setor sucroalcooleiro da Usina XPTU.

Com a globalização da economia, juntamente com o desenvolvimento da tecnologia, a concorrência acirrada e o aumento da demanda do consumidor, torna-se cada vez mais importante que as empresas melhorem seu desempenho de seus sistemas de produção, reduzir custos e utilizar melhor seus recursos, aumentando assim sua eficiência produtiva (RANGEL et al., 2012).

Para se manterem competitivas no mercado, as empresas devem gerenciar continuamente seus processos produtivos em busca de maior produtividade, eliminação de falhas e desperdícios e garantia de disponibilidade dos equipamentos produtivos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Muitas vezes, a eficiência da produção é confundida com a produtividade, pois a produtividade é um indicador da eficiência de um sistema de produção, portanto, se um sistema tiver maior produtividade, também será mais eficiente (MARIANO, 2007).

Produtividade é um termo geral para indicadores que avaliam a saída de recursos utilizados na produção, ou seja, a relação entre a quantidade de produção e a quantidade de insumos ou elementos utilizados no processo produtivo (SCHETTINI, 2010).

Desde a revolução industrial, a eficiência produtiva é um atributo valorizado pela sociedade, mas nas últimas décadas, devido ao processo de globalização, que trouxe a abertura de mercados entre os países, o que melhorou muito a competitividade entre as empresas, a eficiência produtiva tornou-se cada vez mais importante. Companhia (MARIANO, 2007). Contudo, são utilizados métodos para verificar a eficiência de máquinas e equipamentos e verificar suas perdas e rendimentos nos processos (RODRIGUES; FERRARIN; OLESKO, 2013).

As usinas sucroenergéticas, em geral, são empresas produtoras de açúcar e etanol provenientes da cana-de-açúcar, além de outros produtos (SILALERTRUKSA; PONGPAT; GHEEWALA, 2017, SCHEITERLE et al., 2018). O setor sucroenergético é considerado um dos mais atrativos para investidores entre as agroindústrias, e tem crescido muito nas últimas décadas (BIRRU et al., 2016), o Brasil vêm se destacado mundialmente por ser um país que

apresenta vantagens em seu território, como: tamanho, condições climáticas e técnicas de plantio bem desenvolvidas (NOGUEIRA; GARCIA, 2013).

O interesse do governo brasileiro pelo etanol começou em 1933 com a construção do Instituto do Açúcar e do Alcool e a adoção de uma legislação que permitia misturas de etanol na gasolina de até 40%, nessa época, a indústria sucroalcooleira brasileira era incentivada a produzir o máximo de etanol que pudesse (NASS; PEREIRA; ELLIS, 2007).

No entanto o interesse do Brasil pela produção de álcool combustível cresceu entre a década de 70 com a criação do Programa Nacional do Alcool – PRÓALCOOL (FERREIRA et al., 2014). A partir do programa, houve um aumento da produção agrícola, modernização e ampliação das usinas já existentes, promovendo assim uma grande expansão da atividade sucroalcooleira no Brasil (NASS; PEREIRA; ELLIS, 2007).

A presente pesquisa, têm como base de estudo a Usina XPTU, que possui forte atuação no setor sucroalcooleiro, sendo referência na Região, esta empresa tem como missão gerar empregos e produzir com responsabilidade e sustentabilidade, contribuindo para o desenvolvimento do Estado da Paraíba.

Os produtos que a Usina XPTU comercializa são: o Etanol Anidro composto na mistura com a gasolina, o Etanol Hidratado que é o combustível utilizado em carros, esses são comercializados para as refinarias e postos de combustíveis, como também o Alcool Neutro produzido para indústrias farmacêuticas, de cosméticos e de bebidas, além de atuar no setor de cogeração de energia, produzindo 45 mil MWh para contratos.

Entretanto, existem diversos fatores que afetam o desempenho da Usina na produção, por tanto nesse contexto a presente pesquisa se preocupa em buscar responder a seguinte questão: **como melhorar o desempenho do processo produtivo de etanol em uma Usina no Estado da Paraíba?**

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

- Realizar uma análise, por meio de um estudo de caso, do desempenho do processo produtivo de etanol em uma Usina da Paraíba.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o processo de moagem da Usina de etanol;
- Identificar as medidas do desempenho do processo de moagem da Usina de etanol;
- Caracterizar os fatores que influenciam no processo de moagem da Usina de etanol;
- Elaborar a proposta de melhoria do processo de moagem da Usina de etanol.

1.3 JUSTIFICATIVA

O Brasil é um dos pioneiros na produção de bioetanol e atualmente é o segundo maior produtor com 31% da produção mundial, atrás apenas dos Estados Unidos com 53% em 2020 (RFA, 2021). A produção brasileira de bioetanol provém principalmente do caldo da cana-de-açúcar, enquanto nos Estados Unidos e em outros países o milho é a principal matéria-prima utilizada (INGLEDEW et al. 2009).

Nas usinas, a cana-de-açúcar pode ter dois destinos: produção de açúcar e/ou etanol, ambos os produtos têm as mesmas etapas iniciais de produção, que são: recepção e limpeza da cana; extração do caldo por moagem; tratamento/evaporação e purificação do caldo: peneiramento e clarificação (RODRIGUES et al., 2014).

O etanol brasileiro é considerado muito competitivo em relação aos combustíveis fósseis e aos biocombustíveis de outras fontes, por apresentar o menor custo de produção, bom balanço energético, baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) e alta produtividade, cerca de 80% das emissões de GEE são evitadas com a substituição da gasolina pelo etanol de cana-de-açúcar, enquanto as reduções de emissão de 34% e 35% são obtidas com a substituição do etanol de trigo e milho, respectivamente (WANG et al., 2012).

Diante desse contexto, é crucial falamos da eficiência produtiva da Usina XPTU, uma empresa que está localizada na zona rural do município de Pedras de Fogo no Estado da Paraíba, e possui forte atuação no setor sucroalcooleiro.

Esta pesquisa possui uma grande importância para o curso de Engenharia de produção, tendo em vista a grade de disciplinas que iniciam com sistemas de produção, além de disciplinas correlacionadas a processos químicos, mecânicos além de questões gerenciais, organizacionais e de manutenção, sendo assim, um estágio em uma Usina, que é um ambiente muito dinâmico e intenso, me permitiu além do estágio desenvolver uma pesquisa para compreensão de quais variáveis e fatores que afetam o principal processo de produção de etanol que é a moagem, contudo, esse estágio se tornou um grande laboratório de desenvolvimento de aprendizagem e uso dos conhecimentos das disciplinas cursadas.

E nessa perspectiva o presente trabalho de conclusão de curso, possui grande relevância para o fechamento de um ciclo da carreira acadêmica, além disso, a relação entre a teoria e prática é gigante dentro de uma Usina e relatar isso dentro de um trabalho acadêmico é uma oportunidade de aprendizagem e também deixar uma contribuição tanto para a empresa de estudo quanto para outros alunos que venha a fazer estágio em usinas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA

Historicamente, assim que os navegadores europeus chegaram à costa nordeste do Brasil, no início do século XVI, a primeira cultura que estabeleceram foi a cana-de-açúcar, *Saccharum officinarum* L. (ROGERS, 2010). A cana-de-açúcar tem grande potencial no fornecimento de energia limpa, produção de etanol e açúcar, e também energia elétrica produzida pela queima do bagaço (DE OLIVEIRA; BRAGA; SANTOS, 2014). A biomassa da cana-de-açúcar é uma fonte renovável de energia, destacando-se por sua importância no contexto econômico do setor sucroalcooleiro com cogeração de energia tanto para a própria indústria quanto para a venda do excedente como energia elétrica (COSTA et al., 2014).

A indústria sucroalcooleira no Brasil desempenha um grande papel econômico no país, uma vez que é um dos principais contribuintes para o PIB (Produto Interno Bruto) do país e é um dos principais fornecedores de combustível usado em veículos no país. Para fins de ilustração, a indústria de etanol combustível de cana-de-açúcar no Brasil produziu aproximadamente 29 bilhões de litros de etanol em 2021 (ANP, 2022).

Isso fez do Brasil o principal produtor de açúcar e álcool de cana, não apenas pela expansão das lavouras, mas sim pela produção de açúcar, etanol, energia elétrica e bioplástico, entre outros, ao longo dos anos, alcançado também melhoria da produtividade das culturas por meio de melhoramento genético e técnicas de manejo, fazendo com que o país se torne também o principal produtor de açúcar e álcool de cana-de-açúcar, e o pioneirismo no uso desse álcool como combustível para veículos automotores (GOLDEMBERG; NOGUEIRA, 2014).

O Brasil tem potencial para alcançar posições de destaque no uso de biomassa, uma vez que o setor sucroenergético produz grandes volumes de bagaço e palha que podem ser utilizados em biorrefinarias, contribuindo para a evolução positiva do açúcar e setor de álcool, dessa forma, o Brasil pode permanecer na vanguarda mundial da produção de energia limpa auxiliando significativamente na mitigação das mudanças climáticas, essa evolução pode ser vista como uma solução sustentável para a redução da dependência energética de fontes fósseis (LORA et al., 2012; SANTOS; COLODETTE; DE QUEIROZ; 2013), além de contribuir para tornar o setor sucroalcooleiro menos vulnerável às variações de desempenho do mercado (JØRGENSEN, 2015).

A cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar é importante porque ajuda a economizar água nos reservatórios das hidrelétricas no período de safra, pois o Brasil possui uma matriz energética hídrica predominante, devido à grande riqueza dos rios,

mas atualmente com escassez de água e o período de maior geração dessa modalidade de energia coincide com a estação seca, cada tonelada de cana moída para a produção de açúcar e etanol gera, em média, 250 kg de bagaço e 200 kg de palha e ponteiros (ANEEL, 2014). Em 2018, 54% das usinas brasileiras exportaram 2,5 GW para o Sistema Interligado Nacional, que representou 3,9% da matriz elétrica nacional nesse período (EPE, 2018).

As rotas de conversão de biomassa mais difundidas são bioquímicas e termoquímicas, que convertem a matéria-prima em produtos líquidos (etanol, amônia, biodiesel, furfural, butanol e acetona) ou gás (metano, biogás e etileno), essas rotas exigem que antes da conversão da biomassa ela passe por um processo de pré-tratamento, que confere as características necessárias para o processamento das matérias-primas (LEAL et al., 2013).

Os processos de conversão permitem otimizar os recursos disponíveis e obter deles produtos mais sustentáveis, em comparação com os fabricados a partir de matérias-primas convencionais, significativamente vários esforços foram feitos no desenvolvimento de biorrefinarias para encontrar rotas que proporcionem maiores ganhos econômicos e energéticos com menos impactos ambientais e sociais, ou seja, determinando rota mais sustentável (FERREIRA; TRIERWEILER, 2009).

Embora as biorrefinarias representem uma alternativa com potencial para aumentar a eficiência energética e o aproveitamento econômico da biomassa da cana-de-açúcar, consolidá-la em escala comercial representam desafios a serem superados, que podem ser classificadas como: (a) técnicas, aquelas relacionadas ao pré-tratamento, catálise, separação, cinética do processo e integração do processo das instalações existentes; (b) econômico, aquelas relacionadas à logística de matéria-prima, integração de processos à infraestrutura existente e redução de custos de produção (VAZ JR, 2012).

Existem vários produtos e processos de conversão possíveis a serem considerados em uma biorrefinaria sucroalcooleira, os produtos como etanol, butanol e combustíveis de aviação podem ser produzidos tanto a partir do caldo de cana quanto do bagaço, por meio de processos bioquímicos (MANDEGARI; FARZAD; GÖRGENS, 2017).

A consolidação tecnológica do setor sucroalcooleiro foi uma das respostas mais eficientes contra as instabilidades inerentes à produção e comercialização de petróleo, pensar em uma biorrefinaria de cana-de-açúcar não produtora de etanol pode parecer irreal devido ao grande esforço direcionado à melhoria de processos desde a década de 1970, principalmente no caso brasileiro, como já citado acima, a biorrefinaria convencional de cana-de-açúcar de primeira geração fornece dois produtos a partir de açúcares redutores totais encontrados na cana-de-açúcar, o etanol e o açúcar (LE FEVRE, 2014).

Com foco no etanol, a posição atual das sociedades modernas no contexto da escala de transição energética ainda indica uma importante participação dos combustíveis líquidos, que dá suporte à produção de biocombustíveis, como também o biodiesel, como fontes de energia primárias que abastecem alternativamente um setor de transporte baseado em motores de combustão (SALLA et al., 2009).

