

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

ELIANE ANTUNES CAMARGO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO
DE SENSORES DE NÍVEL NOS TANQUES DE MISTURA DE
UMA EMPRESA DE PRODUTOS DE LIMPEZA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2023

ELIANE ANTUNES CAMARGO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO
DE SENSORES DE NÍVEL NOS TANQUES DE MISTURA DE
UMA EMPRESA DE PRODUTOS DE LIMPEZA**

**Economic feasibility analysis of implementing level sensors in the mixing
tanks of a cleaning products company.**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Engenharia Química.

Orientador(a): Prof. Dr(a). Patrícia Hissae Yassue Cordeiro

Coorientador: Prof. Dr. Lucas Bonfim Rocha

LONDRINA

2023



[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.

ELIANE ANTUNES CAMARGO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO
DE SENSORES DE NÍVEL NOS TANQUES DE MISTURA DE
UMA EMPRESA DE PRODUTOS DE LIMPEZA**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Engenharia Química.

Orientador(a): Prof. Dr(a). Patrícia Hissae Yassue Cordeiro

Coorientador: Prof. Dr. Lucas Bonfim Rocha

Data de aprovação: 07 de dezembro de 2023

Patrícia Hissae Yassue Cordeiro

Doutorado em Engenharia Química Universidade Estadual de Maringá

Lucas Bonfim Rocha

Doutorado em Engenharia Química Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Felipi Luiz de Assunção Bezerra

Doutorado em Engenharia Química Universidade Estadual de Campinas

Juliano Cesar Silva

Supervisor de Estágio

LONDRINA

2023

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço a Deus por me guiar ao longo desta jornada.

À minha família, meus pais e minha irmã, por seu apoio inabalável, por acreditarem em mim e por estarem ao meu lado em todos os momentos.

Ao Juliano Cesar Silva, gestor e proprietário da empresa Cleandet, expresso meu sincero agradecimento por disponibilizar as instalações da empresa como objeto de estudo para este trabalho.

Aos meus amigos, colegas e professores da UTFPR, minha gratidão por fazerem parte dessa trajetória acadêmica. Suas contribuições e apoio foram inestimáveis para meu crescimento pessoal e profissional.

Em especial, gostaria de agradecer ao professor Lucas Bonfim Rocha e à professora Patrícia Hissae Yassue Cordeiro. Mesmo diante de seus próprios compromissos e responsabilidades, dedicaram tempo e esforço para me orientar neste trabalho, oferecendo valiosas orientações.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para este projeto, o meu mais profundo agradecimento.

RESUMO

CAMARGO, Eliane Antunes. Análise de viabilidade econômica da implementação de sensores de nível nos tanques de mistura de uma empresa de produtos de limpeza. 68 f. TCC (Curso de Engenharia Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Londrina, 2023.

No cenário atual, o segmento de produtos de limpeza e saneantes está em crescimento, com um aumento expressivo de 9,7% na produção no Brasil, conforme dados da ABIPLA (Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Higiene, Limpeza e Saneantes) para o ano de 2023. Contudo, as microempresas neste setor enfrentam desafios operacionais devido à dependência de processos manuais, destacando a necessidade urgente de avaliar e implementar aprimoramentos por meio do controle e automação de procedimentos. Neste contexto, este estudo propõe uma análise de viabilidade econômica para a implementação de sensores de nível, visando monitorar os tanques de mistura e o processo de envase. A proposta centraliza-se na instalação de sensores de nível do tipo radar em quatro tanques de mistura da indústria, complementados por válvulas de controle, operadas por uma interface homem-máquina. O objetivo principal é gerenciar o nível de água nos tanques e nas embalagens dos produtos, aprimorando a qualidade ao garantir precisão na quantidade de água usada nos tanques e no processo de envase. Isso visa mitigar possíveis problemas de subenvase e superenvase. A avaliação das soluções econômicas da implementação desses sensores de nível revelou um potencial de economia para a empresa, estimado em cerca de R\$ 17.000,00 considerando o valor de venda dos produtos. Com um custo aproximado de R\$ 136.459,20 para a instalação do projeto, prevê-se que o retorno do investimento da empresa ocorra em menos de oito meses. Esta abordagem busca otimizar os processos de produção, elevar a qualidade dos produtos e impulsionar a eficiência operacional por meio da tecnologia de sensoriamento de nível.

Palavras-chave: Produtos de limpeza; sensores de nível; automação; controle;

ABSTRACT

CAMARGO, Eliane Antunes. Economic feasibility analysis of implementing level sensors in the mixing tanks of a cleaning products company. 68 p. TCC (Course of Chemical Engineering) – Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Londrina, 2023.

In the current scenario, the cleaning and sanitizing products sector is experiencing significant growth, with a notable 9.7% increase in production in Brazil, according to data from ABIPLA (Brazilian Association of Hygiene, Cleaning, and Sanitizing Product Industries) for the year 2023. However, micro-enterprises in this sector face operational challenges due to their reliance on manual processes, underscoring the urgent need to assess and implement enhancements through control and procedure automation. In this context, this study proposes an economic feasibility analysis for the implementation of level sensors to monitor mixing tanks and the bottling process. The proposal focuses on installing radar-type level sensors in four industry mixing tanks, supplemented by control valves operated through a human-machine interface. The primary goal is to manage water levels in the tanks and product packaging, enhancing quality by ensuring precision in water quantities used in the tanks and bottling process, thereby mitigating potential underfilling and overfilling issues. The assessment of economic solutions from implementing these level sensors has revealed a potential cost-saving for the company, estimated at around R\$ 17,000, considering the products' selling value. With an approximate installation cost of R\$ 136,459.20 for the project, it is anticipated that the company's return on investment will be less than eight months. This approach aims to optimize production processes, improve product quality, and drive operational efficiency through level sensing technology.

