

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS GIROTTO DORNELAS

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE AUTOMAÇÃO NO SISTEMA
HIDRÁULICO DE UMA MOENDA DE CANA EM UMA USINA
SUCROALCOOLEIRA.**

LONDRINA

2022

LUCAS GIROTTO DORNELAS

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE AUTOMAÇÃO NO SISTEMA
HIDRÁULICO DE UMA MOENDA DE CANA EM UMA USINA
SUCROALCOOLEIRA.**

**Analysis of the implementation of automation in the hydraulic system of a
sugar cane mill in a sugar mill.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Rogério Tondato.

LONDRINA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUCAS GIROTTO DORNELAS

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE AUTOMAÇÃO NO SISTEMA
HIDRÁULICO DE UMA MOENDA DE CANA EM UMA USINA
SUCROALCOOLEIRA.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Produção da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 22/novembro/2022

Rogério Tondato
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Silvana Rodrigues Quintilhano
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Ângelo Ferreira
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2022

RESUMO

Com o aumento da competitividade no setor industrial, é cada vez mais necessário que as empresas tornem seus processos mais eficientes. É comum durante o período de safra das usinas de cana-de-açúcar, serem detectadas paradas não programadas, desperdício de lubrificantes, quebra dos equipamentos, aumento de consumo de energia, e diminuição do aproveitamento da extração do caldo, acarretando prejuízos para a empresa. O presente trabalho apresenta uma proposta de um sistema automatizado para moendas de cana, tratando o nivelamento do rolo superior como a principal ferramenta para atingir melhor eficiência no processo. Com isso, foi apresentado uma análise da implantação de um sistema hidráulico automático de uma moenda de cana, comparando os resultados de extração, temperatura dos mancais, deslocamento do rolo superior, consumo de energia e lubrificante do processo de moagem de uma moenda no modo manual, com uma no modo automático. O método apresentou resultados objetivos e satisfatórios, visto que após a realização do cálculo dos ganhos monetários, constatou-se um período de menos de um mês para recuperar o valor do investimento, apresentando um sistema inovador, como uma solução para o problema de partida deste trabalho.

Palavras Chaves: automação; moenda de cana; rolo superior; cana-de-açúcar; extração do caldo.

ABSTRACT

With increasing competitiveness in the industrial sector, it is increasingly necessary for companies to make their processes more efficient. It is common during the harvest period of sugarcane mills to detect unscheduled stoppages, waste of lubricants, equipment breakage, increase in energy consumption, and decrease in the use of juice extraction, causing losses for the company. The present work presents a proposal for an automated system for sugarcane mills, treating the leveling of the upper roller as the main tool to achieve better efficiency in the process. With this, an analysis of the implantation of an automatic hydraulic system of a sugarcane mill was presented, comparing the reception results, bearing temperature, displacement of the upper roller, energy consumption and lubricant of the milling process in manual mode , with one in automatic mode. The method presented objective and achieved results, since after realizing the gains received, there was a period of less than a month to recover the investment value, presenting an innovative system, as a solution to the starting problem of this work. With this, an analysis of the implantation of an automatic hydraulic system of a sugarcane mill was presented, comparing the reception results, bearing temperature, displacement of the upper roller, energy consumption and lubricant of the milling process in manual mode , with one in automatic mode. The method presented objective and achieved results, since after realizing the gains received, there was a period of less than a month to recover the investment value, presenting an innovative system, as a solution to the starting problem of this work.

Keywords: automation; cane mill; top roller; sugar cane; broth extraction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de controle em malha aberta e malha fechada.....	17
Figura 2 – Alinhamento dos ternos na moenda.....	22
Figura 3 – Modelo de posicionamento dos rolos.....	23
Figura 4 – Unidade Hidráulica.....	26
Figura 5 – Painel Hidráulica.....	26
Figura 6 – Painel de comando.....	27
Figura 7 – Comparativo do consumo de energia.....	28
Figura 8 – Comparativo da temperatura dos mancais.....	28
Figura 9 – Redução da temperatura dos mancais.....	28
Figura 10 – Consumo de lubrificante dos mancais.....	29
Figura 11 – Oscilação dos rolos superiores.....	29
Figura 12 – Comparativo da extração do caldo de cana.....	30
Figura 13 – Resultados do sistema Alfa.....	30
Figura 14 – Monetização do projeto Alfa.....	31

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	Problema e pergunta de partida.....	8
1.2	Objetivos.....	9
1.3	Justificativa.....	9
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	Produtividade.....	10
2.2	Novas Tecnologias.....	12
2.3	Automação Industrial.....	15
3.	MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA.....	20
4.	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	21
4.1	Empresa.....	21
4.2	Moenda.....	21
4.3	Problema.....	23
4.4	Desenvolvimento do projeto.....	24
4.5	Sistema Alfa.....	25
4.6	Testes.....	27
5.	DISCUSSÕES E RESULTADOS.....	31
6.	CONCLUSÃO.....	33
4.	REFERÊNCIAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

Durante muitos anos, as empresas se preocuparam apenas em produzir sem dar muita importância ao desperdício do tempo dos processos produtivos, paradas corretivas não programadas, setups, qualidade do produto final, segurança dos operadores, entre outras características que hoje exigem uma atenção redobrada, caso a empresa queira garantir sua longevidade e uma maior competitividade no mercado.

Empresas que só decidem agir quando se encontram diante de problemas críticos, ocasionalmente podem não se recuperar com a rapidez necessária. Para as empresas que hoje se empenham em alcançar um melhor desempenho, gestores e líderes devem estar atentos ao papel das inovações, especialmente daquelas que possam oferecer melhorias significativas para os resultados da empresa.

A automação pode ser uma grande aliada nesse processo, inserindo recursos tecnológicos e reduzindo a necessidade de tarefas manuais, sendo capaz de produzir o melhor produto com o menor custo. Tudo isso de forma inteligente, conectando os processos produtivos e aumentando a flexibilidade do setor.

Neste cenário, o monitoramento constante de falhas é essencial e feito através de sistemas supervisórios, organizando as variáveis relevantes adquiridas do processo produtivo. Isso possibilita a interação do operador com praticamente tudo que acontece no seu setor, sem perder informações importantes e tudo em tempo real.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma análise da implementação da automação em uma moenda de cana, que tem como objetivo controlar automaticamente o nivelamento e a pressão de trabalho do rolo superior dos ternos de moagem, sempre buscando a otimização dos recursos da moenda e acionamentos para melhor extração possível, com menor consumo de energia e respeitando os limites mecânicos de cada equipamento.

1.1 Problema e pergunta de partida

É comum, durante o longo período de safra das usinas de cana-de-açúcar, serem detectadas manutenções corretivas, paradas não programadas, aumento do consumo de energia, e diminuição do aproveitamento de extração do caldo, acarretando prejuízos para a empresa, tais como menor produtividade e maior custo de operação e manutenção.

Assim, como pergunta de partida tem-se: em que medida o desenvolvimento de equipamentos de automação auxilia na redução de custos e aumento da produtividade de uma moenda de cana?

1.2 Objetivos

O Objetivo Geral deste trabalho é apresentar uma análise dos resultados da automação de um sistema hidráulico da moenda de cana de uma empresa sucroalcooleira.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Realizar um referencial teórico sobre as novas tecnologias e automação industrial;
- Apresentar a análise do estudo de caso de automação em uma empresa sucroalcooleira;
- Realizar discussões acerca do processo de automação realizado pela empresa.