2.1.1 Fabricação do etanol

A produção de cana-de-açúcar é uma das atividades econômicas mais importantes do Brasil, o que permitiu ao país ser o segundo maior produtor de bioetanol, com cerca de 27,5% da produção mundial, etanol combustível no Brasil, que começou a ser produzido em larga escala há cerca de 40 anos, colocou o país como líder mundial na área de uso de biocombustíveis (VIDAL, 2022). Segundo BEN (2022), em 2021 a fabricação de etanol reduziu -8,3% atingindo um montante de 29,9 milhões de m³, deste total, 61,4% referem-se ao etanol hidratado: 18,3 milhões de m³, em termos comparativos, houve uma redução de -17,3% na produção deste combustível em relação a 2020, já a produção de etanol anidro, que é misturado à gasolina A para formar a gasolina C, registrou um aumento de 11%, totalizando 11,6 milhões de m³.

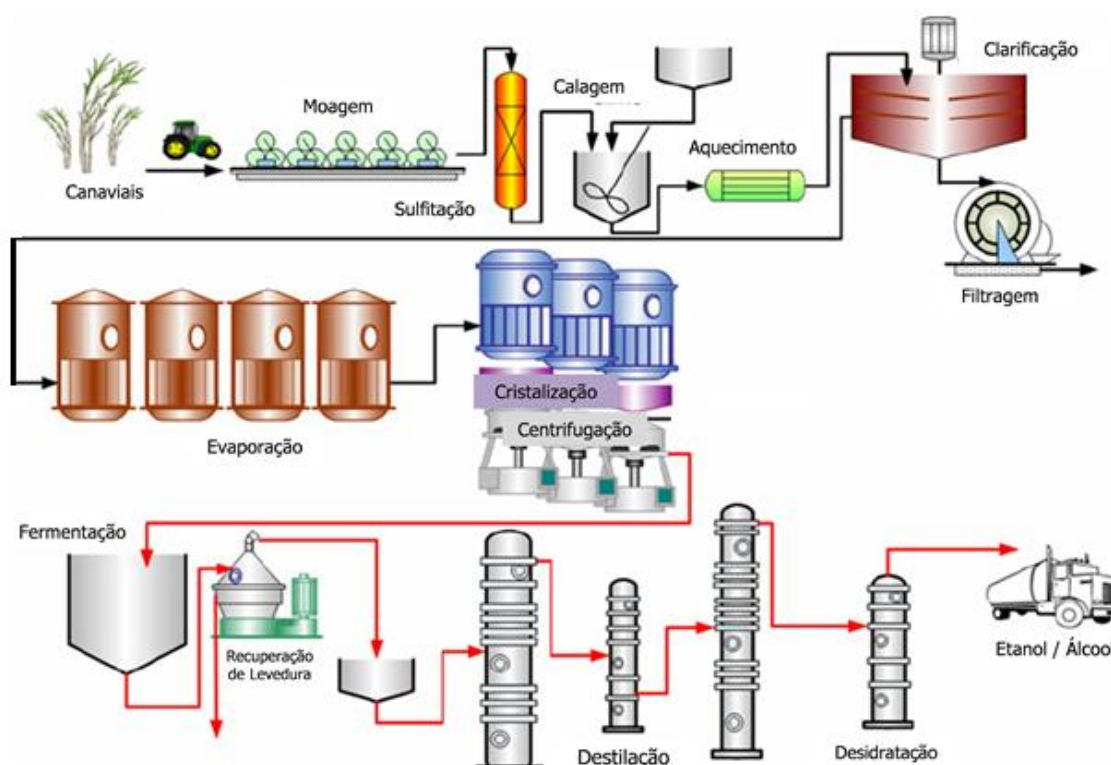
No entanto, a produção do etanol de primeira geração (etanol 1G) cresceu de 0,6 bilhão de litros em 1975 (GOLDEMBERG; LUCON, 2007) para aproximadamente 29 milhões de litros em 2021 (BEM, 2022) e recentemente ganhou um novo grande incentivo do governo, o RenovaBio que é a Política Nacional de Biocombustíveis, instituída pela Lei Federal nº 13.576/2017, que prevê a expansão dos biocombustíveis até 2030 (BRASIL, 2017). Resumidamente, as diretrizes do programa visam: financiar novas unidades industriais e tecnologias, incluindo a segunda geração de etanol (etanol 2G) que pode resultar em um incremento de até 60% de sua produção atual; garantir previsibilidade para o combustível-mercado, incremento da eficiência energética e diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na cadeia de biocombustíveis e desempenhar um papel importante para o cumprimento dos compromissos determinados pelo Brasil no Acordo de Paris.

Hoje o etanol do Brasil possui a matéria-prima mais competitiva, já que o custo de produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil é 50-60% menor e 20-30% menor, em comparação com milho e beterraba, respectivamente, duas importantes matérias-primas (MANOCHIO et al., 2017), a cana-de-açúcar proporciona maior produtividade de etanol por hectare (6.314 l/ha) do que o milho (2.729 l/ha) (DONKE et al., 2016), e por fim, reduz emissões de gases de efeito estufa em 60%–90%, uma redução mais significativa em comparação com o milho (40%–55%) (CHUM et al., 2014).

O bioetanol é produzido em dois tipos diferentes: o etanol hidratado e o anidro. O etanol hidratado tem sua concentração de etanol igual a 96% v/v e é utilizado principalmente na indústria alimentícia, na produção de cosméticos e medicamentos, além disso, no Brasil, o etanol hidratado também é utilizado como combustível em veículos, por outro lado, o etanol anidro tem sua concentração mínima de etanol igual a 99% v/v, no que diz respeito aos usos do etanol anidro, ele tem muitas aplicações na indústria química e é misturado à gasolina para ser utilizado como combustível em veículos (ZARPELON, 2008). Atualmente, no Brasil, 80% do etanol produzido é utilizado como combustível, 10% é exportado e os outros 10% têm aplicações na indústria (ABDALA, 2017).

Na fabricação do etanol, a cana-de-açúcar passa por várias etapas (Figura 1) desde a colheita até a produção industrial, para as unidades fabris (usinas de cana-de-açúcar ou biorrefinarias) que processam essa matéria-prima, diversos parâmetros tecnológicos e microbiológicos devem ser abordados para melhorar o processo industrial (BLAUER, 2020). O modelo de produção de etanol é baseado principalmente em um sistema de plantio de cana-de-açúcar com uso extensivo de terras agrícolas, uso escasso de fertilizantes, defensivos e irrigação artificial e queima da cana antes da colheita (JOSEPH, 2010).

Figura 1 - Produção industrial de etanol com cana-de-açúcar



Fonte: Joseph (2010).

As etapas industriais para produção do etanol combustível de cana-de-açúcar consistem basicamente em: (1) moagem da cana-de-açúcar para obtenção do caldo de cana-de-açúcar; (2) processo de clarificação para remoção do sólido em suspensão no caldo; (3) fermentação do caldo de cana com leveduras para converter os açúcares em etanol; e (4) destilação do caldo fermentado para obtenção do etanol, vale ressaltar que apenas aproximadamente 8 e 9% (v/v) de concentração de etanol são obtidos após o processo de fermentação, isso significa que são gerados cerca de 12 litros de resíduo líquido, denominado vinhaça, para cada litro de etanol produzido (AMORIM et al., 2011).

Inicialmente é feito a colheita da cana-de-açúcar, que pode ser feita de duas maneiras diferentes, manual e mecanicamente, o procedimento manual não é comumente utilizado atualmente devido a aspectos ambientais, legais e técnicos relacionados a ele (CARDOSO; MACHADO; PEREIRA, 2008).

Atualmente, o método mecânico de colheita da cana-de-açúcar é o mais utilizado, ele apresenta várias vantagens como maior produtividade, requer menos pessoas, tem custos associados mais baixos e não precisa queimar a cana previamente (TORQUATO, 2013).

Após a colheita, é necessário transportar a cana-de-açúcar do campo para iniciar o processamento, essa logística é fundamental porque ajuda a aumentar a eficiência das próximas etapas necessárias à obtenção dos produtos finais, a principal dificuldade nesta etapa é a gestão

das operações de carregamento e transporte (FREITAS et al., 2019). Relativamente aos custos relacionados com esta operação, estima-se que seja cerca de 12% dos custos totais de produção (IANNONI; MORABITO, 2002). Os custos de transporte tornam-se mais relevantes devido ao aumento do número de máquinas utilizadas nos canaviais, portanto, esse custo pode aumentar se a gestão de carregamento e transporte não for eficiente (FREITAS et al., 2019). Na Tabela 1 é mostrado como pequenas variações em certos parâmetros relacionados ao carregamento e transporte podem melhorar os lucros.

Tabela 1 - Aumento do lucro por milhões de toneladas de cana com variação dos parâmetros de carregamento e transporte (Câmbio de 5,73R\$/US\$)

Parâmetro	Variação de parâmetro	Lucros
Eficiência de combustível (km L ⁻¹)	+0,1	R\$ 242.400,00
Tempo de carga e descarga (h)	-1	R\$ 2.585.000,00
Taxa de ocupação (t)	+1	R\$ 400.000,00
Distância percorrida (km)	-1	R\$ 329.800,00

Fonte: Perá, Branco e Caixeta (2017)

Uma alternativa para reduzir os custos de transporte é aumentar a taxa de ocupação. Para isso, as usinas de cana-de-açúcar poderão substituir caminhões com capacidade para 74 toneladas por caminhões com capacidade para 91 toneladas. Tal substituição pode resultar em uma redução de custos igual a 21% (PERÁ; BRANCO; CAIXETA, 2017). Outro aspecto importante a ser reduzido é o tempo perdido com engarrafamentos para garantir que todos os equipamentos estejam produzindo na maior parte do tempo (MEURER; DA SILVA LOBO, 2015).

A próxima etapa necessária para a produção do etanol é a preparação da cana-de-açúcar, é limpar a planta para remover impurezas vegetais e minerais, pois afetam negativamente os equipamentos e sua eficiência, outro problema relacionado às impurezas é a contaminação bacteriana, normalmente, a limpeza da cana-de-açúcar é feita com água, no entanto, este método tem um alto consumo de água (DIAS, 2008).

Após a limpeza da cana, a próxima etapa é a extração dos açúcares, no Brasil, esse processo é feito por meio de moinhos, esta etapa é importante para ter alta eficiência nos próximos processos que resultarão em um maior volume de etanol e açúcar (NOEL SIMAS BARBOSA; SANTIAGO; SELEGHIM JR, 2017). Com o objetivo de melhorar o consumo de energia e reduzir os custos de manutenção do processo, as indústrias vêm substituindo os moinhos por difusores (DIAS, 2008).

Após a moagem da cana-de-açúcar, é feito o tratamento do caldo, esta etapa tem o objetivo de remover impurezas minerais ou vegetais que possam afetar negativamente os processos seguintes e, conseqüentemente, reduzir o rendimento de açúcar e etanol. Para remover as impurezas, é comum o uso de hidrociclones e peneiras (DIAS, 2008). Além disso, para a produção de açúcar, o fator cor é importante porque pode afetar a qualidade do açúcar (PINA et al., 2017). Por isso, as empresas fazem um processo chamado sulfitação, que é a adição de SO_2 com o objetivo de controlar a cor do suco (MANTELATTO et al., 2015).

O processo de moagem da cana-de-açúcar, passa por diferentes etapas após a obtenção do caldo para regular o pH, parâmetro crítico, que fora do intervalo degrada ou inverte a sacarose, e para eliminar componentes não açucarados para evitar degradação e produção de cor (COSTA et al., 2015).

Após a obtenção do caldo e/ou melaço pelo processo de moagem, temos a etapa de fermentação, aonde o caldo e/ou melaço é alimentado com alta densidade de células de levedura (10%–15% p/v) que são responsáveis por um tempo de fermentação muito curto de 6-10 h, após o processo de fermentação, as células de levedura são tratadas com ácido sulfúrico diluído e depois recicladas em outro lote, com as melhorias feitas nos últimos 30 anos, este processo atinge rendimentos de fermentação de 92%–93% (AMORIM et al., 2011).