Keywords: Cleaning products; level sensors; automation; control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de tensoativos	15
Figura 2 - Exemplo de formação de complexos hidrossolúveis - quelatos.....	16
Figura 3 - Fluxograma processo de produção.....	18
Figura 4 - Processo de produção; (a) matérias-primas separadas para processo de produção; (b) adição das matérias-primas de forma manual no tanque de mistura	19
Figura 5 - Medidor de água	19
Figura 6 - Processo de pesagem	20
Figura 7 - Processo de envase; (a) galões separados para envase; (b) processo manual de envase.....	21
Figura 8 - Modelo simplificado de um instrumento	22
Figura 9 - Sistema de controle de nível automático	23
Figura 10 - Sistema de controle de nível manual	23
Figura 11 - Controle em malha aberta.....	24
Figura 12 - Visor de nível	26
Figura 13 - Medidor de empuxo	27
Figura 14 - Medição de nível por pressão diferencial.....	28
Figura 15 - Esboço representativo das medidas consideradas para os cálculos de geometria do tanque	32
Figura 16 - Disposição dos tanques na empresa	33
Figura 17 - Tanque de mistura com chicana	33
Figura 18 - Tanque de mistura sem chicana	34
Figura 19 - Tanque cheio até o volume total	35
Figura 20 - Processo de abertura e fechamento da válvula manualmente	35
Figura 21 - Quantificação do volume de água escoado	36
Figura 22 - Fluxograma PID - Tanque de mistura com controlador de nível	37
Figura 23 - Sensor de nível tipo radar modelo LW2120	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Apresentação dos 5W	44
Tabela 2 - Apresentação dos 2H.....	45
Tabela 3 - Dimensões do tanque medidos com uma trena	46
Tabela 4 - Volume das partes internas do tanque.....	46
Tabela 5 - Dimensões do fundo cônico	47
Tabela 6 - Medidas das chicanas no Tanque 1	47
Tabela 7 - Coleta de dados para calibração dos tanques	47
Tabela 8 - Dados coletados - Interx comum (1X20).....	51
Tabela 9 - Dados coletados - Interx concentrado (1X40).....	52
Tabela 10 - Dados coletados - Soluclean comum (SX20).....	52
Tabela 11 - Dados coletados - Soluclean concentrado (SX40).....	53
Tabela 12 - Perdas mensais por produto (Valor de Venda)	53
Tabela 13 - Perdas mensais por produto (Valor de Custo)	53
Tabela 14 - Custo do projeto.....	58
Tabela 15 - 5W2H para estruturação do planejamento do projeto	62

LISTA DE NOMENCLATURAS

ABIPLA – Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Higiene, Limpeza e Saneantes de Uso Doméstico e Profissional

NTA – Ácido nitroacético

ROI – Retorno de investimento

LP – Baixa pressão

HP – Alta pressão

P.E – Ponto de equilíbrio

CLP – Controlador lógico programável

IHM – Interface homem-máquina

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. DETERGENTES E SUAS COMPOSIÇÕES	14
2.1.1. Tensoativos	14
2.1.2. Sequestrantes	15
2.1.3. Agentes Clareadores	16
2.1.4. Álcalis	16
2.1.5. Ácidos	17
2.1.6. Agentes Auxiliares	17
2.2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE DETERGENTES	18
2.2.1. Fluxograma do Processo	18
2.2.2. Processo de Produção	18
2.2.2.1. Medição de Água nos Tanques	19
2.2.2.2. Pesagem	20
2.2.2.3. Envase	20
2.3. CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL	21
2.3.1. Tipos de Controle	23
2.3.1.1. Controle de Malha Aberta	24
2.3.1.2. Controle de Malha Fechada	24
2.4. MEDIÇÃO E CONTROLE DE NÍVEL	24
2.4.1. Principais Desafios da Medição de Nível	25
2.4.2. Tipos de Medidores	25
2.4.2.1. Visores de Nível	26
2.4.2.2. Sensores e Medidores de Empuxo	26
2.4.2.3. Sensores e Medidores por Pressão Diferencial	27
3. METODOLOGIA	30
3.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	30
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.2.1. Cálculo das dimensões dos tanques	31
3.2.2. Calibração dos tanques	32
3.2.3. Modelagem Matemática do sistema	37
3.2.3.1. Equações das Válvulas	37
3.2.3.2. Modelagem matemática do nível do tanque	38

3.2.3.3.	Linearização do nível do tanque	39
3.2.3.4.1.	<i>Linearização em relação a válvula de entrada</i>	<i>39</i>
3.2.3.4.2.	<i>Linearização em relação a válvula de saída.....</i>	<i>41</i>
3.2.4.	Descrição dos produtos utilizados para análise de viabilidade econômica	42
3.3.	ANÁLISE E VIABILIDADE ECONÔMICA.....	43
3.4.	PLANO DE AÇÃO	44
3.4.1.	5W2H.....	44
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1.	DIMENSÕES DOS TANQUES E DAS CHICANAS.....	46
4.2.	CALIBRAÇÃO DOS TANQUES.....	47
4.3.	ANÁLISE E VIABILIDADE ECONÔMICA.....	50
4.3.1.	Levantamento de Dados	50
4.3.2.	Identificação de Custos e Investimentos	54
4.3.2.1.	Escolha dos Equipamentos.....	54
4.3.2.2.	Projeto de Instalação	57
4.3.3.	Projeção de Benefícios	57
4.3.4.	Cálculo de Retorno sobre Investimento (ROI)	57
4.4.	PLANO DE AÇÃO	60
4.4.1.	5W2H.....	61
5.	CONCLUSÃO.....	64
6.	REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a pandemia desencadeou uma mudança significativa nos padrões de higiene e limpeza em escala global, possibilitando observar um aumento substancial na demanda por produtos de limpeza que foi impulsionado pela necessidade de práticas rigorosas de desinfecção e saneamento. No Brasil, essa manifestação não foi exceção, resultando em um crescimento notável de 8,5% no setor de produtos de limpeza em 2020, de acordo com dados da Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Higiene, Limpeza e Saneantes de Uso Doméstico e Profissional (ABIPLA, 2023).