1.3 Justificativa

Por volta de 2014, surgem as primeiras fábricas inteligentes e controle online da produção, o surgimento da Quarta Revolução Industrial, conceito dado em 2016 por Klaus Schwab, fundador do Fórum Econômico Mundial. (KLAUS, 2016)

Para Klaus (2016, p.14): “Em sua escala, escopo e complexidade, a quarta revolução industrial é algo que considero diferente de tudo aquilo que já foi experimentado pela humanidade”.

Por outro lado, no Brasil, em uma pesquisa realizada em 2016 pela Confederação Nacional da Indústria, revela que 42% das empresas desconhecem a importância das tecnologias digitais para a competitividade da indústria. O custo de implementação e a falta de clareza sobre o retorno do investimento são as principais barreiras de entrada à adoção dessas tecnologias.

Os resultados do estudo apresentado demonstrará os benefícios da implementação dessas tecnologias e a monetização do projeto durante o período de uma safra, transformando aquele setor em um setor inteligente. Empresas que se posicionam de forma estratégica, acompanhando a evolução do mercado, conseguem se diferenciar e ganhar vantagens com relação aos seus concorrentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produtividade

Para o estudo da produtividade, um dos principais conceitos, cuja compreensão se faz necessária, é o de produção, que pode ser definida de várias formas, sendo vista normalmente como a combinação de processos, pelo quais um produto de entrada (matéria-prima) é submetido até ser convertido em produto acabado ou semiacabado. De modo geral, a valorização do produto final pode ser medida através da diferença entre o valor de entrada e o valor de saída. (LOBO e SILVA, 2014)

No século XVII, com o avanço e surgimento das manufaturas, onde um certo número de artesãos eram empregados juntos, houve uma manifestação entre eles, com a finalidade da divisão das atividades e dos trabalhos em série. E foi a partir disso, que em 1776, após o desenvolvimento dos maquinários a vapor e o nascimento das fábricas, os artesãos, antes protagonistas na produção, converteram-se em operários coadjuvantes das máquinas. O trabalho tornou-se então rotineiro e padronizado, os trabalhadores não tinham mais contato com os clientes. E foi assim que surgiram as necessidades de estruturar e organizar as indústrias, a fim de aumentar sua produtividade e eficiência, incentivando diversos estudos sobre seu funcionamento e administração. (KLAUS, 2016)

Segundo Guerrini *et. al* (2019), a origem do desenvolvimento dos sistemas de produção ocorreu na transição do sistema artesanal para o sistema de produção em massa. Na Revolução Industrial ocorreu o princípio da divisão do trabalho, onde um processo de fabricação foi dividido em várias etapas, baseada em tarefas simples e repetitivas, os operários executam uma ou duas etapas cada um. Tal procedimento permite transformar o trabalhador num especialista de uma tarefa específica, aumentando seu rendimento e diminuindo o tempo perdido durante a troca de tarefas.

No início do século XX surge então, os trabalhos de Fayol e Taylor, que até hoje exercem profunda influência sobre a administração moderna e a qualidade. Henry Fayol (1841-1925), publicou em 1916 a obra *Administração Industrial e Geral*, onde estrutura a empresa em seis funções básicas: técnica, comercial, financeira, contábil, administrativa e de segurança. Destaca-se a função administrativa subdividida em: prever, organizar, comandar, coordenar e controlar.

Frederick Winston Taylor (1856-1915) é o criador da administração científica. Dedicou-se a estudar a organização das tarefas e os tempos e movimentos gastos por um operário em sua execução. Taylor divulgou em 1911 a sua obra, *Princípios da*

Administração Científica, onde é abordado um dos pilares da qualidade até os dias atuais, a padronização de procedimentos e tarefas.

Tanto a administração clássica como a administração científica eram modelos falhos nos aspectos humanos, assim sofriam com a colaboração dos trabalhadores. Esses problemas refletem claramente na produção industrial. As empresas convivem constantemente com problemas de: baixa produtividade, absenteísmo, rotatividade de mão-de-obra, furtos e sabotagens. O ambiente dentro das empresas era, geralmente, de conflito e de temor. Os procedimentos de inspeção e de supervisão eram fonte de disputas e de desentendimentos constantes. A partir disso, nos anos 20 na fábrica Western Electric em Hawthorne, Elton Mayo e sua equipe desenvolveram diversos estudos que buscavam identificar fatores que influenciam na produtividade. Fatores psicológicos, (autoestima, participação, sensação de segurança social e pessoal) que são relacionadas diretamente com o ambiente de trabalho, observando que esses fatores são mais importantes para a produtividade do que os fatores fisiológicos (alimentação, moradia, conforto, descanso), fatores estes relacionados diretamente à remuneração do trabalhador. (CHIAVENATO, 1979)

Para Lobo e Silva (2014), produtividade é a capacidade de produzir, partindo-se de uma quantidade limitada de recursos. A produtividade pode ser medida em relação aos índices parciais, índices globais e produtividade total. Os índices parciais levam em consideração apenas um insumo, como mão-de-obra, energia, capital ou matéria-prima. Índices globais denominam dois ou mais insumos na equação, como a mão-de-obra e a matéria-prima. A medida de produtividade total é o cálculo entre a saída total e a soma de todos os índices de entrada.

Muitos fatores podem influenciar as medidas de desempenho: máquinas, qualidade dos produtos, qualificação dos colaboradores, capacidade de flexibilidade da empresa, sustentabilidade, entre outros.

As empresas definem suas metas e objetivos, e posteriormente são realizados indicadores de produtividade que ajudam a medir o desempenho da empresa, processos, equipes e até mesmo um colaborador específico. Com um correto sistema de indicadores de produtividade é possível identificar áreas problemáticas que requerem atenção de imediato, necessidades de mudanças, melhorias e correções de problemas, entre outros. (FERREIRA, 2021)

Ferreira (2021) declara que os indicadores de produtividade são influenciados por outros indicados, os gestores precisam saber definir de forma apropriada e

priorizada os indicadores relacionados. Como exemplo, o indicador de satisfação dos trabalhadores, é um indicador que antecipa ou complementa as informações dos indicadores de produtividade. Definir os indicadores-chaves não é uma tarefa fácil, a falta de informação pode impactar as decisões da organização, mas o excesso de informação pode burocratizar demais as atividades, ou seja, é preciso controlar somente o necessário.

Uma recomendação é definir as metas da organização e associar aos indicadores. Buscando criar condições mais favoráveis aos indicadores, a meta deve ser mensurável, específica, atingível e relevante.

Neto *et. al* (2017) declaram que o processo de crescimento econômico de um país está diretamente relacionado ao crescimento do seu nível de produtividade. O Brasil apresentou bons resultados de desempenho de produtividade até 1980, onde seus resultados chegaram a quase 40% do valor norte-americano. Após esse período, ocorreu uma desaceleração no crescimento da produtividade do Brasil, onde 36 anos depois, em 2016, o nível apresentado foi apenas 24% superior ao nível de 1980; um resultado médio de crescimento de 0,6% ao ano.