E o fim a última etapa de produção de etanol, temos a destilação, que quando começa o caldo tem a concentração de etanol igual a 10% p/p, no entanto, o etanol hidratado, que é uma das opções de combustível no Brasil, precisa que a concentração de etanol seja igual a 96% m/m (ZARPELON, 2008). Portanto, a destilação é necessária para aumentar a concentração de etanol (MANTELATTO et al., 2015). Um dos principais problemas relacionados ao processo de destilação nas indústrias de cana-de-açúcar é o alto consumo de energia, estima-se que este processo seja responsável por 50% da energia necessária em uma destilaria (TGARGUIFA; ABDERAFFI; BOUNAHMIDI, 2017). Como resultado desta questão, há custos de processo mais elevados e a emissão de gases de efeito estufa (KIM; DALE, 2005).

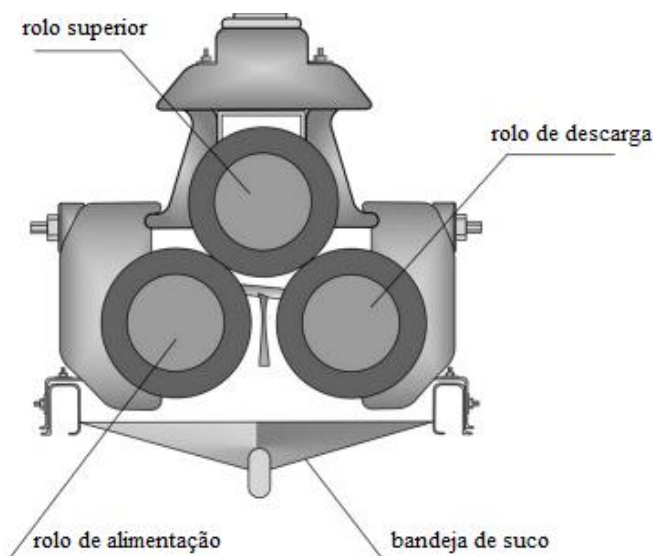
Para produzir o etanol anidro na destilaria, é necessário reduzir a concentração de água na mistura (água e etanol) (MANTELATTO et al., 2015). De acordo com a legislação brasileira, o etanol anidro deve ter no mínimo 99% v/v de etanol (ZARPELON, 2008). Atualmente, a técnica mais utilizada para a produção de etanol anidro é a destilação azeotrópica com ciclohexano ou monoetilenoglicol (MANTELATTO et al., 2015). Outra técnica que vem sendo utilizada para a produção de etanol anidro é a adsorção com peneiras moleculares, pois ajuda a diminuir o consumo de energia em 33% quando comparado à destilação azeotrópica (DE CASTRO, 2018).

2.2 PROCESSO DE EXTRAÇÃO (MOAGEM)

A moagem da cana-de-açúcar tem como objetivo extrair a sacarose da cana comprimindo a parte fibrosa da planta. A taxa de extração é expressa em porcentagem e é definida como a razão entre sacarose extraída e sacarose total na cana-de-açúcar (REIN, 2007). O etanol de primeira geração é produzido a partir do caldo de cana ou melaço, ou a mistura dos dois produtos dependendo da usina de processamento, nas destilarias autônomas, o etanol é produzido a partir do caldo da cana, enquanto nas usinas anexas, uma fração do caldo da cana é desviada para a produção de açúcar e a fração restante junto com o melaço é utilizada para a produção de etanol (DO LAGO et al., 2012).

Após o preparo da cana, ela passa pelo equipamento de moagem, que normalmente é composto por um conjunto que consistem em conjuntos de três a cinco cilindros onde a cana é prensada, separando o caldo do bagaço, os dois roletes inferiores têm seus eixos fixos e giram no mesmo sentido, enquanto o rolete superior móvel gira no sentido oposto aos eixos inferiores, o bagaço passa pelo primeiro moinho sendo alimentado para o moinho subsequente e assim por diante, é adicionado água morna para embebição, aumentando a recuperação de açúcar no caldo (REIN, 2007). A posição do rolo superior é controlada hidraulicamente para manter a pressão de esmagamento (Figura 2).

Figura 2 - Diagrama mostrando um arranjo clássico de moinho de três rolos



Fonte: Rein (2007)

Normalmente tanto nos moinhos quanto em outros equipamentos na preparação da cana são acionados por turbinas a vapor, que requerem mais energia na forma de vapor do que energia elétrica em motores elétricos eficientes, além disso os difusores também podem ser

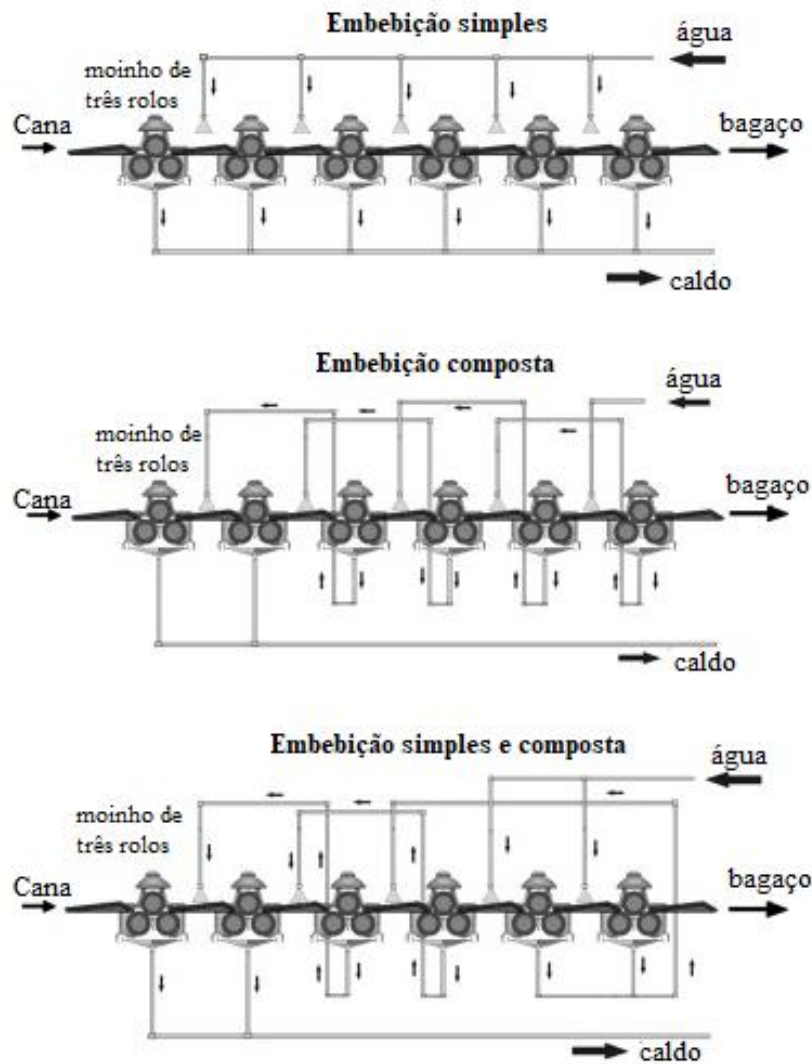
usados na extração do caldo com maior recuperação de açúcar e menor consumo de energia do que a moagem em tandem (PALACIOS-BERECHÉ et al., 2014).

Os moinhos de três cilindros podem ter um ou dois cilindros auxiliares, com diâmetros menores que os dos cilindros de britagem, os cilindros auxiliares comprimem o leito formado pelas fibras, aumentando assim a eficiência da extração (PAYNE, 1989; CAMARGO et al., 1990). Para aumentar a capacidade de alimentação e drenagem, os cilindros possuem ranhuras, que influenciam na forma do bagaço resultante. Estes seguem a circunferência do cilindro, são em forma de V e formam um ângulo de 30 a 35°. Este ângulo pode chegar a 45° quando houver a possibilidade de danos causados por pedras ou pedaços de metal. O espaçamento entre ranhuras varia de 12,5 a 25 mm (PAYNE, 1989). Nos modelos mais recentes o espaçamento varia de 25 a 75 mm, com espaçamento de 50 mm e ângulo de ranhura de 40–50° sendo o mais comum (REIN, 2007).

Para aumentar a quantidade de sacarose extraída, água é adicionada à cana-de-açúcar durante o processo de moagem, isso é chamado de embebição, pois quando sai do moinho de três rolos o bagaço ainda retém algum caldo, seja por ação capilar ou porque algumas células não foram totalmente trituradas (CAMARGO et al., 1990).

Existem três tipos de embebição: simples, composta e mista (Fig. 3). A embebição simples envolve a imersão do bagaço com água após cada moenda de três rolos, o caldo resultante segue direto para o processo de fabricação, na embebição composta, a água é aplicada apenas no último moinho de três cilindros da moenda em tandem, e o caldo diluído é devolvido total ou parcialmente à frente do moinho de três cilindros anterior; o caldo para processamento é extraído no primeiro e segundo moinhos de três cilindros, a embebição mista, como o nome sugere, combina a embebição simples e composta: a água é aplicada em mais de um moinho de três cilindros e o suco de cada moinho intermediário é parcialmente devolvido ao moinho anterior (CAMARGO et al., 1990). A Figura 3 mostra os três tipos de embebição usados para extrair o caldo de cana cru.

Figura 3 - Os três tipos de embebição usados para extrair o caldo de cana



Fonte: Camargo et al. (1990)

O caldo extraído é encaminhado para o sistema de tratamento, no qual são retiradas as impurezas do caldo para fornecer um material adequado para as etapas subsequentes; embora a maioria das operações de tratamento do caldo seja comum tanto para a produção de açúcar quanto para a produção de etanol, cada processo tem suas especificidades (DIAS et al., 2012).

Vale salientar que toda a energia necessária no processo de produção de etanol é produzida pela usina utilizando como combustível o bagaço da cana-de-açúcar, em muitas usinas, a energia excedente é gerada para venda à rede, algumas usinas vêm recuperando uma fração da palha da cana-de-açúcar e usando-a também como combustível, porém essa ainda não é uma prática comum nas instalações brasileiras devido aos altos custos de recuperação e questões sobre implicações para o solo a curto e longo prazo (CARDOSO et al., 2013).

2.3 MAPEAMENTO DE PROCESSO

Mapeamento de processos é uma ferramenta de comunicação e análise que mostra cada etapa importante do processo por meio de um fluxograma e um texto complementar (DARWISH, 2011). O objetivo principal é criar uma representação visual do processo, permitindo combinar, simplificar, alterar a ordem e até eliminar atividades (PINHO; LEAL; ALMEIDA, 2006). O mapeamento de processos é uma ferramenta fundamental e o primeiro passo na gestão de processos, envolvendo o aprendizado e a compreensão do trabalho, buscando compreender a lógica inserida na cadeia de insumos e informações (SCHHMIDT, 2016).

O mapeamento de processos foi desenvolvido e implementado pela *General Eletric* como parte integrante de uma estratégia chave de melhoria de desempenho e foi usado para descrever cada etapa significativa de seus processos de negócios em fluxogramas e texto de apoio (HUNT, 1996).

Contudo os mapeamentos de processos têm suas origens em vários campos, e a origem da maioria das técnicas, como fluxogramas, diagramas de cadeia, diagramas de movimento, gravação de fotos, diagramas multiatividade e gráficos de processo, pode ser creditada a Taylor e sua pesquisa, como forma melhor de realizar tarefas e organizar o trabalho de forma adequada (SANTOS, 2010).

Os benefícios do mapeamento de processos incluem a redução do custo de desenvolvimento de serviços e produtos, redução de falhas na integração de sistemas, melhor compreensão dos processos e, principalmente, melhoria das operações da empresa (HUNT, 1996).

Mapear o processo é importante porque entende e desenvolve o caminho percorrido no desenvolvimento do trabalho até que o resultado desejado seja alcançado, otimizando tempo e minimizando gargalos que atrapalham as atividades do dia a dia, muitas vezes as pessoas trabalham em atividades sem ver onde está o seu trabalho Como parte do processo global, é importante ter uma visão global para atingir os padrões de trabalho esperados (PORCIDES, 2003).

De acordo com Villela (2000), o mapeamento proporciona uma análise estruturada e é uma importante ferramenta para a compreensão dos processos atuais, podendo melhorar aqueles que requerem mudanças ou até mesmo eliminá-los quando aplicável, como ferramenta de gestão da análise, ajude a melhorar a estrutura do processo, para uma boa gestão, quatro abordagens precisam ser discutidas no desenvolvimento de uma proposta de melhoria de

processos: eliminar trabalhos desnecessários, combinar operações ou elementos, modificar a sequência de operações e simplificar operações básicas (PINHO et al., 2007).