No entanto, em meio a esse cenário favorável, houve um declínio na produção desses produtos em 2022, atribuído pelo diretor-executivo da ABIPLA (Engler, 2023), à redução do poder de compra da população e ao aumento do desemprego. Essa queda na produção foi um desafio enfrentado pelas empresas do setor, apesar da retomada positiva no primeiro semestre de 2023, com um crescimento expressivo de 9,7% na fabricação desses produtos no Brasil, especialmente de itens multiuso, desinfetantes e alvejantes.

As oscilações na produção de produtos de limpeza e saneantes retratam um cenário dinâmico e desafiador para as indústrias, principalmente aquelas voltadas para o setor automotivo, como a Cleandet, microempresa situada na R. Augusto Canezin, 689 – San Fernando, Londrina. Especializada na fabricação destes produtos, a Cleandet aposta na produção de detergentes ácidos e alcalinos, nomeadamente Intercap e Solupan, além de xampus e desinfetantes adaptados para veículo

Um dos principais obstáculos identificados na Cleandet é a ausência de automação em alguns setores, por exemplo, medidores e sensores de nível nos tanques de mistura, impactando diretamente na qualidade final dos produtos e no processo de envase. Atualmente, a avaliação visual realizada pelos colaboradores no monitoramento do nível nos tanques não propõe apenas variações imprecisas, mas também resulta em produções de volumes inadequados e, por vezes, na adição excessiva de água. Estas questões afetam negativamente as propriedades físico-químicas dos produtos e contribuem para o desperdício de produtos durante o envase manual, causando perdas

financeiras, além de afetar a confiança dos consumidores devido a quantidades nas embalagens não serem padronizadas.

Assim, este estudo visa explorar soluções viáveis em termos de medidores e sensores de nível, os quais podem ser integrados ao processo de produção da Cleandet. O objetivo principal deste trabalho é melhorar a qualidade dos produtos e o fluxo produtivo, eliminando a dependência da avaliação visual e redução das perdas decorrentes do excesso de água nos tanques de mistura e no processo de envase. Para viabilizar esta proposta, será realizada uma análise de viabilidade econômica.

Ademais, este trabalho pretende contribuir para a difusão do conhecimento sobre tecnologias de medição e sensoriamento de nível em tanques de mistura, contribuindo não apenas para a Cleandet, mas também outras pequenas e médias empresas do setor. A implementação desses equipamentos não apenas contribuirá para a eficiência operacional da empresa, mas também promoverá a adoção das práticas industriais, alinhando-se às demandas de um mercado voltado para a indústria 4.0.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. DETERGENTES E SUAS COMPOSIÇÕES

Para compreender o processo de fabricação dos produtos de limpeza, é essencial adquirir conhecimento sobre suas formulações, compreendendo a composição dos ingredientes e reconhecendo a importância de cada componente no decorrer do processo.

De acordo com Felipe e Dias (2017), os dois produtos mais produzidos pelas indústrias de saneantes são os sabões e os detergentes. O sabão é um tensoativo natural obtido mediante a reação de saponificação, que envolve a combinação de óleos de origem vegetal (ésteres) com uma solução alcalina contendo hidróxido de sódio ou potássio. Esse processo resulta na formação de sabão e glicerina como produtos. Por outro lado, os detergentes são surfactantes sintéticos fabricados por meio de rotas químicas e podem ser produzidos a partir de diversas matérias-primas derivadas do petróleo (FELIPE; DIAS, 2017).

Conforme Smulders et al. (2002) destacam, os detergentes são formulações altamente complexas que podem incluir mais de 25 ingredientes diversos em sua composição. Esses componentes englobam surfactantes ou tensoativos, sequestrantes ou agentes quelantes, agentes clareadores e aditivos auxiliares. Cada elemento na formulação desempenha uma função específica durante o processo de lavagem, e seus efeitos podem ser sinérgicos, influenciando uns aos outros de maneira coordenada. A inclusão de aditivos pode ser necessária por razões de produção ou para aprimorar a qualidade dos produtos.

2.1.1. Tensoativos

Os tensoativos, também conhecidos como surfactantes, desempenham um papel fundamental na redução da tensão superficial de líquidos, incluindo a água. São categorizados em quatro grupos principais: aniônicos, catiônicos, não iônicos e anfotéricos (SEO, 2022).

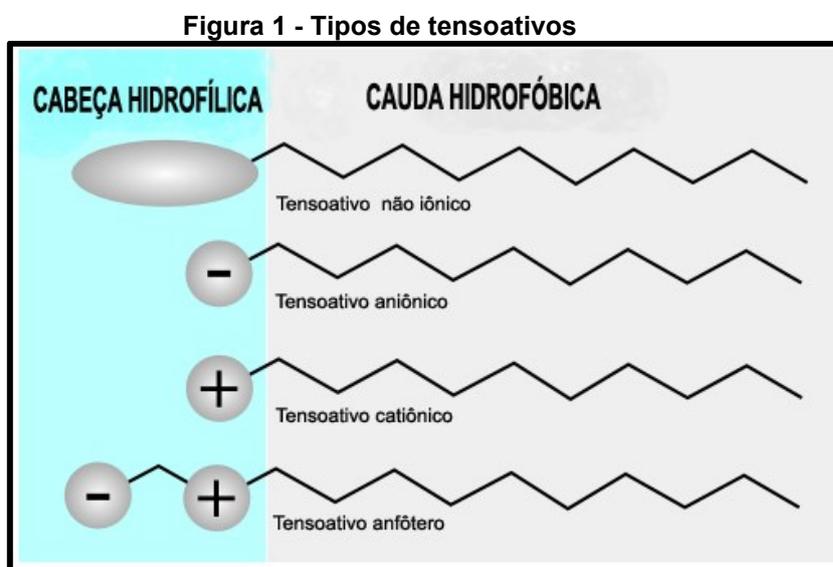
Os tensoativos aniônicos são amplamente empregados na indústria, especialmente na fabricação de detergentes e produtos de limpeza. Sua porção polar carrega uma carga negativa, conferindo-lhes uma notável afinidade pela água e a capacidade de formar micelas, o que os torna eficazes na remoção de

gorduras. Exemplos de tensoativos aniônicos utilizados na indústria incluem o ácido sulfônico e o laurel éter sulfato de sódio (SEO, 2022).