Para Neto *et. al* (2017), embora o nível de crescimento da produtividade desacelerou em escala global, após 1980 o Brasil apresentou clara tendência de queda, de forma geral, o desempenho do Brasil pode ser comparável aos dos países da América Latina. Sabendo-se disso, para manter bons resultados, conclui-se que o crescimento da produtividade deve ser constante, buscando mantê-la em alta pelo máximo período. Existe um nítido espaço para melhorias da produtividade, principalmente para os países da América Latina, que podem implantar técnicas e controles produtivos que já são utilizadas nas organizações mais desenvolvidas, sem a necessidade da criação de algo inédito.

Como apresentado, a produtividade está relacionada a diversos fatores e tomadas de decisões, se antes o acesso às informações globais era desejável, hoje é obrigatório. A integração mundial é uma marca da era digital e as organizações devem utilizá-la a seu favor.

2.2 Novas tecnologias

Atualmente, vivenciamos a quarta revolução industrial, também conhecida como “Indústria 4.0”, que se baseia no desenvolvimento da conectividade e pelo processamento de dados. A informação é a matéria-prima mais importante desse novo modelo, e a inovação é decorrente pela forma como processamos os dados. A

transformação é presenciada no dia a dia: equipamentos e sensores inteligentes de baixo custo, popularização dos smartphones, processamento em nuvem e a internet das coisas.

Para Sacomano *et. al* (2018), a base existente de automação e uma visão de negócio voltado à transformação digital fez nascer o conceito de Indústria 4.0. Na prática, em uma planta operando com Indústria 4.0, os clientes realizam os pedidos online, onde são processados e programados automaticamente, o sistema gera a lista de materiais necessários para a produção e aloca o pedido na linha de produção. O funcionamento da linha de produção pode ser acionado e controlado remotamente, ao mesmo tempo que passam informações sobre o processamento do pedido em tempo real para uma central, que transmite essa informação para as outras informações, chamamos isso de comunicação máquina a máquina. Caso há problemas na linha, o próprio sistema é capaz de comunicar o setor de manutenção interna.

Os dados gerados pelo processo são armazenados em servidores que podem estar em locais diferentes, chamados de computador em nuvem. O objetivo dessa armazenagem é para facilitar o acesso remoto, sendo possível acessar os dados de qualquer lugar do planeta em que haja internet. Todos esses dados do processo industrial quanto os dados do cliente, são muito densos de informação. Essa quantidade enorme de informação é chamada de *big data*, que, analisada por *software*, geram otimizações e melhorias para a organização. (SACOMANO *et. al*, 2018)

O conceito do sistema de produção da Indústria 4.0 pode ser aplicado em outros setores fora da indústria, como na agricultura, em que máquinas colheitadeiras são dirigidas por GPS, ao mesmo tempo que colhem, gera e analisa uma sequência de dados e sugere melhorias.

O futuro depende do reconhecimento da importância de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. O crescimento econômico e o nível de produtividade de um país estão fortemente relacionados ao desenvolvimento de novos produtos e processos, que dependem de conhecimento e investimento para o progresso tecnológico.

O relatório de 2021 da UNESCO apresenta que cerca de 80% dos países investem menos de 1% do PIB em pesquisa e desenvolvimento, o Brasil investe em média 1,3% do PIB em inovação, enquanto a Coreia do Sul investe cerca de 3,6% do

PIB em inovação. Para Negri (2020), o Brasil precisa investir pelo menos 2% do PIB em pesquisa e desenvolvimento para conseguir acompanhar os países mais desenvolvidos e crescer de forma mais expressiva, buscando tornar-se uma economia competitiva.

Acompanhando os dados da Folha de São Paulo (2021), para desenvolver novas tecnologias e inovação é de pessoas capacitadas e com talento. O Brasil ocupa o 75º lugar em ranking de competitividade para atrair e desenvolver talentos. Existem vagas de empregos que não são preenchidas por não encontrar candidatos qualificados, empresas buscam funcionários já capacitados, que possuam todos os pré-requisitos necessários para a ocupação do cargo, às vezes, no entanto, uma das soluções para esse problema seria o investimento na capacitação de seus funcionários, assim seus profissionais desenvolvem aptidões teóricas e técnicas para ocuparem cargos mais desejados.

Mattos e Guimarães (2012) declaram que alguns autores consideram a tecnologia como uma ciência aplicada, mas para ele, a tecnologia é um conjunto organizado de todos os conhecimentos, algumas invenções não necessitam de conhecimento específico, como a readaptação de algo já existente em uma nova área, atraindo um sucesso nenhuma vez esperado.

No momento presente, a tecnologia depende gradativamente mais dos conhecimentos específicos. Estudos em áreas específicas são realizados ativamente, buscando novas perspectivas e oportunidades para aplicação de melhorias.

A partir da Revolução industrial no final do século XVIII, o valor da tecnologia não foi mais deixado de lado. Evidentemente, os benefícios e estratégias provenientes dessa mercadoria foram mostrados ao mundo. A corrida pela busca de novas tecnologias foi evidente, a utilização do conhecimento e a ciência aplicada foi intensificada nesse período. Mas só por volta de 1880, Thomas Alva Edison torna clara a função da pesquisa e do desenvolvimento no processo de desenvolvimento de tecnologia. A matéria-prima para o desenvolvimento de novas tecnologias são conhecimentos e ideias, o mundo digital nos disponibiliza um enorme conhecimento mundial livremente acessível.

A partir do século XX, a inovação tornou-se a principal ferramenta para empresas e governos alcançarem seus lucros e ordem na economia. Inovação pode ser a criação de um novo produto ou processo melhor, mas também pode ser a simples substituição de um material mais eficiente por outro, em um produto já

existente, ou um método melhor de gerenciar, comercializar, distribuir ou executar um produto ou negócio. (MATTOS E GUIMARÃES, 2012)

As empresas que inovam tendem a serem mais competitivas, qualificam mais seus funcionários e pagam melhores salários. Muitas organizações assemelham inovação com grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento em busca de um sucesso inesperado, um novo produto no mercado, com elevados retornos. A ironia é que existem inovações mais fáceis e rápidas, com o qual as empresas poderiam alcançar lucros, não podemos restringir a inovação a transformações radicais, inovar é gerar valor para o negócio, seja por introduzir novidades, renovar ou criar novo produto ou processo. Em geral, o lançamento de um novo produto ou serviço promissor com elevados retornos no mercado acontecem uma ou duas vezes na vida de uma empresa.

Para Mattos e Guimarães (2012) a tecnologia é dividida em três áreas primárias: tecnologia de produto, desenvolvida por pesquisadores, alinhados com as necessidades de seus clientes, apresentam novas ideias e maneiras de construir um novo produto ou serviço; tecnologia de processos, que são as máquinas, dispositivos e equipamentos desenvolvidos pelos quais as organizações utilizam para executar as tarefas; tecnologia de informação e comunicação, cuja a internet potencializou o uso, pode ser definida como um conjunto de tecnologias integradas para realizarem um objetivo, sua apresentação mais visível foi a automação de postos de trabalho.

A tecnologia da informação revolucionou o mercado empresarial, processos produtivos são cada vez mais eficientes e autônomos, a indústria conectada com seus clientes e fornecedores, e claro, toda essas comunicações protegidas na circulação de dados. Para que uma empresa possa caminhar em direção ao futuro e a da chamada Quarta Revolução Industrial, é necessário possuir uma infraestrutura robusta e segura de tecnologia de informação.