As empresas adotaram o mapeamento de processos como uma técnica eficaz que permite às organizações visualizar graficamente qualquer detalhe e nível de complexidade de seus sistemas de negócios (MADISON, 2005). Um dos problemas ao iniciar um programa de melhoria organizacional é saber por onde começar, o mapeamento de processos pode fornecer uma maneira eficaz de identificar esses pontos de partida, pois é uma técnica analítica que ilustra graficamente a área de trabalho de uma organização e é uma ferramenta eficaz para documentar o estado atual, além disso, o mapeamento de processos não é apenas uma maneira de registrar instantaneamente o estado atual de um processo, mas também cria um diagrama de estado futuro para uma organização, um mapa que informa para onde você deseja ir (GISSONI, 2016).

O mapeamento foi escolhido como ferramenta de melhoria baseada em seus conceitos e técnicas, que, quando utilizados, permitem documentar todos os elementos que compõem o processo, corrigir eventuais problemas e auxiliar na detecção de atividades que não agregam valor (DA SILVA, 2019).

Com a devida implementação, interpretação e monitoramento do mapeamento de processos, a real utilização dos recursos materiais, humanos e ambientais pela organização pode ser rastreada, possibilitando a mensuração e minimização das perdas de produção (ROQUE, 2010).

3.3.1 Ferramentas integradas ao mapeamento de processos

Oliveira et al. (2010), combinando mapeamento com análise de árvore de falhas e técnicas de análise de modo e efeitos de falha, fornece uma visão clara e objetiva das atividades desencadeadas pelo processo, por fim, destacando os pontos fortes e fracos do processo analisado em uma empresa de serviços jurídicos. Okrent e Vokurka (2004) propuseram o uso do mapeamento de processos como complemento à implementação do planejamento de recursos empresariais, enfatizando o mapeamento do estado atual, o mapeamento do estado futuro e como fazer essa transição. Campos e Miguel (2005) utilizaram o desdobramento da função qualidade para mapear os processos produtivos e estabelecer padrões operacionais por meio de normas técnicas do processo, visando reduzir o *set-up* das máquinas e eliminar a variabilidade e as perdas de produtividade no processo produtivo.

Ainda nessa integração, Pontes, Yamada e Porto (2008) utilizaram simulação para desenvolver modelos computacionais em software para melhorar a produtividade de linhas de

montagem de autopeças, mostrando que ambas as ferramentas podem ser utilizadas como base científica, além de envolver todos em discussões relacionadas a aspectos do sistema geral, as decisões podem ser tomadas sem interferir no sistema real. Mello (2008) também utiliza a simulação para mapear, refinar, determinar o caminho crítico de um projeto, propor e executar processos futuros de acordo com o *Soft Systems Approach*.

O estudo de Bandeira e Prates (2011) enfrentou questões como atrasos na confirmação de pedidos, perda de receita por indisponibilidade de produtos, atividades ociosas e algumas ineficiências operacionais, em seu trabalho foram medidos os ciclos de produção, os conceitos de produção enxuta e o equilíbrio do processo, e foi calculado um *Indices of Global Operational Performance*, que indica a eficiência do equipamento durante o tempo de operação disponível e, por fim, os resultados foram aprendeu detalhadamente a entender o processo para a importância de medi-los e controlá-los, além disso, um bom diagnóstico pode levar a uma ação eficaz e de baixo custo, o que pode ajudar a melhorar a eficiência da empresa.

Também é importante destacar que alguns conceitos do Lean acabam sendo adicionados à resolução de problemas no nível operacional. Singh e Sharma (2009) tentaram fazer uma abordagem em torno do desperdício em uma empresa de manufatura na Índia, eles notaram que o desperdício vem de várias formas e pode ser encontrado em qualquer lugar e a qualquer momento nas políticas da empresa, procedimentos, processos, design e operações de produtos e perdas. consome recursos, mas não agrega valor ao produto.

2.4 DESEMPENHO DAS OPERAÇÕES

Segundo Peña (2008), eficiência é a combinação ótima de insumos e métodos necessários (insumos) em um processo produtivo para que se produza o maior produto (saída), sendo assim, a eficiência é a comparação entre a quantidade de produtos que foram produzidos e a quantidade de produtos que poderiam ter sido produzidos.

A produtividade, por sua vez, é entendida como a relação entre a quantidade do produto e a quantidade do insumo, e a relação produto/insumo é expressa e demonstrada pelo nível de uso dos recursos, produtos e insumos utilizados em cada processo de produção Essa relação entre os insumos mostra como os recursos são aplicados no processo produtivo, portanto, uma alta relação entre insumos e produtos significa alta produtividade (ROSANO-PEÑA; ALBUQUERQUE; DAHER, 2012).

Muitas vezes os conceitos de produtividade e eficiência são usados incorretamente como sinônimos, produtividade visa medir como os insumos são utilizados para produzir um produto

para uma unidade de produção, ou seja, é uma espécie de cálculo quando se quer verificar uma medida de relacionamento existente entre insumo e produto (FERREIRA; GOMES, 2009).

A medição da produtividade começou com Koopmans (1951) e Debreu (1951), seguido de aplicações empíricas por Farrell (1957). Koopmans (1951) forneceu uma definição de eficiência para o que chamamos de eficiência técnica, mais tarde conhecida como eficiência de Pareto-Koopmans (PARETO, 1909; KOOPMANS, 1951), afirmando que se o número de processos de produção aumenta, o processo de produção é tecnicamente eficiente. Qualquer produto requer um aumento na quantidade de pelo menos um insumo ou pelo menos uma diminuição na quantidade de outro produto, e da mesma forma, se a redução da quantidade de qualquer insumo requer um aumento na quantidade de outro produto, o processo de produção é um insumo tecnicamente eficiente para manter o mesmo nível de produção, ou reduzir a quantidade de determinados produtos.

A produtividade tem dois elementos, um elemento puramente técnico, que mede a capacidade de uma empresa de evitar a perda de insumos e produtos, e um elemento de alocação, a capacidade de uma empresa de usar insumos na melhor proporção ao menor custo, desde que esses elementos sejam claro de. Sua função e produção e o preço dos insumos (FARELL, 1957). E a partir da combinação de eficiência de configuração e eficiência técnica, a empresa pode obter benefícios econômicos (TUPY; YAMAGUCHI, 1998).

Vale lembrar que a eficiência pode ser utilizada tanto para um único processo produtivo quanto para um sistema industrial composto por múltiplos processos produtivos. Em ambos os casos, a eficiência técnica da produção aborda como o processo/sistema transforma insumos em produtos (FRACCASCIA; ALBINO; GARAVELLI, 2017).

A eficiência é um conceito importante na teoria neoclássica e pode ser analisada de diferentes maneiras. Para uma organização, sua pesquisa tem implicações importantes para determinar a viabilidade no que se refere ao problema de alocação ótima de recursos (XAVIER, 2014).

Segundo Lovell e colaboradores (1994) a eficiência se refere à proficiência na qual as entradas para o processo de produção são convertidas em saídas do processo, referindo-se à eficiência técnica, a eficiência também pode ser a proficiência com que os produtores alcançam seus objetivos econômicos como, por exemplo, a produção a um mínimo custo, geração de receita máxima ou maximização do lucro, nesse caso, a eficiência é chamada de eficiência econômica.

A eficácia está relacionada ao cumprimento dos objetivos, sem levar em consideração os recursos utilizados, e a produtividade está relacionada à forma de utilização dos recursos

para se realizar a produção, empregando os insumos da melhor forma possível (FERREIRA; GOMES, 2009).

Segundo Lovell et al. (1994), eficiência refere-se à proficiência com que os insumos do processo produtivo são convertidos em produto do processo, referindo-se à eficiência técnica, e eficiência também pode ser a proficiência do produtor em atingir seus objetivos. metas. Minimizar o custo, maximizar a geração de receita ou maximizar o lucro. Nesse contexto, a eficiência é chamada de eficiência econômica.

A eficiência está relacionada ao alcance das metas, independentemente dos recursos utilizados, enquanto a produtividade está relacionada à forma como os recursos são utilizados para realizar a produção, utilizando os insumos da melhor forma possível (FERREIRA; GOMES, 2009).

2.5 PDCA - PLANO E FERRAMENTAS DE MELHORIA

As principais características da manufatura enxuta incluem práticas *just-in-time*, trabalho em andamento e redução de desperdícios (BOTTI; MORA; REGATTIERI, 2017), estratégias de melhoria, produção sem defeitos e padronização do trabalho, sendo assim o principal objetivo de empresas e fábricas é aumentar os lucros e agregar valor eliminando os desperdícios (KUMAR; VAISHYA, 2018). É por esta razão que quando as empresas buscam melhorar a eficácia e eficiência do seu processo produtivo, elas implementam a manufatura enxuta (MARODIN et al., 2018).

O ciclo PDCA, também conhecido como ciclo de Deming ou ciclo de Shewhart (STROTMANN et al., 2017), é uma metodologia de manufatura enxuta que foi desenvolvida em 1930, quando não havia mais produtos exclusivos e uma gestão mais da qualidade com foco na competitividade levantada no mercado global, o criador do ciclo PDCA original foi um estatístico americano chamado Walter A. Shewhart (SILVA; MEDEIROS; VIEIRA, 2017). No entanto, foi William Edward Deming quem, na década de 1950, desenvolveu esse método, que, hoje, é um dos mais conhecidos e aplicados mundialmente, em seus primórdios, o ciclo PDCA foi utilizado como ferramenta para o controle de qualidade dos produtos (SANGPIKUL, 2017). No entanto, rapidamente, foi destacado como um método que permitiu desenvolver melhorias no processo em nível organizacional (MARUTA, 2012). Atualmente, o ciclo PDCA caracteriza-se pela sua abordagem de melhoria contínua e é reconhecido como um programa lógico que permite melhorar as atividades (DE QUEIROZ ALBUQUERQUE, 2015).

Vários autores afirmam que o ciclo PDCA é muito mais do que uma simples ferramenta de manufatura enxuta. Em vez disso, mencionam que o ciclo PDCA é uma filosofia de melhoria

contínua de processos introduzida na cultura organizacional das empresas que está focada na aprendizagem contínua e na criação de conhecimento (JONES; PARAST; ADAMS, 2010). Segundo Gorenflo e Moran (2010), as linhas a seguir descrevem os quatro estágios do ciclo PDCA:

I - Planejar: Nesta fase são identificadas oportunidades de melhorias e, posteriormente, são atribuídas prioridades a elas. Da mesma forma, a situação atual do processo a ser analisado é definida por meio de dados consistentes, as causas do problema são determinadas e possíveis soluções são propostas para resolvê-lo.

II - Fazer: Nesta fase, pretende-se implementar o plano de ação, selecionar e documentar as informações. Além disso, eventos inesperados, lições aprendidas e o conhecimento adquirido devem ser considerados.

III - Check: Nesta etapa são analisados os resultados das ações implementadas na etapa anterior. É realizada uma comparação antes e depois verificando se houve melhorias e se os objetivos estabelecidos foram alcançados. Para isso, podem ser utilizadas diversas ferramentas de suporte gráfico, como o gráfico de Pareto ou o diagrama de Ishikawa.

IV - Agir: Esta fase consiste em desenvolver métodos visando padronizar as melhorias (caso os objetivos tenham sido alcançados). Além disso, a prova é repetida para obter novos dados e testar novamente a melhoria (somente se os dados forem insuficientes ou as circunstâncias tiverem mudado), ou o projeto é abandonado e um novo é iniciado desde a primeira etapa (no caso do projeto implementado ações não produziram melhorias efetivas).

Para realizar essas etapas de maneira eficaz, outras ferramentas da qualidade podem ser necessárias. Essas ferramentas da qualidade podem ajudar principalmente a analisar o problema e definir as ações a serem implementadas (SILVA; MEDEIROS; VIEIRA, 2017). Dentre as ferramentas da qualidade mais utilizadas pelas empresas, e que servem de suporte ao ciclo PDCA, estão os 5S, *Failure Mode Analysis and Effects* (FMEA), 5W1H ou 5W2H, brainstorming, benchmarking; controle estatístico de processo (SPC), *checklists*, diagramas de Ishikawa e o gráfico de Pareto, *Quality Function Deployment* (QFD), o fluxograma, histogramas, *Single Minute Exchange of Die* (SMED), *Poka Yoke*, *Servqual*, *times quality* e *Six Sigma*. Neste projeto são utilizadas as ferramentas gráficas do gráfico de Pareto e do fluxograma (KHANNA; LAROIYA; SHARMA, 2010).