Tensoativos catiônicos apresentam cargas positivas em suas regiões polares e são mais comumente empregados como emulsificantes, emolientes, bactericidas e antissépticos, embora não sejam utilizados em produtos de limpeza. Exemplos notáveis de tensoativos catiônicos incluem os sais de amônio quaternário, como o cloreto de amônio e o cloreto de cetrimônio (SEO, 2022).

Por outro lado, os tensoativos não iônicos não possuem carga em sua estrutura molecular. Possuem uma cauda hidrofóbica que pode ser tão extensa quanto sua cabeça hidrofílica. São frequentemente empregados na indústria como emulsificantes, sendo os álcoois graxos um exemplo comum deste tipo de tensoativo (SEO, 2022).

Os tensoativos anfotéricos apresentam a característica única de possuir, na mesma molécula, regiões com cargas negativas e positivas. São conhecidos por sua suavidade na ação de limpeza e podem atuar como emolientes. A Figura 1 ilustra essas diversas categorias de tensoativos (SEO, 2022).

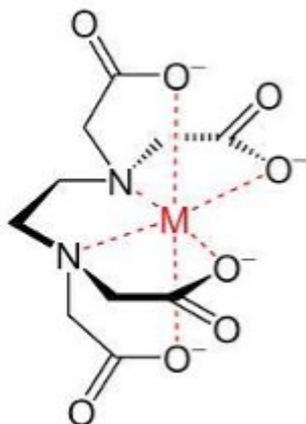


2.1.2. Sequestrantes

Os sequestrantes, também conhecidos como agentes quelantes, desempenham um papel fundamental na formação de complexos hidrossolúveis chamados quelatos. Nesses quelatos, os íons metálicos são ligados covalentemente ao agente quelante, como pode observar pela Figura 2, onde a

letra M representa de forma geral os íons metálicos. Sua principal finalidade é melhorar a eficácia de produtos de limpeza, uma vez que esses compostos têm a capacidade de remover íons de cálcio e magnésio presentes na água, aprimorando assim a ação dos detergentes (ECYCLE, 2019).

Figura 2 - Exemplo de formação de complexos hidrossolúveis - quelatos



Fonte: FARIAS (2020)

A categoria de agentes quelantes abrange uma variedade de compostos, incluindo precipitantes alcalinos específicos, como carbonato de sódio e silicato de sódio; agentes complexantes, como trifosfato de sódio ou ácido nitrilotriacético (NTA); e trocadores de íons, como ácidos policarboxílicos solúveis em água e zeólitas, por exemplo, zeólita A. A maioria desses compostos é comercializada na forma de pós ou granulados sólidos (SMULDERS et al., 2002).

2.1.3. Agentes Clareadores

Os agentes clareadores, também conhecidos como alvejantes, são substâncias químicas que desempenham um papel crucial na alteração da cor de um material para um tom mais claro. Eles são utilizados especialmente para eliminar manchas coloridas que não podem ser removidas por meio da lavagem convencional. Os principais alvejantes químicos incluem aqueles baseados em cloro (Cl_2), hipocloritos (ClO^-) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). É relevante destacar que, na indústria têxtil, os hipocloritos de sódio (NaClO) e cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) são os alvejantes mais amplamente empregados (SOUZA, 2022).

2.1.4. Álcalis

Os álcalis são substâncias alcalinas que desempenham um papel fundamental na remoção de manchas e na solubilização de gorduras e proteínas.

Sua ação envolve uma reação química de saponificação, na qual reagem com as gorduras, resultando na formação de sabão. Vale ressaltar que, por si só, esses álcalis não possuem propriedades umectantes e, portanto, necessitam ser combinados com surfactantes. O poder de limpeza final depende das proporções desses ingredientes na formulação (STPP, 2021).

Na indústria, são encontrados diversos tipos de álcalis, classificados em três categorias principais: álcalis suaves, como o bicarbonato de sódio; álcalis de força moderada, como o bórax; e álcalis potentes, exemplificados pela soda cáustica e o carbonato de sódio. Essas substâncias são frequentemente disponibilizadas no mercado na forma de pequenos cristais ou flocos (STPP, 2021).

2.1.5. Ácidos

Variedades de ácidos podem ser incorporadas à formulação de detergentes com o propósito de reduzir seu valor de pH, resultando na produção de detergentes ácidos. Essa categoria de detergentes é amplamente empregada na remoção de incrustações em equipamentos robustos e superfícies de natureza metálica, encontrando aplicação notável na indústria de lavagem de automóveis (KUSHIDA, 2021).

Entre os ácidos que podem ser utilizados para essa finalidade, destacam-se o ácido fosfórico, que atua como agente protetor e não preventivo contra processos corrosivos. O ácido clorídrico, um ácido forte, é empregado para a eliminação de ferrugem e depósitos de carbonato e substâncias alcalinas. Além disso, o ácido nítrico, um ácido oxidante de grande força, é utilizado para remover depósitos de carbonato e substâncias alcalinas, ao mesmo tempo que proporciona proteção ao aço inoxidável através do processo de passivação (KUSHIDA, 2021).