Dados apresentados por empresas norte-americanas apresentam que empresas que investem em tecnologia da informação possuem um aumento da produtividade diretamente proporcional ao valor investido. (MATTOS E GUIMARÃES, 2012)

2.3 Automação industrial

Para Lamb (2015), o termo automação é definido pelo uso de comandos lógicos programáveis e equipamentos mecanizados para substituir, controlar e executar atividades manuais, assim como, tomadas de decisão e comandos de seres humanos.

A automação está presente no dia a dia das pessoas, desde aplicações mais simples, como apertar o botão de um elevador; o motor do elevador é acionado por meio de controladores e é encaminhado para o seu andar com uma velocidade pré-estabelecida; até aplicações mais complexas, como em uma estação de metrô, onde a maior parte do funcionamento é automatizada, desde abrir e fechar as portas, até acelerar e frear nas estações.

Segundo Rodrigues (2016), sistema de produção é a integração de mais de um posto de trabalho, manual ou automático, buscando um sucesso colaborativo para o processo. Na indústria, alguns componentes do sistema de produção podem ser automatizados, enquanto outros devem permanecer funcionando de forma manual.

Mesmo com a presença de máquinas nos processos industriais, muitos processos dependem da ação do ser humano para controlar e comandar a máquina para executar a tarefa. No século XX, surgem os primeiros controles elétricos, mais dinâmicos que os controles mecânicos, proporcionando mais autonomia para as máquinas, isto é, o controle automático do processo. O objetivo do controle é atingir um valor de saída previamente determinado. (RODRIGUES, 2016)

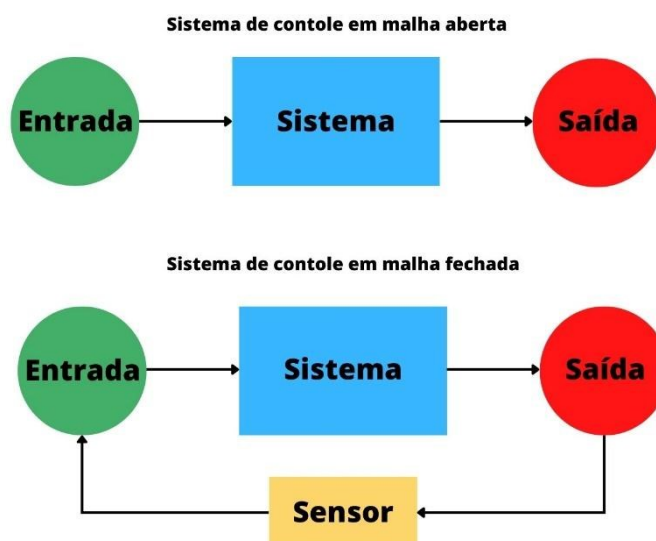
Sistemas de controle são encontrados por toda a indústria, regulando o nível de líquidos em reservatórios, medindo variáveis do processo, determinando sinais de correção e aplicando correções, por exemplo. As duas principais configurações dos sistemas de controle são: malha aberta e malha fechada. Podemos considerar essas configurações como os processos internos desenvolvidos para construir o sistema. (NISE, 2017)

Malha de controle pode ser definida pela combinação de dois ou mais elementos de controle, com o objetivo de controlar uma variável. Um sistema de controle consiste na aplicação de um sinal de controle predeterminado, sem que haja uma realimentação dos resultados ao longo do processo, a ação de controle é independente da saída, pois esses sistemas não possuem sensores externos. (RODRIGUES, 2016)

Diferente da malha aberta, um sistema de controle em malha fechada possui controladores de saída que realimentam o sistema, comparando a variável de saída com a referência, que é a variável de entrada, detectando e corrigindo desvios do comportamento previsto pelo sistema. De maneira geral, um sistema em malha fechada busca otimizar um processo de modo que, em caso de interferências externas, a variável de saída esteja sempre de acordo com a variável de entrada. Os

conceitos básicos do sistema em malha aberta e malha fechada são representados na Figura 1. (RODRIGUES, 2016)

Figura 1: Sistema de controle em malha aberta e malha fechada



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2016).

Rodrigues (2016) classifica o corpo humano como um exemplo de sistema de controle realimentado, onde há uma relação entre a entrada e saída. Uma pessoa dirigindo um automóvel, o motorista deseja manter a velocidade permitida pela via, neste caso, a velocidade permitida pode ser considerada a entrada. A velocidade indicada no velocímetro é a saída. O motorista controla esta saída medindo constantemente com os olhos e o cérebro, corrigindo-a com os pés, acelerando ou freando.

A relação de entrada e saída é denominada função de transferência de um sistema, podem ser descritas por equações diferenciais lineares invariantes no tempo.

Existem vários tipos de sistemas, mas todos possuem uma característica em comum, processar sinais de entrada e emitir sinais de saída. No desenvolvimento de um sistema, o primeiro desafio é construir um diagrama que o represente, já que cada sistema pode ser representado por diagramas equivalentes. O segundo desafio é reduzir o diagrama da forma mais simples possível, ou seja, um diagrama de blocos. (RODRIGUES, 2016)

Muitos sistemas são formados por subsistemas múltiplos. No diagrama de blocos, um subsistema é representado por um bloco com uma entrada, uma saída e uma função de transferência. Ao conectarmos subsistemas, os elementos junções de

soma e pontos de ramificação são adicionados ao diagrama de blocos. No diagrama de blocos, cada sinal de entrada pode ser direcionado para um ou mais blocos, assim como, os sinais de saída. (NISE, 2017)

Para Rodrigues (2016) é possível dividir as indústrias e seus processos em duas categorias: indústrias de processos e indústrias de produção discreta. As indústrias de processos se caracterizam por possuírem processos onde uma parte da produção é indissociável das demais, como exemplo, a mistura de unidades químicas. Enquanto as indústrias de produção discreta caracterizam-se por produzirem peças e produtos, como as empresas montadoras de automóveis.

Os níveis de automação nas duas indústrias são diferentes, diretamente por se trata de processos e máquinas diferentes. Nas indústrias de processos, o controle é contínuo, os atuadores e sensores são utilizados para processamento químico, térmico ou pressão. Já, nas indústrias de produção discreta, os controles estão mais relacionados as operações mecânicas das máquinas. (RODRIGUES, 2016)

Na variedade de execuções da automação, os elementos fundamentais para sua realização física são os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), que são computadores programáveis, capazes de executarem funções específicas e responsáveis pelo controle de todo o processo. Apesar de ser considerado um computador, não devemos confundir com os desktops e notebooks de uso geral, o CLP possui um CPU de processamento e memória com uma capacidade menor do que os computadores convencionais, suas funcionalidades são para aplicações específicas. (DORF E BISHOP, 2013).