Na área de produção do setor sucroalcooleiro como em qualquer outro setor, existem diversos índices que podem ser aplicados o PDCA, mas os considerados mais importantes são voltados a produtividade e rendimento, na produtividade pode se considerar alguns indicadores, mais voltados para a área agrícola, já no rendimento fica a cargo do ramo industrial da cana-de

açúcar, pois mede a eficiência que o processo está exercendo (FERNANDES, 2003). Na Tabela 2, estão os indicadores mais utilizados na Indústria.

Tabela 2 - Indicadores sucroalcooleiros

Tipo	Indicador	Conceito
Eficiência do Processo	Eficiência da seção de cozimento	Este indicador representa as perdas determinadas e indeterminadas de sacarose entre o caldo misto e o xarope.
	Destilaria	Este indicador mostra o quanto foi à eficiência nos aparelhos de destilação.
	Industrial	Este indicador apresenta a porcentagem de açúcar que entrou com a cana e o quanto foi recuperado nos produtos finais.
Rendimento	Industrial	Mostra a quantidade de açúcar pelo total de cana-de-açúcar processada.
	Destilaria	O quanto foi processado de etanol pelo total de cana-de-açúcar processada.
	Fermentação	Indica a quantidade de etanol obtido na fermentação por açúcar fermentado.
Extração	Curva de Brix	Quantidade de brix que foi retirado, para avaliação do sistema de moagem.
	Preparo da cana	Indicador para o pagamento de fornecedores.
	Lavagem da cana	Indica a quantidade açúcar redutor total perdidos na lavagem da cana.
	Controle das horas de trabalho	Indicador da área de extração relacionado ao processamento da cana.
	Controle de desempenho	Indicador da área de extração relacionado ao desempenho do processamento.
	Gastos Variáveis	Indica a quantidade de despesas quando ocorre utilização do recurso.
Margem de Contribuição	Gastos Fixos	Indica as despesas que ocorrem mesmo sem utilização.
	Margem de contribuição agrônômica	Indicador que mostra a diferença entre a receita obtida da cana e os gastos produção e entrega.
	Margem de contribuição industrial	Indicador que mostra a diferença entre a receita obtida com os produtos vendidos e os gastos variáveis mais o custo da matéria-prima.

Fonte: Fernandes (2003)

A produção no setor sucroalcooleiro é caracterizada pelo fluxo contínuo. Assim, uma eventual ocorrência de anomalia em qualquer etapa do processo produtivo poderá comprometer a qualidade do produto final, dentre os principais processos de realização do produto destacam-se a recepção da matéria-prima, extração de caldo, tratamento de caldo, fabricação de açúcar e

fabricação de álcool, assim, a complexidade e as exigências da eficiência de seus processos levam as empresas a buscarem cada vez mais apoio na gestão da qualidade (ALVES, 2002).

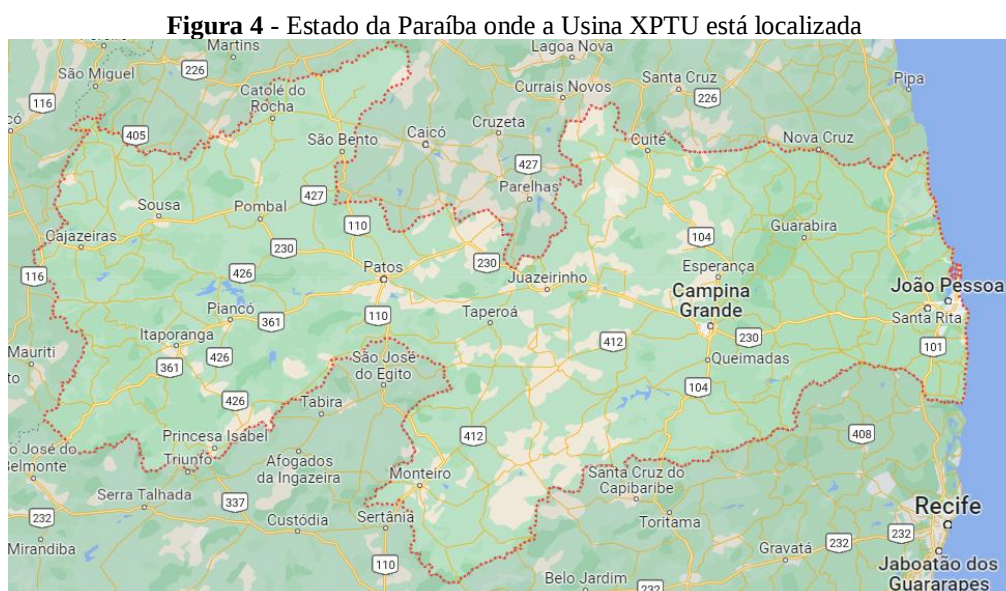
3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado na empresa Usina XPTU, que está localizada na zona rural do Estado Paraíba, durante o período de estágio que foi 15 de Setembro a 25 de Novembro de 2022, a empresa possui forte atuação no setor sucroalcooleiro, sendo referência na Região.

Esta pesquisa é um estudo de caso com pesquisa de campo, que foi realizada *in loco*, na própria usina acompanhando o processo produtivo durante todo o período de estágio, e utilizou-se como base as informações dos trabalhadores da empresa, bem como de observações *in loco* e boletins da Usina para a coleta de dados pertinentes.

Os produtos que a empresa comercializa são: o Etanol Anidro composto na mistura com a gasolina, o Etanol Hidratado que é o combustível utilizado em carros, esses são comercializados para as refinarias e postos de combustíveis, como também o Álcool Neutro produzido para indústrias farmacêuticas, de cosméticos e de bebidas, a usina também atua no setor de cogeração de energia.



Fonte: Google Maps (2022)

3.2 COLETA DE DADOS

Esse estudo tem como intuito contribuir positivamente para a Usina estudada. Após temática definida, a coleta de dados primários aconteceu, inicialmente, por meio de entrevistas informais com os operários, com o coordenador do laboratório industrial, líderes, supervisores e coordenadores de produção, além do próprio acompanhamento nos processos do desempenho do processo de moagem da cana para produção de etanol da Usina XPTU e registros

fotográficos (tópico 4) do ambiente da usina, como também de alguns equipamentos, essa coleta de dados possibilitou, assim, uma compreensão mais profunda dos problemas e desafios a serem enfrentados.

Já em relação aos dados secundários, foram utilizados o embasamento teórico demonstrando a importância de um estudo de campo para a indústria, trazendo a conceituação sobre eficiência dos processos produtivos, produtividade, eliminação de perdas e desperdícios e consequente redução de custos e a importância da manutenção e da análise de desempenho dos equipamentos para se obter uma vantagem competitiva em um cenário de concorrência, acirrada com o setor sucroalcooleiro, sendo assim, utilizou-se, também para a pesquisa artigos científicos, trabalhos acadêmicos e periódicos.

3.3 TRATAMENTO DOS DADOS

Para interpretação dos dados, foram elaboradas tabelas do Microsoft Excel® para a implementação da metodologia 5W1H adaptado ao estudo, elaborando um plano de ação como proposta de possíveis melhorias para eficiência de produção da Usina XPTU, além do ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Action), um método de gestão para o controle e melhoria dos processos e uma tabela com prioridade de otimização.

Para que estes planos corretivos sejam elaborados e aplicados de forma que gerem resultados positivos, é necessário que a usina tenha consciência e conhecimento do problema e seus efeitos negativos a eficiência de produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Subsidiado pelas diretrizes do estudo e os referenciais conceituais e metodológicos, nesta etapa apresentamos figuras e tabelas, bem como a descrição e a análise textual, de modo detalhado e profundo, com os principais resultados do diagnóstico, análise e proposição de melhoria, evidenciando o alcance dos objetivos, com evidências – Assim contribuindo para empresa, inclusive gerando valor.

4.1 MAPEAMENTO DO PROCESSO DE MOAGEM

O setor estudado foi a moenda, antes do procedimento de moenda, a cana precisa ser preparada. O objetivo da preparação da cana para a moenda é aumentar a sua densidade, e, como resultado, aumentar a capacidade de moagem dela, melhorar a eficiência da embebição, como também romper o máximo de células para a liberação do caldo, obtendo-se uma maior extração.

A preparação da cana é realizada na mesa alimentadora, onde a cana é lavada para retirar matérias estranhas, mineral e vegetal, óleo e outras substâncias. Após a lavagem, a cana é levada através de uma esteira metálica até os equipamentos de preparo, onde passa por jogos de facas rotativas, cortando-a em pedaços menores preparando-a para o trabalho do desfibrador. Antes de passar pelo desfibrador, a cana passa pelo socador que tem como finalidade comprimir a cana facilitando o trabalho do desfibrador. Neste equipamento composto de martelos oscilantes, um tambor alimentador e uma placa desfibradora, ocorrem a abertura da cana e a desintegração das células facilitando a extração dos açúcares pela moenda, sem a perda do caldo. O índice de preparo neste processo é de em média 88 a 93%, este índice representa uma relação entre o açúcar das células que foram rompidas pelo desfibrador e o açúcar da cana.

Após a saída do desfibrador, a altura do colchão de cana é uniformizada pelo espalhador, que fica no ponto de descarga da esteira metálica para uma correia transportadora de borracha de 72 polegadas que alimenta a calha de alimentação forçada da moenda. Esta correia trabalha para reduzir a espessura da camada de cana e facilitar o trabalho do eletroímã. Este realiza a operação de remoção de materiais ferrosos, protegendo os rolos da moenda.

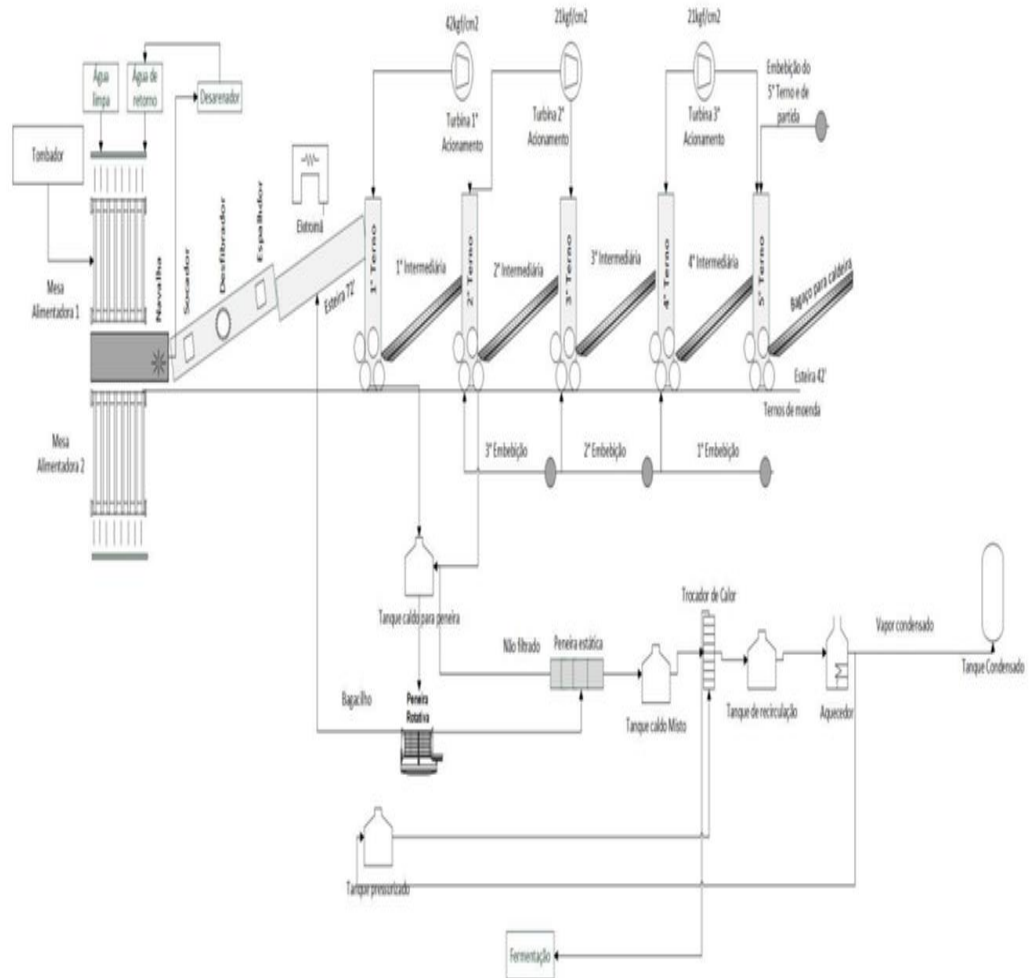
Na calha, a cana desfibrada forma uma coluna com maior densidade, aumentando a alimentação e capacidade da moenda. O medidor do nível de cana dentro da calha é utilizado para controlar o fluxo de cana para a moenda. Da calha a cana é enviada para a moagem. A esteira que transporta a cana da mesa alimentadora até a estação de moagem tem uma velocidade de até 0,23 m/s, transportando até 340 toneladas de cana de açúcar por hora.