2.1.6. Agentes Auxiliares

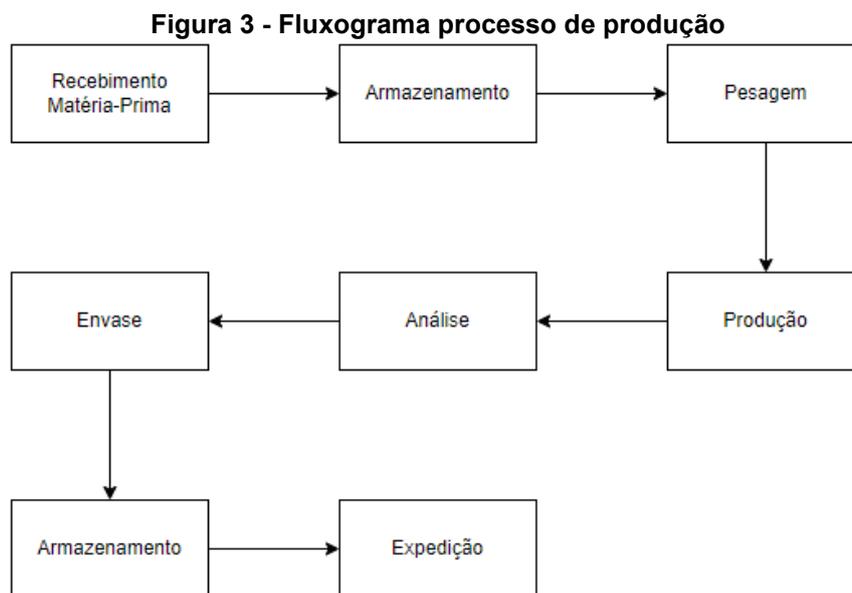
Os agentes auxiliares constituem elementos complementares nos produtos de limpeza, desempenhando um papel de apoio e contribuindo para aprimorar a qualidade ou a estética desses produtos. Entre os aditivos que podem ser incorporados aos produtos de limpeza, destacam-se as enzimas, conservantes, fragrâncias, corantes e espessantes (STPP, 2021).

2.2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE DETERGENTES

2.2.1. Fluxograma do Processo

Conforme abordado por Pereira (2015), a indústria de saneantes, higiene pessoal, perfumaria e cosméticos se caracteriza pelo uso de insumos químicos em sua produção, assemelhando-se assim à indústria química. Nesse processo, são realizadas misturas de dois ou mais insumos em um tanque, mediante agitação por determinado período, visando obter um produto que atenda às especificações físico-químicas requeridas.

Com o intuito de alcançar tais padrões de qualidade, os procedimentos de fabricação são estabelecidos e organizados, em conformidade com o Guia Técnico Ambiental da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (CETESB/ABIHPEC, 2000). Essas etapas são seguidas desde o recebimento das matérias-primas até a expedição do produto, conforme ilustrado na Figura 3.



Fonte: Próprio autor (2023)

2.2.2. Processo de Produção

O processo de produção da empresa do estudo de caso é realizado de forma totalmente manual, no qual a matéria-prima é pesada em galões e despejada manualmente nos tanques de mistura, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Processo de produção; (a) matérias-primas separadas para processo de produção; (b) adição das matérias-primas de forma manual no tanque de mistura



(a)

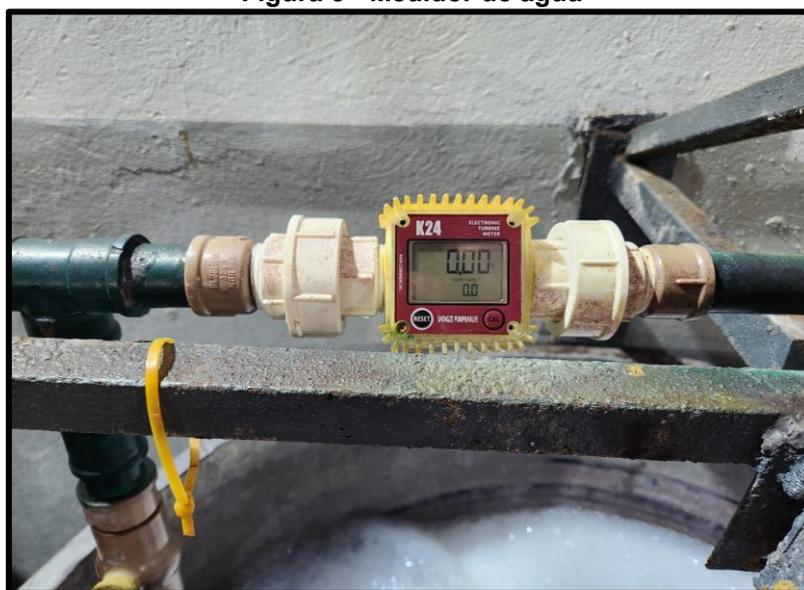
(b)

Fonte: Próprio autor (2023)

2.2.2.1. Medição de Água nos Tanques

A quantidade de água utilizada em cada produto é monitorada através de um medidor de água da marca HaiHuiLai modelo K24-RM que foi acoplado à tubulação, conforme ilustrado na Figura 5. Ao abrir a válvula do tanque onde o produto será produzido, o medidor começa a girar, permitindo que o operador da produção verifique visualmente a quantidade de água adicionada. O operador fecha a válvula quando o volume desejado é alcançado.

Figura 5 - Medidor de água



Fonte: Próprio autor (2023)

2.2.2.2. Pesagem

O processo de pesagem das matérias-primas é executado de forma manual, empregando recipientes de armazenamento como galões e baldes, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Processo de pesagem



Fonte: Autoria própria (2023)

2.2.2.3. Envase

Outro aspecto crucial de restrição dentro da empresa está relacionado ao processo de envase dos produtos, que é realizado de forma manual, assim como o processo de produção. Especificamente, os auxiliares de produção utilizam uma mangueira para realizar o envase dos produtos, como representado pela Figura 7.