A lógica básica de automação é representada por estados digitais, utilizando o número 0 para desligado e 1 para ligado. Muitos projetos são representados apenas com essa lógica básica, mas dependendo do projeto não é possível descrever o estado do dispositivo apenas como ligado ou desligado. Para esse caso, uma representação analógica é utilizada, podendo medir velocidade, posição ou outra característica. (LAMB, 2015)

Os sistemas normalmente utilizados no chão de fábrica são os IHMs (Interface Homem Máquina), localizados próximos à linha de produção, apresentam displays, que transformam os sinais recebidos pelo CLP para informações de fácil entendimento, como gráficos e os valores das variáveis dos processos. Existem IHMs que possuem displays com chaves digitais, onde o operador pode mudar os parâmetros predefinidos dos processos. (MORAES E CASTRUCCI, 2010)

Antigamente a melhor integração do homem com o processo industrial era através de sinaleiros e alarmes de segurança, identificando um problema ainda não definido, na linha de produção. Atualmente, um sistema IHM moderno é capaz de coletar e projetar os dados vindo do CLP, tomar uma decisão com base na situação real do processo e realizar uma correção através do caminho contrário, acionando uma chave digital no IHM, levando informações para que o CLP altere um aspecto do sistema.

Para Quintino *et. al* (2019), com a implementação da automação no setor industrial ocorre uma descentralização do controle dos processos e a produção passa a ser muito mais flexível, resultando em produtos mais personalizados, com custos próximos aos de produção em massa. A oferta de produtos no mercado está cada vez maior, portanto, para que as empresas se mantenham competitivas é essencial o investimento em estratégias que resultam na oferta de produtos e serviços de maneira inovadora.

No Brasil, a evolução da automação e utilização de robôs nas indústrias ainda é muito baixa, o setor industrial precisa entender a necessidade do investimento em automação e robôs para aumentar a competitividade do mercado brasileiro. Para Vasconcelos e Bôas (2019), a fragilidade brasileira fica mais clara quando observamos o estoque de robôs no Brasil, praticamente metade desses robôs estão concentrados no setor automobilístico, enquanto os outros setores ainda não evoluíram suas tecnologias a fim de alcançarem os benefícios da indústria 4.0.

Moraes e Castrucci (2010) classificam a automação em três níveis de complexidade: com menor complexidade estão os microprocessadores instalados em equipamentos de uso geral, que são produzidos em massa, como, os celulares, eletrodomésticos e automóveis; entre os de média complexidade, podem realizar-se com o emprego dos Controladores Lógicos Programáveis, tais como manufaturas, processos térmicos e gerenciadores de energia; há também os de maior complexidade, que envolvem vários tipos de computadores com diferentes capacidades, utilizados para grandes sistemas, por exemplo, o sistema de controle dos metrô e dos aeroportos.

O trabalho que será apresentado pode ser classificado como média complexidade.

3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Quanto à natureza da pesquisa, foi de abordagem Qualitativa, pois foi mensurado o desempenho da performance da implantação de automação no sistema hidráulico de uma moenda de cana-de-açúcar. De acordo com Prodanov e Ernani (2013, p.70), “A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Esta não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas.”

Quanto aos objetivos, foi pesquisa Descritiva, pois foi feito um levantamento de dados, classificação e análise sobre a eficiência da aplicabilidade da automação de um sistema hidráulico. De acordo com Prodanov e Ernani (2013, p. 52), a pesquisa descritiva é “quando o pesquisador apenas registra e descreve os fatos observados sem interferir neles. Visa a descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis.”

Quanto ao método da pesquisa foi o Estudo de Caso, porque foi feita uma descrição analítica da implantação da automação em um processo de moagem de cana, a fim de evidenciar a eficiência da ferramenta utilizada. De acordo com Yin (2001) Apud Prodanov e Ernani (2013, p.60) o Estudo de Caso é “quando envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento.”

Quanto às etapas metodológicas, esta pesquisa foi dividida em 3 etapas: na primeira etapa foi feito um referencial teórico sobre o tema abordado. Na segunda etapa foi feito a apresentação do estudo de caso. Na terceira etapa foi feita uma discussão sobre a automação aplicada no setor sucroalcooleiro.

4. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

4.1 Empresa

Criada para atender uma demanda crescente do setor sucroenergético, a empresa localizada no norte do Paraná, nasceu empreendedora, voltada para projetos, serviços e vendas de peças na área de automação. No início, o principal serviço prestado era a venda de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, em especial, para as usinas de cana-de-açúcar.

Tendo em vista na especialização do mercado sucroalcooleiro, a empresa oferece manutenções corretivas em campo e contratos de manutenções preventivas durante o período entressafra.

Após alguns anos, prestando horas de manutenções para o setor sucroalcooleiro, foram identificados pontos e equipamentos críticos no processo de moagem da cana-de-açúcar, sendo assim, surge uma oportunidade para a empresa de criação de soluções e melhorias através da aplicação de automação no processo de moagem de seus clientes.

4.2 Moenda

A produção de açúcar e etanol são provenientes principalmente da cana-de-açúcar. De forma geral, o processo de fabricação é dividido nas seguintes seções: recepção, preparo, moagem, tratamento do caldo, destilaria e fábrica de açúcar.

Constituída basicamente de fibra e caldo, o que interessa para a cadeia produtiva da cana-de-açúcar é o açúcar contido na matéria prima, que se encontra dissolvido no caldo, portanto, o objetivo principal é extrair o máximo de caldo da cana. A extração do caldo ocorre por duas diferentes técnicas: a utilização de moendas, ou através de um difusor de cana; sendo as moendas, a principal técnica utilizada no Brasil, este processo é o mais importante da indústria sucroenergética, já que através do esmagamento da cana é possível retirar toda a matéria-prima responsável pela produção de açúcar, etanol e bioenergia. A moenda é considerada o coração da indústria e deve ser tratada como tal no momento de monitoramento e manutenção.

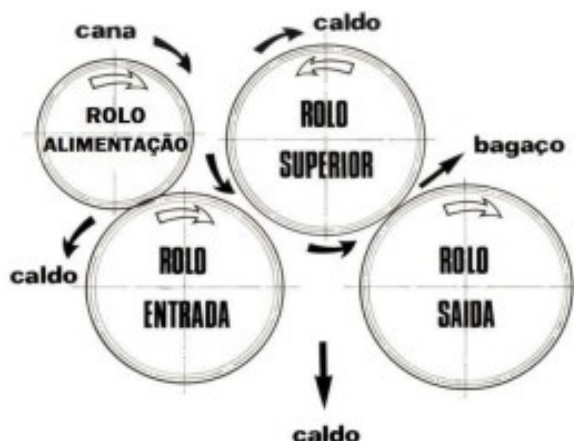
Figura 2: Alinhamento dos ternos na moenda

Fonte: Laser Mec (2022).

As moendas são formadas por quatro a sete ternos em série, que possuem a função de forçar a cana a passar entre os rolos de maneira que separe o caldo contido no bagaço. A Figura 2 representa a imagem de uma moenda formada por quatro ternos, onde o processo de extração do caldo da cana-de-açúcar ocorre por pressão mecânica. Cada terno de moenda é estruturado por quatro rolos principais denominados: rolo de entrada, rolo de pressão, rolo superior e rolo de saída.

A principal função dos rolos de entrada e saída é direcionar a cana para o processo em série, são localizados na parte inferior do terno. O rolo de pressão ou alimentação, localiza-se na parte superior do terno, acima do rolo de entrada, tem como função compactar a cana de forma que otimize a extração e a alimentação do terno. O rolo superior tem grande importância no terno de moenda, pois é com ele que o bagaço tem um maior contato e, conseqüentemente, maior extração de caldo, é o único dos rolos que gira em sentido anti-horário.