A moenda é o processo de extração do caldo da cana de açúcar através da passagem entre rolos, com uma pressão pré-determinada aplicadas sobre eles. A planta da Giasa utiliza 05 ternos de moenda, os rolos que estão presentes em cada terno são chamados de: rolo de pressão, rolo de entrada, rolo superior e rolo de saída. A pressão dos rolos varia entre 2700 a 3700 Psi. O primeiro terno de moenda é acionado por pressão de 42kgf/cm² e o segundo, terceiro, quarto e quinto terno por 21 kgf/cm.

Após a passagem pelos cinco ternos da moenda, tem-se como produto o caldo residual que será embebido posteriormente para formar o caldo misto e ser enviado para a fermentação. Com a passagem da cana pelos primeiros ternos de moenda, a proporção de caldo em relação à fibra cai de aproximadamente sete para uma margem entre dois e 2,5%, ficando difícil de extrair esse caldo chamado de residual. Para extrair o caldo residual é utilizado um mecanismo chamado de embebição, que é uma forma de tentar recuperar os açúcares. A embebição utilizada é a composta. Neste procedimento, a água é injetada com uma temperatura média de 50° C na camada de cana entre os dois últimos ternos, e assim sucessivamente, até o segundo terno da moenda. A eficiência de extração dos açúcares na moenda é em torno de 94%. Também é obtido o bagaço com um grau de umidade que permita a sua utilização como combustível para as caldeiras.

O caldo extraído no 1° terno e o caldo extraído do segundo ao quinto terno misturado com água de embebição vai para o tanque de caldo para peneira. Deste tanque é bombeado para a peneira rotativa, o caldo filtrado nesta etapa segue para as peneiras estáticas e o bagacilho retorna para a esteira de borracha de 72 polegadas. O não filtrado na peneira estática retorna para o tanque de caldo para peneira onde repete o processo anterior, o caldo filtrado segue para o tanque de caldo Misto. Do tanque de caldo misto, o caldo é enviado para troca de calor na entrada do regenerador, sendo pré-aquecido, economizando assim, o vapor gasto no aquecedor. No aquecedor o caldo é aquecido em uma temperatura que varia de 80 a 110° C na tentativa de eliminar as bactérias presentes no meio. O caldo troca calor na saída do regenerador resfriando a uma temperatura que varia de 55 a 70° C, daí o caldo é enviado para a fermentação. Todo o vapor condensado abastece o tanque de condensado presente no setor de caldeira, onde serve para abastecer as caldeiras no processo de queima do bagaço.

Figura 5 - Fluxograma do processo no setor da moenda



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 6 - Tombador de cana da mesa 1



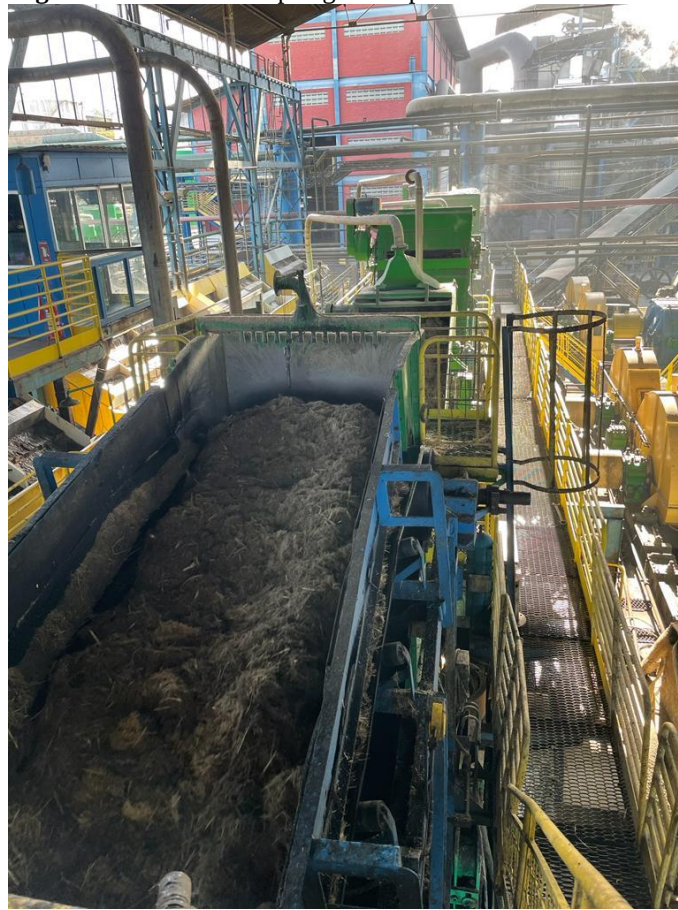
Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 7 - Mesa alimentadora, esteira metálica e preparação



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 8 - Esteira de 72 polegadas e primeiro terno da moenda



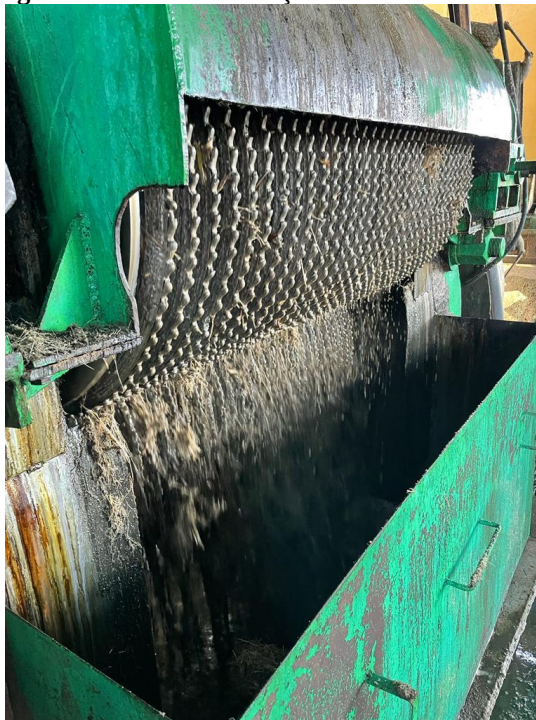
Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 9 - Primeiro terno e Chute Donelly



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 10 - Rolos de extração dos ternos da moenda



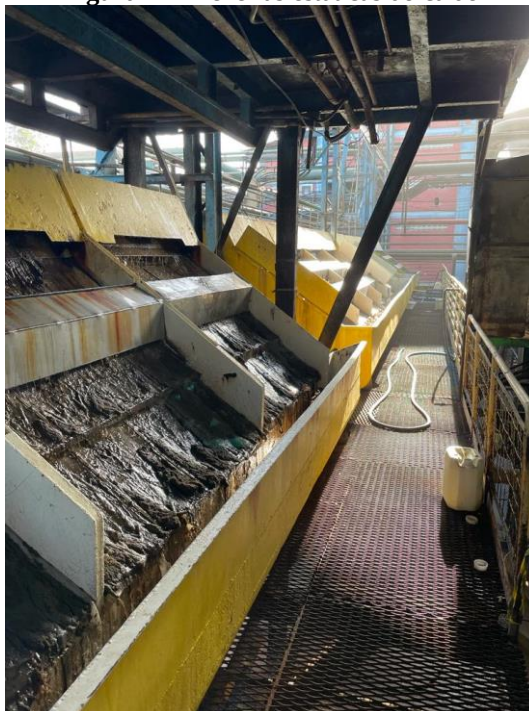
Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 11 - Peneira rotativa do caldo



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 12 - Peneiras estáticas do caldo



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 13 - Esteira da caldeira



Fonte: Elaboração própria (2022)

4.2 MEDIDA DE DESEMPENHO DO PROCESSO DE MOAGEM

O desempenho do processo de moagem é acompanhado e controlado por meio das seguintes medidas:

- **BRIX:** indica a quantidade de sólido solúveis presentes na mostra em peso;
- **POL:** porcentagem de sacarose em uma solução açucarada, determinada através de uma polarização direta ou simples de solução de peso normal em um sacarímetro;
- **Índice de preparação:** avalia a eficiência dos desfibradores e navalhas;
- **Eficiência de moagem:** porcentagem das horas efetivas pelas horas totais de moagem.

Para medir o desempenho do processo de moagem é feito a análise do BRIX do caldo e POL da cana desfibrada na saída da preparação após passar pela navalha e desfibrador e a análise do BRIX do caldo e POL do bagaço após passar pelo último terno da moenda. A

diferença entre uma POL e outra é a eficiência de extração do caldo da cana-de-açúcar. Outra medida da eficiência da moagem é a porcentagem das horas efetivas da moagem pelas horas totais de moagem. também é medida a eficiência da preparação antes da moagem, em que as variáveis analisadas são a navalha e o desfibrador, onde a média é entre 87% a 93%, e vai influenciar na eficiência do processo de moagem.

Outra medida da eficiência da moagem é a porcentagem das horas efetivas da moagem pelas horas totais de moagem, também é medida a eficiência da preparação antes da moagem, em que as variáveis analisadas são a navalha e o desfibrador, onde a média é entre 87% a 93%, e vai influenciar na eficiência do processo de moagem.

Esses controles têm grande relevância técnica e gerencial no negócio, visto que mitigam as perdas de açúcar no processo, traduzindo em redução de custos e melhor desempenho da Usina e do negócio.

4.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO DE MOAGEM

Face à abrangência e complexidade na Usina de etanol, diversos fatores influenciam o processo de moagem, conforme a seguir:

a) OPERADORES DA MOENDA: Controla toda puxada de cana que vem da mesa alimentadora e da esteira de 72 polegadas que alimenta os ternos da moenda, como também a rotação (rpm) dos rolos de extração, água de embebição, e outros diversos fatores. Sendo necessário bastante treinamento e capacitação para poder operar;

b) OPERADOR DA MESA ALIMENTADORA: Controla a quantidade de cana distribuída na esteira metálica em destino a preparação, passando por navalha e martelo desfibrador antes de chegar a moenda, podendo afetar os motores da navalha e desfibrador, como também o índice de preparação e o nível de cana no primeiro terno ou Chute Donelly, que é responsável pelo volume do colchão de cana espalhada na esteira intermediárias dos ternos e por consequência pelo nível de extração dos mesmos;

c) MÁQUINAS: As potências dos motores da navalha e desfibrador que é de 1.200 CV, está abaixo do que o processo precisa, que é uma potência de 1.400 CV, ficando 200 CV à menos e fazendo com que os motores trabalhem no limite máximo, reduzindo a velocidade da esteira metálica pelos sensores de segurança desses motores por sobrecarga, ou até desarmando esses motores para não haver problemas mecânicos ou prejuízos maiores, ocasionando assim paradas na moagem, afetando o índice de eficiência por horas de moagem.