Figura 7 - Processo de envase; (a) galões separados para envase; (b) processo manual de envase



(a)

(b)

Fonte: Própria autor (2023)

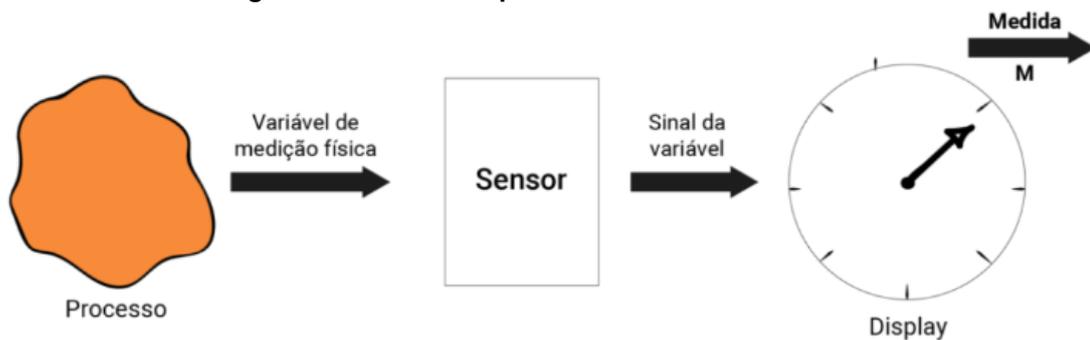
Diante disso, para aprimorar alguns dos processos manuais, é imprescindível implementar o controle de nível nos tanques de mistura e no envase, por meio da instalação de instrumentação e da automação do processo. Essa medida visa evitar problemas, como o desperdício de água devido ao fechamento manual da válvula, que muitas vezes não é observado pelo operador. Além disso, a automação possibilita um melhor controle do nível dos galões durante o envase, evitando perdas de produtos e garantindo a quantidade correta de galões envasados. Essas melhorias têm um impacto direto na qualidade dos produtos, uma vez que contribuem para manter um padrão de qualidade consistente ao garantir a adição adequada de água nos tanques, além de garantir ao cliente a quantidade precisa de produto dentro das embalagens.

2.3. CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

Ao longo dos anos, com a crescente urgência nos processos produtivos e a busca pela redução de custos contribuíram para a adoção de processos industriais cada vez mais automatizados. Nesse contexto, a automação e a instrumentação industrial desempenham um papel fundamental nas operações industriais. A automação não apenas proporciona maior conforto e eficiência nos processos, mas também contribui significativamente para a redução de despesas e o aumento da produtividade (CAMPOS e TEIXEIRA, 2006).

De acordo com Brandão (s.d.), a instrumentação industrial é a ciência de estudo, desenvolvimento e aplicação de instrumentos destinados à medição e controle de processos, com o objetivo de fornecer medidas de maior precisão. Por sua vez, os instrumentos de medição são dispositivos utilizados para converter uma variável física em um formato mensurável e é categorizado de acordo com sua finalidade específica, como exemplificado na Figura 8. E um conjunto desses instrumentos são chamados de malha.

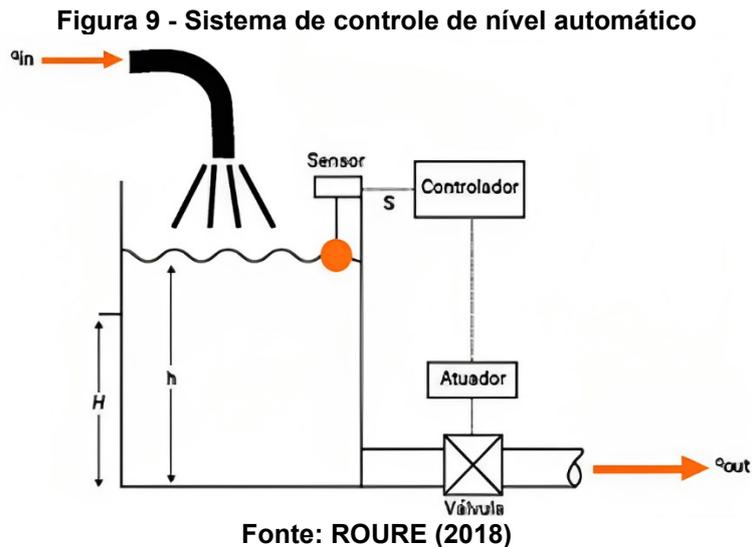
Figura 8 - Modelo simplificado de um instrumento



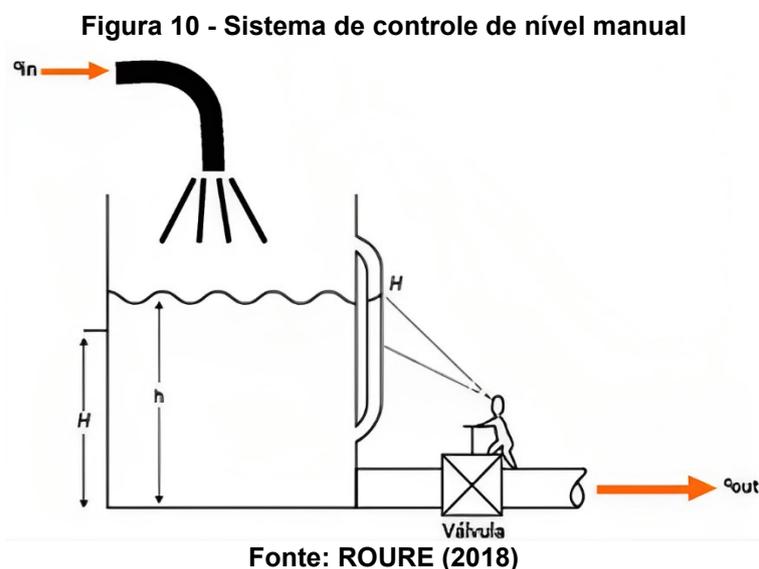
Fonte: ROURE (2018)

Esses instrumentos podem ser um sensor ou elemento primário, indicador, transmissor, controlador, conversor, válvula de controle e chave. Tais instrumentos são instalados tanto em campo quanto em um painel dentro de uma sala de controle, e recebem denominações correspondentes à variável de processo que estão monitorando (ALVES, 2010).

O controle de processos tem como objetivo manter uma variável específica em um valor predeterminado, mesmo quando sujeito a perturbações internas ou externas. Esse controle pode ser feito de forma automática ou manual. Nos sistemas de controle automático, os dispositivos de medição convertem o valor da variável em questão e transmite um sinal proporcional a um controlador. Após receber esta informação, o controlador emite um sinal para um atuador, que realiza ajustes e correções na medida variável. Isso pode envolver a abertura ou fechamento de válvulas, por exemplo, como pode ser observado pela Figura 9 (ROURE, 2018).