Figura 3: Modelo de posicionamento dos rolos



Fonte: Lemos e Tancredo (2010).

O rolo superior possui guias para o auxílio de sua movimentação, essa oscilação é de suma importância no processo de moagem, pois, através do monitoramento do volume de cana que está passando pelo colchão de cana, a pressão do rolo pode ser alterada pelo operador, aumentando a extração e evitando sobrecargas nos equipamentos.

4.3 Problema

A finalidade da moagem é extrair o máximo de caldo de cana. O ideal seria extrair o caldo todo. Se isso fosse possível, a abertura de saída entre o rolo superior e o rolo inferior permitiria passar somente a fibra, o que não é possível, visto que a cana consiste de caldo e fibra.

Na prática, não é possível remover todo o caldo. Isto é devido ao fato que uma parte do caldo não consegue drenar em tempo, e acaba passando junto com o bagaço. Portanto deve-se prever um espaço de saída da moenda para acomodar esse caldo. Por experiência, as usinas sabem a quantidade de caldo que devem esperar no bagaço, após cada terno, e por consequência, a abertura de saída necessária para passar esse volume.

O rolo superior se movimenta aproximando-se ou afastando-se do rolo inferior, de acordo com a quantidade de cana que entra no sistema. Esse movimento é chamado de flutuação e não pode dar margem a grandes amplitudes, pois se ele subir muito o esmagamento da cana será fraco; se for muito baixo forçará os rolos desnecessariamente, desgastando os equipamentos e podendo ocasionar paradas por embuchamento.

Além disso, quando a moenda começa a trabalhar, de acordo com a quantidade de cana e a força do bagaço, o rolo superior começa a flutuar para cima e para baixo. Essas forças podem não serem iguais ao longo de todo o rolo, deixando, assim, o rolo desnivelado. Quando um rolo trabalha desnivelado, prejudica a eficiência na moagem e na proteção mecânica de todo o conjunto.

O monitoramento do desnivelamento do rolo superior é essencial. A correção é realizada pelo operador, manejando as válvulas para carregar e descarregar os cabeçotes e acumuladores (garrafas) hidráulicos. Esse trabalho é muito perigoso, pois envolvem pressões muito altas, que chegam a passar de 5.000 psi.

Embora a Norma Regulamentadora n.º 13 do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil exija uma válvula de segurança em todo dispositivo gerador de pressão, infelizmente, algumas usinas não se modernizaram e possuem moendas em processo sem a presença de válvulas de segurança.

Depois das usinas relatarem vários acidentes e os prestadores de serviços da empresa presenciarem outros incidentes relacionados ao manejo das válvulas de carga e descarga, que, por muita sorte, não se tornaram gravíssimos, foi interesse da empresa estudar como seria possível minimizar esse risco.

4.4 Desenvolvimento do projeto

A partir daí, a empresa passou a estudar projetos e equipamentos que poderiam dar mais segurança àquela operação. Conforme o projeto Alfa foi progredindo, foram envolvidos amigos consultores, gerentes industriais e técnicos especialista em desenvolvimento, buscando uma forma ideal de operação de um sistema hidráulico de uma moenda.

O projeto carregou, como ponto de partida, a segurança dos operadores, buscando possíveis soluções, para a substituição da função manual do manejo das válvulas de carga e descarga, por um processo automático. Com o sistema em automático, não há a necessidade de o operador ficar próximo dos blocos e garrafas hidráulicas, evitando possíveis acidentes.

Um modelo inicial foi tomando forma, agregando valores e detalhes, transformando-se, aos poucos, num sistema automático para o controle de flutuação dos rolos superiores de moendas, que tinha como referências principais a busca da segurança, a redução dos custos de manutenção, a redução do consumo de energia, o controle da supervisão a distância e a melhoraria da qualidade de extração.

Após o desenvolvimento de vários projetos que atenderiam, de forma eficiente, todos os quesitos, mas não se mostravam economicamente viáveis, em 2005, o projeto alcançou um modelo economicamente viável, pronto para a realização de testes de operação.

O desafio foi encontrar uma usina que teria a coragem de testar o projeto em um dos ternos de sua moenda. No final de 2005, após a realização de uma manutenção externa, em uma usina do interior de São Paulo, o diretor da empresa acompanhou a manutenção e aproveitou o momento para expor os detalhes do projeto ao engenheiro mecânico, responsável pela moenda, e propôs uma demonstração em um dos seus ternos, para a safra de 2006. Ainda duvidoso, sustentado apenas pelos resultados teóricos, o responsável resolveu aceitar o desafio.

Os testes do sistema foram iniciados na safra de 2006, em apenas um terno. O acompanhamento foi realizado em tempo real, vários problemas foram resolvidos durante o percurso. Após três meses de safra, os resultados já eram visíveis, o rolo superior do primeiro terno já não precisava mais ser nivelado manualmente e o consumo de lubrificante diminuiu, conquistando a segurança necessária para instalar o sistema nos outros quatro ternos.

Hoje, o projeto Alfa está operando em 78 usinas de açúcar e álcool no Brasil.

4.5 Sistema Alfa

O Sistema Alfa tem como objetivo controlar automaticamente o nivelamento e a pressão de trabalho do rolo superior dos ternos de moagem em destilarias e usinas de açúcar e álcool.

Os seus principais equipamentos e suas respectivas funções são:

- Unidade Hidráulica de Acionamento

Figura 4: Unidade Hidráulica

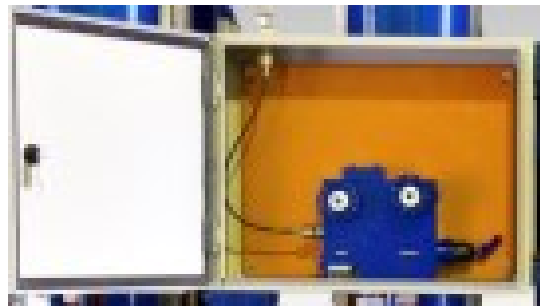


Fonte: A autoria própria (2022).

Responsável pela transformação da energia elétrica da rede em energia hidráulica. O movimento giratório e o torque do motor elétrico, através de uma bomba de deslocamento, são transformados em fluxo volumétrico e pressão.

- Painéis Hidráulicos

Figura 5: Painel Hidráulico



Fonte: A autoria própria (2022).

Responsáveis pelo comando automático do nivelamento do rolo superior através do monitoramento eletrônico das variações de pressão e altura dos cabeçotes hidráulicos dos ternos da moenda.

- Painel de Comando

Figura 6: Painel de Comando



Fonte: Autoria própria (2022).

Local onde estão instalados a remota, a fonte de alimentação do sistema e o comando dos motores. Aqui fica a remota que recebe as medições feitas pelos sensores dos blocos e moenda, as compara com as regulagens de pressão e altura pré-estabelecidas através do supervisor e comanda os ajustes necessários para manter o rolo superior da moenda nivelado dentro de uma faixa de tolerância (indicado pelo consultor da moenda) e trabalhando com a pressão indicada conforme projeto da moenda.

4.6 Testes

Este trabalho visa avaliar e determinar o trabalho de quatro ternos de uma moenda, utilizando o sistema Alfa, comparando com a mesma moenda sem o sistema.

Foram coletados dados de extração, temperatura dos mancais da moenda, rotação, deslocamento do rolo superior, e corrente dos motores de acionamento da moenda.