4.4 PLANO DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE MOAGEM

Para contribuir com a Usina estudada, no que se refere ao processo de moagem e suas variáveis de planejamento, controle e melhoria, elaboramos o seguinte plano de ação:

Tabela 3 - Planilha 5W1H

O que?	Por quê?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?
Mapear o processo de moagem	Para entender os pontos fortes e fracos, problemas e necessidades de melhoria	Setor de moenda da Usina Giasa	Gestores de produção	15/05/22	Desenhando a planta do setor de moenda
Reduzir as falhas de operação da moenda	Para diminuir falhas e aumentar a produtividade da moagem	Setor da moenda da Usina Giasa	Gestores de produção e equipe de operadores da moenda	30/05/22	Treinando os operadores em cursos de capacitação para a equipe
Reduzir as falhas de operação da mesa alimentadora	Para diminuir falhas, aumentar o nível do chute donelly, os problemas de pane dos motores da navalha e martelo e a produtividade da moagem	Na mesa alimentadora da Usina Giasa	Gestores de produção e operador da mesa alimentadora	15/06/22	Treinando os operadores em cursos de capacitação da operação
Propor a aquisição de dois motores (navalha e martelo) para ampliar a capacidade de preparação da cana	Para melhorar o índice de preparo da cana, solucionar os problemas de pane dos motores, aumentar o nível de chute donelly e a produtividade da moagem	Setor de preparação de cana da Usina Giasa	Gestores da mecânica e gestores da elétrica	30/06/22	Fazendo aquisição e a instalação de dois motores de 1.400 CV (navalha e martelo)
Implementar a solução	Para cumprir os objetivos do plano de ação	Na Usina Giasa	Gestores de produção, elétrica, mecânica e operadores	15/07/22	Seguindo o plano PDCA

Fonte: Elaboração própria (2022)

Correlacionando o plano apresentado ao PDCA, sistematizamos a proposta a seguir:

Tabela 4 - Ciclo PDCA

1. PLAN	Elaborar a planilha 5W1H
2. DO	Executar o plano de ação
3. CHECK	Verificar se o plano de ação está sendo executado e se os indicadores BRIX, POL, índice de moagem e índice de preparação estão entregando os resultados esperados
4. ACT	Verificar se deu certo, observar os resultados obtidos pelo processo de moagem, identificar novas melhorias no processo de moagem e começar o ciclo novamente

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 5 - Prioridade para otimização do processo

Nº	Ação proposta	Rapidez	Autonomia	Benefício	RAB	Prioridade
1	Mapear o processo de moagem	5	5	3	75	1º
2	Reduzir as falhas de operação da moenda	2	4	5	40	4º
3	Reduzir as falhas de operação da mesa alimentadora	3	4	5	60	2º
4	Propor a aquisição de dois motores (navalha e martelo) para ampliar a capacidade de preparação da cana	1	2	3	6	5º
5	Implementar a solução (o PDCA)	3	3	5	45	3º

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para ajudar nas ações propostas foi elaborada essa tabela com a sequência de prioridades. A primeira ação é mapear o processo de moagem para entender os pontos fortes e fracos, problemas e necessidades de melhoria de processo de moagem. Sendo uma ação com pequeno custo de execução e importante para se ter o conhecimento onde a gestão deve atacar. A segunda ação é reduzir as falhas de operação da mesa alimentadora, em que o operador da mesa deve receber curso de capacitação para operar com máxima eficiência, evitando falhas e paradas no processo, trazendo um ótimo benefício para empresa e sendo de fácil execução. A terceira ação será implementar o ciclo PDCA, para obter uma melhoria contínua, afim de buscar melhores resultados sucessivos, como também é uma ação que trás alto índice de benefício.

5 CONCLUSÃO

As atividades desenvolvidas nesta pesquisa, me permitiu vivenciar experiências em um processo produtivo complexo, que possui diversas operações para se chegar ao produto final: o Etanol Hidratado, Anidro e o Neutro. Essa vivência foi importante pois foi visualizado que a teoria adquirida em sala de aula é aplicada na prática, porém, as abordagens muitas vezes não são diretas por se tratar de operações com “n” fatores que impactam no processo, e sua aplicação depende do tipo de indústria em que o estágio supervisionado é realizado.

Uma usina é composta de várias operações unitárias, desde o processamento da cana de açúcar até o processo de fabricação do Etanol, é necessário que todos os setores estejam alinhados para que o produto atenda aos requisitos de qualidade determinados. Os principais pontos abordados durante a pesquisa foram: o controle da qualidade, produção de álcool, consumo de produtos, estudos que possibilitaram a visualização de melhorias no processo e redução de desperdícios, a compreensão do processo produtivo da cana de açúcar, a importância das análises que são de suma importância para direcionar as tomadas de decisões referentes ao processo produtivo e a integração entre os diversos setores.

O trabalho é de grande importância para formação do Engenheiro de produção, pois durante o período foi possível estudar e visualizar melhorias dentro do processo, acompanhar os indicadores de eficiência da indústria e procurar formas de melhorar os resultados obtidos, comunicar-se entre os diversos setores inseridos no processo macro de produção, observar o planejamento de produção diário, bem como acompanhamentos de relatórios de qualidade e produção.

Foi possível associar conhecimentos adquiridos das disciplinas de Planejamento e Controle da Produção, Gestão da Qualidade, Planejamento e Controle da Manutenção, pois estão presentes em todo o processo produtivo. Sendo assim, a pesquisa foi bastante produtiva do ponto de vista técnico e profissional, como também pessoal, pois as situações vividas diariamente contribuíram positivamente para a formação do profissional.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA EMPRESA

Foi observada na empresa uma grande necessidade de adotar ferramentas de melhoria contínua e técnicas de produção enxuta, para reduzir desperdício de matéria-prima e reprocesso de produtos acabados, assim reduzindo custos e maximizando o lucro da empresa. Deixo minha sugestão para uma futura pesquisa nos setores de fermentação e destilaria, visto que se tem um

alto índice de reprocesso do produto acabado, por estarem fora do padrão de qualidade, como também a perda de álcool junto a vinhaça por falha no processo de destilaria.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, T. O. **Análise comparativa dos processos de produção de etanol anidro**. 2017. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- ALVES, L. R. A. Transmissão de preços entre produtos do setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo. Master's thesis, **Universidade de São Paulo-Escola superior de Agricultura" Luiz de Queiroz**, 2002.
- AMORIM, H. V.; LOPES, M. L.; DE CASTRO OLIVEIRA, J. V.; BUCKERIDGE, M. S.; GOLDMAN, G. H. Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 91, n. 5, p. 1267-1275, 2011.
- AMORIM, H. V.; LOPES, M. L.; DE CASTRO OLIVEIRA, J. V.; BUCKERIDGE, M. S.; GOLDMAN, G. H. Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 91, n. 5, p. 1267-1275, 2011.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Balanco Energético Nacional**, 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em 18 de out de 2022.
- ANP- Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis . **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis**. (2021). Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2022#:~:text=O%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20Brasileiro%20do,nacionais%20no%20per%C3%ADodo%202012%2D2021.>>>. Acesso em: 21 de out de 2022.
- BANDEIRA, L. D.; PRATES, C.C. Aumento de eficiência por meio do mapeamento do fluxo de produção e aplicação do Índice de Rendimento Operacional Global no processo produtivo de uma empresa de componentes eletrônicos. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 18, n. 4, p. 705-718, 2011.
- BEN – Balanco Energético Nacional. Escritório de Pesquisa Energética (EPE), **Relatório final de 2021 EPE** , Rio de Janeiro. 2022.
- BIRRU, E.; ERLICH, C.; BEYENE, G. B.; MARTIN, A. Upgrading of a traditional sugar cane mill to a modern mill and assessing the potential of energy saving during steady state and transient conditions—part II: models for a modified cogeneration unit. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 6, n. 2, p. 233-245, 2016.
- BLAUER, R. **Sugar: World Markets and Trade, 2020, USDA**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/Sugar.pdf>>. Acesso em: 21 de out de 2022.
- BOTTI, L.; MORA, C.; REGATTIERI, A. Integrating ergonomics and lean manufacturing principles in a hybrid assembly line. **Computers & Industrial Engineering**, v. 111, p. 481-491, 2017.
- BRAZIL. LEI No 13.576, DE 26.12.2017 - DOU 27.12.2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis e dá outras providências. 2017.

CAMARGO, C. D.; USHIMA, A. H.; RIBEIRO, A. D. M.; SOUZA, M. D. P.; SANTOS, N. D. **Conservação de Energia na Indústria do Açúcar e do Alcool**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990.

CAMPOS, R. C. P., MIGUEL, P. A C. Proposta de mapeamento de processo produtivo de uma empresa por meio da aplicação do QFD. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 12., 2005. Anais eletrônicos. São Paulo.

CARDOSO, A. A.; MACHADO, C. de M. D.; PEREIRA, E. A. Biocombustível, o mito do combustível limpo. **Química nova na escola**, v. 28, p. 9-14, 2008.

CARDOSO, T. D. F.; CAVALETT, O.; CHAGAS, M. F.; MORAIS, E. R. D.; CARVALHO, J. L. N.; FRANCO, H. C. J.; BONOMI, A. Technical and economic assessment of trash recovery in the sugarcane bioenergy production system. **Scientia Agricola**, v. 70, p. 353-360, 2013.

CHUM, H. L.; WARNER, E.; SEABRA, J. E.; MACEDO, I. C. A comparison of commercial ethanol production systems from Brazilian sugarcane and US corn. **Biofuels, bioproducts and biorefining**, v. 8, n. 2, p. 205-223, 2014.

COSTA, G. H.; MASSON, I. S.; DE FREITA, L. A.; ROVIERO, J. P.; MUTTON, M. J. Reflects of clarification of sugarcane juice with moringa on inorganic compounds of sugar VHP/Reflexos da clarificação do caldo de cana com moringa sobre compostos inorgânicos do açúcar VHP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 154-160, 2015.

COSTA, L. G.; MARIN, F. R.; NASSIF, D. S.; PINTO, H.; LOPES-ASSAD, M. L. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 469-474, 2014.

DA SILVA, G. *et al.* **Mapeamento de processos para o licenciamento de obras no município de Governador Celso Ramos**. 2019. 88 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

DARWISH, Ali. **Business Process Mapping: A guide to best practice**. Writescop Publishers, 2011.

DE CASTRO, R. E. N.; DE BRITO ALVES, R. M.; DO NASCIMENTO, C. A. O.; GIUDICI, R. Assessment of sugarcane-based ethanol production. In: **Fuel ethanol production from sugarcane**. IntechOpen, 2018.

DE OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S. Produção de biomassa de cana-de-açúcar no Vale do São Francisco. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

DE QUEIROZ ALBUQUERQUE, A. C. R. Evaluation of the Application of the PDCA Cycle in Decision-Making in Industrial Processes; Federal University of Pará: Belém, Brazil. 2015.

DEBREU, G. The coefficient of resource utilization. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 273-292, 1951.

DIAS, M. de S. Simulation of ethanol production processes from sugar and sugarcane bagasse, aiming process integration and maximization of energy and bagasse surplus. **Master's Thesis, University of Campinas, Brazil**, 2008.

DIAS, M. O.; JUNQUEIRA, T. L.; JESUS, C. D.; ROSSELL, C. E.; MACIEL FILHO, R.; BONOMI, A. Improving second generation ethanol production through optimization of first generation production process from sugarcane. **Energy**, v. 43, n. 1, p. 246-252, 2012.

DO LAGO, A. C.; BONOMI, A.; CAVALETT, O.; DA CUNHA, M. P.; LIMA, M. A. P. Sugarcane as a carbon source: The Brazilian case. **Biomass and Bioenergy**, v. 46, p. 5-12, 2012.

DONKE, A.; NOGUEIRA, A.; MATAI, P.; KULAY, L. Environmental and energy performance of ethanol production from the integration of sugarcane, corn, and grain sorghum in a multipurpose plant. **Resources**, v. 6, n. 1, p. 1, 2016.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis**. 2018.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)**, v. 120, n. 3, p. 253-281, 1957.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar**. 2003.

FERREIRA, C. M. C. F., GOMES, A. P., **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa, M.G: UFV, 2009.

FERREIRA, F. N. A.; FERREIRA, W. M.; MOTA, K. C. D. N.; SILVA NETA, C. S., LARA, L. B.; SANTOS, E. A. D. Avaliação nutricional do bagaço de cana-de-açúcar enriquecido com vinhaça em dietas para coelhos em crescimento. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 217-226, 2015.

FERREIRA, L. S.; TRIERWEILER, J. O. Modeling and simulation of the polymeric nanocapsule formation process. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 42, n. 11, p. 405-410, 2009.

FOGLIATO, F.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Elsevier Brasil, 2009.

FREITAS, L. D.; BORGES, T. D. M. D.; MARTINS, A. S.; PANAINO, R. C.; NEGRÃO, J. B.; GODINHO, M. Analysis and proposal of reduction of lead time in the process of cutting, loading and transportation in a sugar cane factory: a study case. **Gestão & Produção**,

GISSONI, L. R. M. **Implantação de mapeamento de processos de trabalho no Setor de Transporte de uma instituição federal de ensino**. 2016. 74 f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) – Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal de Alfenas, Varginha, 2016.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**, v. 21, p. 7-20, 2007.

GOLDEMBERG, J.; NOGUEIRA, L. A. (2014) Sweetening the biofuel sector: the history of sugarcane ethanol in Brazil. *Bioenergy Connection*.(2014).Disponível em: <<http://bioenergyconnection.org/article/sweetening-biofuel-sector-history-sugarcane-ethanol-brazil>>. Acesso em 18 de out de 2022.