Por outro lado, um sistema de controle de processos manual é mais lento, trabalhoso e rudimentar e este sistema envolve a supervisão de uma pessoa que monitora constantemente o valor atual de uma variável específica e compara com o valor de referência desejado. Para realizar o ajuste do parâmetro em questão, recorre-se à manipulação de um dispositivo de controle secundário até que se alcance o valor desejado, como pode ser observado na Figura 10 (ROURE, 2018).



2.3.1. Tipos de Controle

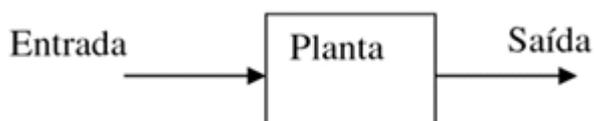
Quando se aborda o conceito de controle em sistemas, é fundamental considerar implicitamente a inclusão da medição de uma variável específica do processo, bem como a ação subsequente destinada a manter essa variável em um estado constante. Em outras palavras, o controlador obtém informações que

são comparadas a um valor predefinido chamado de “set point”. A diferença entre a informação recebida e o set point é avaliada, e as medidas são tomadas para minimizar ao máximo essa discrepância. Essa série de operações é conhecida como malha de controle e se divide em dois tipos principais: controle de malha aberta e controle de malha fechada (ROURE, 2018)

2.3.1.1. Controle de Malha Aberta

O controle em malha aberta é caracterizado pela ausência de realimentação da saída para ajustar a ação de controle. Em outras palavras, a saída do sistema não influencia ou não é levada em consideração na determinação da ação de controle. Esse conceito pode ser ilustrado conforme apresentado na Figura 11 (JARDIM, 2019).

Figura 11 - Controle em malha aberta



Fonte: JARDIM (2019)

Neste tipo de sistema o controle é relativamente simples e possui um custo baixo (JARDIM, 2019).

2.3.1.2. Controle de Malha Fechada

O controle de malha fechada, também conhecido como "controle por feedback", é um método de controle no qual o sistema monitora constantemente a variável controlada e realiza configurações para mantê-la próxima ao valor desejado, conhecido como set point. Este tipo de sistema é amplamente utilizado na automação industrial e em outras aplicações de controle de processos (ALVES, 2010).

2.4. MEDIÇÃO E CONTROLE DE NÍVEL

De acordo com Bojorge (s.d.), a medição de nível é a medida em altura do conteúdo líquido ou sólido de um reservatório, e assim como outras boas atividades envolve automação e instrumentação industrial e quando usada de maneira correta e com planejamento adequado, reduz custos, aumenta a produtividade e contribui com a qualidade e a segurança da produção. Entretanto, os sistemas de medição de nível variam em complexidade desde

simples visores para leituras até indicação remota, registro ou controle automático.

2.4.1. Principais Desafios da Medição de Nível

A medição de nível é uma técnica fundamental para a avaliação do estoque em reservatórios e o controle de processos industriais que envolvem volumes de líquidos ou sólidos sujeitos a variações como acumulação temporária, amortecimento, mistura, resistência, entre outros. No entanto, ao longo dos processos industriais, surgem desafios importantes que podem comprometer a confiabilidade dessa medição (ROURE, 2018).

Dentre esses desafios, destacam-se a ocorrência de incrustação, formação de espuma, presença de partículas em suspensão e a complexidade de interfaces. Esses fatores introduzem fontes de erro e imprecisão na medição de nível, exigindo abordagens e tecnologias específicas para mitigar seus impactos negativos e garantir a precisão e confiabilidade da medição (ROURE, 2018).

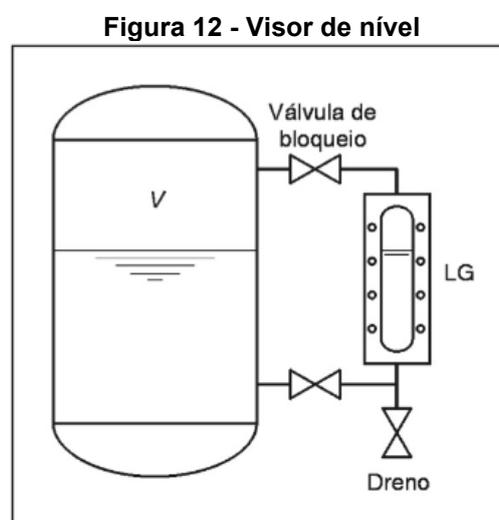
Nesse contexto é imperativo que a seleção do medidor de nível seja realizada com o devido discernimento, levando em consideração as particularidades inerentes ao sensor em questão. Tal escolha deve ser pautada pela análise das propriedades químicas e físicas do meio em que o medidor será aplicado, bem como pelo estado físico da substância a ser mensurada. Além disso, é crucial atentar para as possíveis influências provenientes das variáveis de temperatura e pressão, já que elas podem afetar significativamente a precisão da medição. Por último, mas não menos importante, o local de instalação do medidor deve ser criteriosamente avaliado, visto que os fatores ambientais e de operação desempenham um papel fundamental na seleção do medidor de nível adequado (ROURE, 2018).

2.4.2. Tipos de Medidores

De acordo com Bojorge (s.d.), a avaliação do nível pode ser realizada através da utilização de diversos dispositivos de mensuração, com destaque para os seguintes instrumentos primordiais: visores de nível, sensores e medidores de empuxo, bem como sensores e medidores baseado na mensuração de pressão diferencial.

2.4.2.1. Visores de Nível

Os visores de nível são instrumentos de medição de nível que se destacam por sua simplicidade e confiabilidade. Estes dispositivos consistem em uma estrutura de aço que se conecta a dois pontos do recipiente ou vaso cujo nível se deseja medir. Um tubo de vidro transparente é integral a essa estrutura, permitindo uma visualização precisa do fluido contido em seu interior. O funcionamento desse instrumento é baseado no princípio dos vasos comunicantes, o que contribui para resultados altamente confiáveis em suas medições, como ilustrado pela Figura 12 (ALVES, 2010).