Os dados foram coletados em campo e via supervisor, acompanhamento sistemático em campo e na sala de controle para termos os mesmos números para um comparativo real em manual tanto quanto no automático.

O primeiro teste foi sem o sistema Alfa, para isso foram calibradas as pressões hidráulicas de acordo com os valores estabelecidos pelo supervisor da moenda, e após os testes em manual, o sistema em automático foi ligado para a segunda fase da coleta de amostras. Também em diferentes capacidades de moagem, 50%, 60% e 70%

- Consumo de Energia

Figura 7: Comparativo do consumo de energia

Médias de Corrente em 50% Rotação				
1ª Amostra	2ª Amostra	3ª Amostra	Média Geral	
164,08	167,85	164,2	165,38	Manual
163,25	164,9	161,45	163,2	Automático
Diferença (A) :			2,18 (A)	1,32%

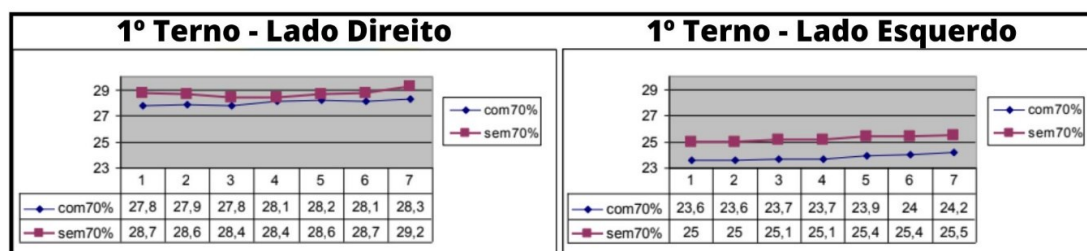
Fonte: Autoria própria (2022).

Em função de algumas paradas, foram analisadas seis amostras de corrente a 50% de rotação, apresentando uma melhora de 1,32% trabalhando com o sistema em automático, além de ter uma redução nos picos de corrente, que prejudicam todo o acionamento.

- Temperatura dos Mancais

Observou-se que a moenda com rotação de 50, 60 e 70%, com o sistema Alfa, apresentou uma redução nas temperaturas dos mancais em comparação com a mesma rotação sem o sistema. Na média as temperaturas dos mancais da moenda diminuiram 1,25°C trabalhando com o Alfa, sendo que a redução de temperatura mais expressiva foi com a rotação em 70%.

Figura 8: Comparativo da temperatura dos mancais



Fonte: Autoria própria (2022).

Realizando um comparativo de temperatura por rolos, pode-se concluir que os mancais obtiveram os seguintes resultados:

Figura 9: Redução da temperatura dos mancais

Média Rolo de Entrada	Média Rolo Superior	Média Rolo de Saída
0,04 °C	2,67 °C	1,05 °C

Fonte: Autoria própria (2022).

- Consumo de Lubrificante dos Mancais

Foram analisados dois dias isolados com o sistema Alfa e dois dias de trabalho no sistema manual.

Figura 10: Consumo de lubrificante dos mancais

Manual			Automático		
	Qtd. De Lubrificante	Qtd. De Cana Moída		Qtd. De Lubrificante	Qtd. De Cana Moída
Amostra 1	80 litros	6367,02 ton	Amostra 1	55 litros	11236,52 ton
Amostra 2	65 litros	4736,2 ton	Amostra 2	55 litros	12576,32 ton
Total	145 litros	11103,22 ton	Total	110 litros	23812,84 ton
Média de consumo (lubrificante/ton de cana)		13,05 ml/ton	Média de consumo (lubrificante/ton de cana)		4,61 ml/ton

Fonte: Aatoria própria (2022).

Como a moagem entre os dois períodos foram muito distintas, e sabendo-se que o consumo de lubrificante não depende apenas da quantidade de cana moída, para comparação, considerar o mesmo volume de cana moída nos dois períodos, o que resulta em um consumo de lubrificante com o sistema em manual de 6,08ml/ton.

Portanto com o sistema Alfa, o consumo de lubrificante diminui 24,18% comparado com o sistema manual. Considerando um consumo de 4000 litros de lubrificante na safra, o resultado representa uma economia de R\$ 14.508,00 por safra, somente com lubrificante, tendo como base de cálculo R\$ 15,00/ litro.

- Comparativo de Oscilação

Foram coletadas 60 amostras da oscilação do rolo superior nas rotações de 50, 60 e 70% com e sem o sistema Alfa.

A Figura 11 apresenta a tabela completa com a porcentagem de tempo em que rolo trabalhou nivelado e desnivelado nas rotações de 50, 60 e 70%.

Figura 11: Oscilação dos rolos superiores

Oscilação dos Rolos Superiores - Desnívelamento acima de 4 mm				
Rotação da Moenda	% Tempo Desnívelado	% Tempo Nivelado	% Tempo Desnívelado	% Tempo Nivelado
	Manual		Automático	
50%	43,34	56,66	1,67	98,33
60%	93,34	6,66	3,34	96,66
70%	38,89	30	0	100
Média	68,89	31,11	1,67	98,33

Fonte: Aatoria própria 2022).

A moenda trabalhando com o modelo Alfa, apresentou sua oscilação mais estável, melhorando todo mecanismo de acionamento.

- Extração

Foram coletadas um total de 18 amostras, separadas em manual e automático (Alfa). Também em diferentes capacidades de moagem, 50, 60 e 70%, desta forma foram 3 repetições para cada tratamento.

A Figura 12 apresenta um comparativo da extração do caldo de cada tratamento, utilizando o sistema manual e o sistema Alfa.

Figura 12: Comparativo da extração do caldo de cana

Rotação da Moenda	Extração		
	Manual	Automático	Diferença
50%	95,3916%	96,4548%	1,06%
60%	95,9172%	96,0325%	0,12%
70%	95,7960%	96,0369%	0,24%
Média	95,7016%	96,1837%	0,48%

Fonte: Autoria própria (2022).

Observa-se que com capacidade de moagem de 60% ocorreu a menor e com 50% a maior diferença na extração entre o sistema manual e com o modelo Alfa, com uma diferença média total de 0,48%.

A Figura 13 apresenta um resumo dos resultados obtidos com os testes.

Figura 13: Resultados do sistema Alfa

Comparativo dos resultados	
Redução no consumo de corrente	1,32%
Redução na temperatura dos mancais	1,25 °C
Redução no consumo de lubrificantes dos mancais	24,18%
Tempo do rolo superior nivelado	98,66%
Aumento na extração	0,48%

Fonte: Autoria própria (2022).

5. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Uma usina de cana-de-açúcar chega a moer 2 milhões de toneladas de cana por safra, levando em consideração apenas o resultado do aumento na extração de 0,48% utilizando o sistema Alfa, o aumento dos ganhos chega a 6 milhões de reais, por safra.

A Figura 13 apresenta os demais resultados das melhorias atingidas pelo projeto Alfa, tendo como referência, uma safra de 250 dias, com uma moagem de 2 milhões de toneladas.