GORENFLO, G.; MORAN, J. W. The ABCs of PDCA. **Public Health Foundation**, 2010.

HUNT, V. Daniel. **Process mapping: how to reengineer your business processes**. John Wiley & Sons, 1996.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. Análise do sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta. **Gestão & produção**, v. 9, p. 107-127, 2002.

INGLEDEW, W. M. Ethanol fuel production: Yeast processes. **Encyclopedia of Industrial Biotechnology: Bioprocess, Bioseparation, and Cell Technology**, p. 1-14, 2009.

JONES, E. C.; PARAST, M. M.; ADAMS, S. G. A framework for effective Six Sigma implementation. **Total quality management**, v. 21, n. 4, p. 415-424, 2010.

JØRGENSEN, H. The role of industry in a transition towards the BioEconomy in relation to biorefinery. **IEA Bioenergy report, Task**, v. 42, p. 1-17, 2015.

KHANNA, H. K.; LAROIYA, S. C.; SHARMA, D. D. Quality management in Indian manufacturing organizations: some observations and results from a pilot survey. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 7, n. 1, p. 141-162, 2010.

KIM, S.; DALE, B. E. Environmental aspects of ethanol derived from no-tilled corn grain: nonrenewable energy consumption and greenhouse gas emissions. **Biomass and bioenergy**, v. 28, n. 5, p. 475-489, 2005.

KOOPMANS, T. C. **Activity Analysis of Production and Allocation** John Wiley and Sons. **New York**, 1951.

KUMAR, M.; VAISHYA, R. Real-time monitoring system to lean manufacturing. **Procedia Manufacturing**, v. 20, p. 135-140, 2018.

LE FEVRE, C. N. **The prospects for natural gas as a transportation fuel in Europe**. Oxford Institute for Energy Studies, 2014.

LEAL, M. R. L.; GALDOS, M. V.; SCARPARE, F. V.; SEABRA, J. E.; WALTER, A.; OLIVEIRA, C. O. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, v. 53, p. 11-19, 2013.

LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; ÁNGEL, J. D. M.; LEITE, M. A. H.; ROCHA, M. H.; SALES, C. A. V. B.; CORAL, D. D. S. O. Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis. **Biocombustíveis. Interciência**, v. 1, p. 411-498, 2012.

LOVELL, C. A. K.; GROSSKOPF, S.; LEY, E.; PASTOR, J. T.; PRIOR, D.; VANDEN EECKAUT, P. Linear programming approaches to the measurement and analysis of productive efficiency. **Top**, v. 2, n. 2, p. 175-248, 1994.

MADISON, Dan. **Process mapping, process improvement, and process management: a practical guide for enhancing work and information flow**. Paton Professional, 2005.

MANDEGARI, M. Ali; FARZAD, S.; GÖRGENS, J. F. Recent trends on techno-economic assessment (TEA) of sugarcane biorefineries. **Biofuel Research Journal**, v. 4, n. 3, p. 704-712, 2017.

MANOCHIO, C.; ANDRADE, B. R.; RODRIGUEZ, R. P.; MORAES, B. S. Ethanol from biomass: A comparative overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 743-755, 2017.

MANTELATTO, P. E.; MACIEL FILHO, R.; DIAS, M. D. S.; BONOMI, A.; LEAL, M. R. L. V.; CAVALETT, O.; ROSSELL, C. E. V. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development**, v. 15, p. 35, 2015.

MARIANO, E. B. **Conceitos Básicos de Análise de Eficiência Produtiva**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 14., 2007, São Paulo. Anais... São Paulo: UNESP, 2007, p. 1-12.

MARODIN, G.; FRANK, A. G.; TORTORELLA, G. L.; NETLAND, T. Lean product development and lean manufacturing: Testing moderation effects. **International Journal of Production Economics**, v. 203, p. 301-310, 2018.

MARUTA, R. Maximizing knowledge work productivity: a time constrained and activity visualized PDCA cycle. **Knowledge and process Management**, v. 19, n. 4, p. 203-214, 2012.

MELLO, A. E. N. S. Aplicação do mapeamento de processos e da simulação no desenvolvimento de projetos de processos produtivos. 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

MEURER, A. P. S.; DA SILVA LOBO, D. Caracterização da logística do sistema agroindustrial (SAG) da cana-de-açúcar no centro-oeste do Brasil. **Revista Economia & Gestão**, v. 15, n. 39, p. 45-65, 2015.

NOEL SIMAS BARBOSA, L. de S.; SANTIAGO, P. A.; SELEGHIM JR, P. Modelling a Multi-Stage Diffuser for Sucrose Extraction in Sugarcane Biorefineries. In: **Defect and Diffusion Forum**. Trans Tech Publications Ltd, 2017. p. 149-156.

NOGUEIRA, M. A. F. S.; GARCIA, M. S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brillhante, Mato Grosso do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 3275-3283, 2013.

OKRENT, M. D., VOKURKA, R. J. Process mapping in successful ERP implementations, *Industrial Management & Data Systems*, v. 104, n. 8, pp. 637-643, 2004.

OLIVEIRA, U. R. Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas. *Produção*, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 77-91, 2010.

PALACIOS-BERECHÉ, R.; ENSINAS, A. V.; MODESTO, M.; NEBRA, S. A. EXTRACTION process in the ethanol production from sugarcane—a comparison of milling and diffusion. **CHEMICAL ENGINEERING**, v. 39, 2014.

PARETO, V. **Manuel d'économie politique**. Giard & Brière, 1909.

PAYNE, J. H. **Operações unitárias na Produção de Açúcar**. NBL Editora, 1989.

PEÑA, Carlos Rosano. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). **Revista de Administração Contemporânea**, v. 12, n. 1, p. 83–106, 2008.

PERÁ, T.; BRANCO, J. E.; CAIXETA, J. V. Rethinking Sugarcane Logistics in Brazil: Productivity, Modeling, Rail Transport and Digital Agriculture. **Logística do Agronegócio: Oportunidades e Desafios**, n. 1, 2017.

PINA, E. A.; PALACIOS-BERECHE, R.; CHAVEZ-RODRIGUEZ, M. F.; ENSINAS, A. V.; MODESTO, M.; NEBRA, S. A. Reduction of process steam demand and water-usage through heat integration in sugar and ethanol production from sugarcane–Evaluation of different plant configurations. **Energy**, v. 138, p. 1263-1280, 2017.

PINHO, AF de; LEAL, F.; ALMEIDA, DA de. A Integração entre o Mapeamento de Processo e o Mapeamento de Falhas: dois casos de aplicação no setor elétrico. **Anais do XXVI ENEGEP–Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 9, 2006.

PONTES, H. L. J.; YAMADA, M. C.; PORTO, A. J. Utilização de processos e simulação para melhoria da produtividade de uma linha de montagem de componentes automotivos. *Pesquisa e tecnologia Minerva*, v.5, n.1, p. 97-104, 2008.

PORCIDES, L.M. Gestão por Processos. Florianópolis: FAE Business School, 2003.

RANGEL, D. A.; FREITAS, L. M.; ASSIS II, O. R.; RÊGO, T. Aumento da Eficiência Produtiva através da Redução do Tempo de Setup: aplicando a troca rápida de ferramentas em uma empresa do setor de bebidas. **P&D em Engenharia de Produção**, Itajubá, v. 10, n. 1, p. 36-49, 2012.

REIN, P. Cane Sugar Engineering, Verlag Dr. **Albert Bartens KG-Berlin**, v. 491, 2007.

RFA (2021) Essential Energy - 2021 pocket guide to Ethanol. Renewable Fuels Association. Disponível em: <<https://d35t1syewk4d42.cloudfront.net/file/276/2021-Pocket-Guide.pdf>>. Acesso em 22 de novembro de 2022.

RODRIGUES, A. F.; FERRARIN, F. V.; OLESKO, P. G. M. **Implementação de indicador de desempenho OEE em máquina de abastecimento de ar condicionado automotivo**. 2013. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

RODRIGUES, A. M.; REBELATO, M. G.; PAIXÃO, R. B. S.; ZEVIANI, C. H. Gestão ambiental no setor sucroenergético: uma análise comparativa. **Revista Produção Online**, v. 14, n. 4, p. 1481-1510, 2014.

ROGERS, T. D. **As feridas mais profundas: uma história do trabalho e do ambiente do açúcar no Nordeste do Brasil**. SciELO-Editora UNESP, 2017.

ROQUE, L. Uma arquitetura de controle de processos ambientais baseada em geoprocessamento. **Vértices**, Essentia Editora, Campos dos Goytacazes, v. 12, n. 3, p. 91-106, 2010.

ROSANO-PEÑA, C.; ALBUQUERQUE, P. H. M.; CARVALHO, J. M. A eficiência dos gastos públicos em educação: evidências georreferenciadas nos municípios goianos. **Economia Aplicada**, v. 16, n. 3, p. 421-443, 2012.

SALLA, D. A.; FURLANETO, F. D. P. B.; CABELLO, C.; KANTHACK, R. A. D. Avaliação energética da produção de etanol utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2516-2520, 2009.

SANGPIKUL, A. Implementing academic service learning and the PDCA cycle in a marketing course: Contributions to three beneficiaries. **Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education**, v. 21, p. 83-87, 2017.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; DE QUEIROZ, J. H. Em Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais. 2013.

SANTOS, R. F. Gestão por Processos: Fundamentos. 2010. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/Ridlo/gesto-por-processo>> Acesso em: 31 de Out de 2022.

SCHEITERLE, L.; ULMER, A.; BIRNER, R.; PYKA, A. From commodity-based value chains to biomass-based value webs: The case of sugarcane in Brazil's bioeconomy. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3851-3863, 2018.

SCHETTINI, D. C. D. **Eficiência Produtiva da Indústria de Transformação nas Regiões Brasileiras: uma análise de fronteiras estocásticas e cadeias espaciais de Markov**. 2010. 198 f. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCHMIDT, A. V. Mapeamento de processos e análise de tempos e movimentos em uma indústria do setor metal mecânico. 2016.

SILALERTRUKSA, T.; PONGPAT, P.; GHEEWALA, S. H. Life cycle assessment for enhancing environmental sustainability of sugarcane biorefinery in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 906-913, 2017.

SILVA, A. S.; MEDEIROS, C. F.; VIEIRA, R. K. Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. **Journal of cleaner production**, v. 150, p. 324-338, 2017.

SINGH, B., SHARMA, S. K. Value stream mapping as a versatile tool for lean implementation: an Indian case study of a manufacturing firm". *Measuring Business Excellence*, v. 13, n.3, p. 58 – 68, 2009.

STROTMANN, C.; Göbel, C.; Friedrich, S.; Kreyenschmidt, J.; Ritter, G.; Teitscheid, P. A participatory approach to minimizing food waste in the food industry—A manual for managers. **Sustainability**, v. 9, n. 1, p. 66, 2017.

TGARGUIFA, A.; ABDERAFFI, S.; BOUNAHMIDI, T. Modeling and optimization of distillation to produce bioethanol. **Energy Procedia**, v. 139, p. 43-48, 2017.

TORQUATO, S. A. Mecanização da colheita da cana-de-açúcar: benefícios ambientais e impactos na mudança do emprego no campo em São Paulo, Brasil. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 29, p. 49-62, 2013.

TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. **Eficiência e produtividade: conceitos e medição.** Agricultura em São Paulo, São Paulo, 1998.

VAZ JR, S. Estratégias para o uso de biomassa em química renovável. **EMBRAPA Agroenergia, Brasília, DF**, v. 38, 2012.

VIDAL, M. F. **Agroindústria – Etanol.** (2022). Disponível em: < https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1409/3/2022_CDS_237.pdf>. Acesso em: 21 de out de 2022.

VILLELA, C. da S. S. Mapeamento de Processos como Ferramenta de Reestruturação e Aprendizado Organizacional. 2000. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

WANG, M.; HAN, J.; DUNN, J. B.; CAI, H.; Elgowainy, A. Well-to-wheels energy use and greenhouse gas emissions of ethanol from corn, sugarcane and cellulosic biomass for US use. **Environmental research letters**, v. 7, n.4, p. 045905. 2012

XAVIER, Carlos Eduardo Osorio. The evolution of production cost in Brazil's cane industry. **FO Licht's International Sugar and Sweetener Repor, London**, v. 144, n. 11, p. 204-207, 2012.

ZARPELON, F. As especificações do álcool focadas para o mercado mundial. **Brasília:[sn]**, 2008.