Figura 14: Monetização do projeto Alfa

	Moagem anual (toneladas)	Extração média	Melhora esperada na extração	Ganhos em reais (por ano) - Aumento produção Açúcar e Etanol
Melhora na extração:	2.000.000,00	96%	0,480%	R\$ 6.483.535,14
	Potência média consumida na moenda (em kW)	Valor do MWh ³	Redução percentual esperada no consumo de energia	Ganhos em reais (por ano)
Redução no consumo de energia:	7500	R\$ 160,00	1,32%	R\$ 95.040,00
	Consumo de lubrificante por tolenada de cana (ml/ton de cana moída)	Valor do lubrificante (litro)	Redução percentual esperada no consumo de lubrificante	Ganhos em reais (por ano)
Redução no consumo de lubrificante	6	R\$ 30,00	24,18%	R\$ 87.048,00

Fonte: Autoria própria (2022).

O valor de investimento do sistema Alfa é de 700 mil reais. Por meio da Figura 14, pode-se calcular um prazo de 25 dias para o retorno do investimento, um indicador muito atrativo para esse mercado.

Além de tudo, nenhum sistema, por mais inovador que seja, é viável sem que disponha de uma boa margem de segurança para os equipamentos e, principalmente, para seus operadores. O sistema Alfa, além de obedecer a todas as normas de segurança, evita que sejam ultrapassados os limites de pressões suportáveis, as operações de carga e descarga podem ser feitas remotamente, evitando que os operadores se exponham a riscos de operar manualmente válvulas com alta pressão.

Uma vez que o sistema Alfa busca constantemente o equilíbrio das forças que agem sobre o rolo superior para mantê-lo nivelado, a ação gera redução do desgaste do equipamento e, conseqüentemente, uma redução de custos de manutenção.

A maior vantagem secundária obtida com a utilização do sistema Alfa é a cultural, a quebra do paradigma de que a moenda é um equipamento rústico, bruto e operado por funcionários de baixa qualificação. A automação desse equipamento trouxe informações e treinamentos corretos, hábitos simples, como o cuidado com o óleo do sistema e a atenção com os equipamentos que estão em funcionamento.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como principal objetivo apresentar um estudo de caso de uma aplicação prática da utilização de um sistema de automação em uma moenda de usina de cana-de-açúcar. Sabendo-se das preocupações com os riscos de segurança e da dificuldade competitiva do mercado sucroalcooleiro, os dados apresentam-se como munição para definição de planos de investimentos para as usinas que ainda não possuem seus processos de moagem automatizados.

A partir do estudo de uma moenda manual, foi possível identificar as causas de paradas não programadas, manutenções corretivas, desperdícios de lubrificantes, desgastes do equipamento e riscos à segurança dos operadores. Também conforme anos de experiências em manutenções de equipamentos para usinas, foi viável a construção e o detalhamento de um sistema de moenda automatizado.

Perante os objetivos propostos, foram comparados os resultados de uma moenda funcionando no modo manual, e outra funcionando no modo automático, o resultado apresentou dados de consumo de energia, variação de temperatura, consumo de lubrificantes, extração do caldo e tempo do rolo superior nivelado.

O método apresentou resultados objetivos e satisfatórios visto que após a realização do cálculo dos ganhos monetários do projeto, constatou-se um período de um mês para alcançar o retorno sobre o investimento. Nesta ótica o presente estudo serve de embasamento futuro para gestores da área modernizarem seus processos e buscarem as oportunidades ofertadas pela utilização da automação, ao invés de permanecerem sem entender as causas das paradas não programadas dos seus equipamentos.

Diante do exposto, é possível concluir que o presente trabalho alcançou todos os objetivos propostos. Constatou-se os benefícios da implementação da automação e a clareza do retorno sobre o investimento, transformando aquele setor em algo novo, diferenciado, ganhando vantagens com relação aos seus concorrentes.

7. REFERÊNCIAS

BOLTON, William. **Instrumentation and control systems**, 2° Ed. Oxford, 2015.

BORNIA, Cezar Antonio. **Análise gerencial de custos**. Aplicação em Empresas modernas. Porto Alegre: Bookman, 2002.

CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Elementos de automação**. 1. ed. São Paulo; Érica, 2014.

CHESBROUGH, H.; VANHAVERBEKE, W.; WEST, J. **Novas fronteiras em inovação aberta**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

CHIAVENATO, Idalberto. **Teoria geral da administração**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1979.

DORF, Richard; BISHOP, Robert. **Sistemas de controle modernos**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

FERREIRA, Leonardo. **Gestão da qualidade e produtividade**. São Paulo: Platos Soluções Educacionais S.A., 2021

FOLHA DE SÃO PAULO. **Brasil ocupa 75º lugar em ranking de competitividade para atrair e desenvolver talentos**. Disponível em: < <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2021/10/brasil-ocupa-75o-lugar-em-ranking-de-competitividade-para-atrair-e-desenvolver-talentos.shtml> > Acesso em: 10.set. 2022.

GUERRINI, F. M.; BELHOT, R. V.; JÚNIOR, W. A. **Planejamento e controle da produção: modelagem e implementação**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

HOBSBAWM, E. J. **A era das revoluções: 1789 – 1848**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014.

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática**. Porto Alegre: AMGH, 2015.

LASER MEC. **Alinhamento e nivelamento de moendas e castelos**. Disponível em:< <https://www.lasermec.com.br/alinhamento-de-moendas-castelos> >. Acesso em: 08.set. 2022.

LEMOS, J. C. M; TANCREDO, M. de O. C. **Uma análise comparativa entre o difusor e a moenda na extração da sacarose**. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade de Franca, Franca, p67, 2010.

LOBO, R. N.; SILVA, D. L. **Planejamento e controle da produção**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisas: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas, elaboração, análise e interpretação de dados**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

MATTOS, J. R. L.; GUIMARÃES, L. de S. **Gestão da tecnologia e inovação**: uma abordagem prática. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, P. D. L. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

NEGRI, J. A. D. **Lições da inovação tecnológica**. Disponível em:< https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/97/a7/97a74ade-c3c6-4fdd-8fd5-ba21229e2d6c/032020_denegri_qtind_12mar20_v17_1.pdf >. Acesso em: 20.set. 2022.

NETO, A. A. D. M. F. et al. **Anatomia da produtividade no Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017

NISE, Norman S. **Engenharia de sistemas de controle**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

PINHEIRO, A. L. D. F. B.; PINHEIRO, A. C. D. F. B.; CRIVELARO, M. **Tecnologias sustentáveis**: impactos ambientais urbanos, medidas de prevenção e controle. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

PORTER, Michael E. **A vantagem competitiva das nações**. 10 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

QUINTINO, L. F. et al. **Indústria 4.0**. Porto Alegre: SAGAH, 2019.

RIBEIRO, Antônio de Lima. **Gestão de treinamento de pessoas**. 1. ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2018.

RODRIGUES, Rodrigo. **Controle e automação da produção**. Porto Alegre: SAGAH, 2016.

RUIZ, João Álvaro. **Metodologia científica**: guia para eficiência nos estudos. 4. ed. São Paulo, 1996.

SACOMANO, J. B. et al. **Indústria 4.0**: conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher, 2018.

VASCONCELOS, G.; BÔAS, B. V. **Brasil perde a corrida da automação industrial**. Disponível em: < <https://valor.globo.com/brasil/noticia/2019/07/29/brasil-perde-a-corrida-da-automacao-industrial.ghtml> > Acessado em: 20.out. 2022.