Fonte: ALVES (2010)

2.4.2.2. Sensores e Medidores de Empuxo

De acordo com Santos et al. (2015), os sensores e medidores de empuxo representam dispositivos que se caracterizam pela presença de um deslocador contendo um peso conhecido e previamente calibrado, o qual é suspenso por um elemento estrutural que facilita sua mobilidade, como ilustrado na Figura 13. Estes dispositivos operam de maneira a permitir a medição indireta do nível de um fluido, uma vez que uma força de empuxo exercida pelo próprio fluido age sobre o deslocador, resultando em uma variação no peso aparente deste. Essa variação é então utilizada como base para o cálculo do nível do fluido, proporcionando um método de medição preciso e confiável.

Figura 13 - Medidor de empuxo

Fonte: ALVES (2010)

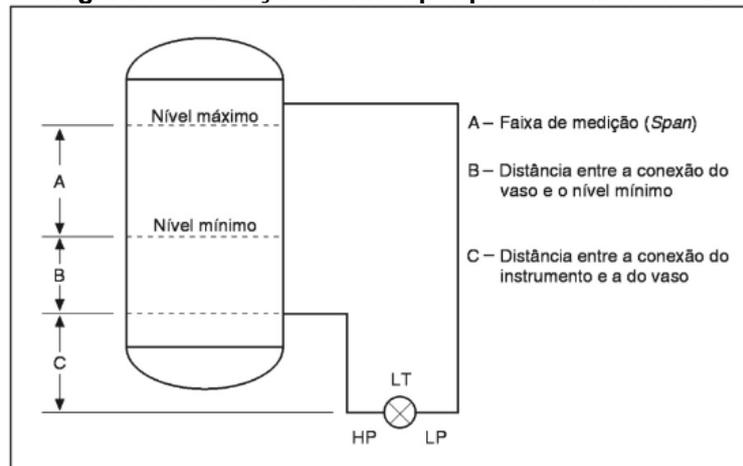
2.4.2.3. Sensores e Medidores por Pressão Diferencial

Os sensores e medidores de pressão diferenciais funcionam com base na diferença de pressão entre duas áreas dentro de um recipiente contendo um líquido. A pressão medida por um sensor é determinada pelo peso da coluna do fluido por unidade de área. Como resultado, a pressão diferencial medida está relacionada ao volume e ao nível do líquido dentro do recipiente (ALVES, 2010). Na Figura 14 é apresentado o esquema para a medição do nível do líquido em um tanque que contém uma fase líquida e outra com pressão de vapor. A medição do lado de baixa pressão (LP) é conectada à região superior do tanque, enquanto a medição do lado de alta pressão (HP) é conectada à região inferior do tanque. No entanto, se a medição do nível for realizada em um tanque de pressão atmosférica, o transmissor de baixa pressão permanecerá exposto à atmosfera (ALVES, 2010).

A relação entre o peso exercido pela coluna do fluido por área e a pressão medida é essencial na determinação do nível. Como resultado, o volume e a altura do conteúdo no recipiente de variação de forma direta com a pressão diferencial registrada. O esquema apresentado na Figura 14 exemplifica a técnica de medição de nível em um recipiente que contém uma fase líquida e outra sob pressão de vapor. A conexão da tomada superior ao lado da menor pressão e da tomada inferior ao lado da maior pressão do transmissor de pressão diferencial é ilustrada no esquema, essencial para a correta medição do nível do líquido (ALVES, 2010).

A diferença entre as pressões obtidas fornece a pressão diferencial, a qual guarda relação proporcional com o volume e o nível do líquido contido. Portanto, uma diminuição na pressão diferencial indica uma correspondente diminuição no volume e, conseqüentemente, no nível do líquido. O transmissor do sistema gera um sinal, geralmente na forma elétrica, que é diretamente proporcional ao valor da pressão diferencial (ALVES, 2010).

Figura 14 - Medição de nível por pressão diferencial



Fonte: ALVES (2010)

Estes dispositivos de medição de nível desempenham um papel fundamental nas operações industriais, sendo eles amplamente utilizados em indústrias como de petróleo e gás, sucroalcooleiro, metalúrgicas, de construção civil, entre outras (SANTOS et al. 2015).

Sendo assim, a introdução de dispositivos de medição associados a uma interface homem-máquina surge como uma necessidade crucial diante dos desafios enfrentados pela indústria devido o processo de produção ser totalmente manual. Com isso, a implementação da automação não apenas simplifica a produção, como também se traz benefícios financeiros substanciais para a empresa.

Em um estudo realizado por Pereira (2015) em uma empresa do setor de saneantes apresentou evidências concretas dos benefícios da automação na infraestrutura fabril da organização. As melhorias feitas tiveram uma redução substancial dos custos de produção, atingindo uma queda significativa de 53%. Adicionalmente, esta iniciativa gerou um aumento direto de 9,27% no lucro da

empresa, proporcionando um retorno rápido sobre o investimento realizado, o que se mostrou integralmente amortizado em um período de apenas 5 meses.

Assis (2021) afirma que a introdução de sistemas de controle e automação na indústria, além de eliminar desperdícios associados a manobras inconvenientes ou erros operacionais, obteve-se uma redução de custos que chegou a 25%. Por sua vez, um estudo conduzido por Santos (2022) demonstrou que a automação e o controle implantados na indústria conferiram maior confiabilidade na medição dos parâmetros, reduziram perdas operacionais e incrementaram a segurança dos operadores que antes realizavam as tarefas manuais. Além disso, houve uma economia financeira estimada em aproximadamente 33%.

Desta forma, os resultados obtidos por meio dessas investigações reiteram de forma enfática a relevância e o potencial da automação como solução eficaz para superar os desafios inerentes aos processos manuais, conferindo ganhos consideráveis tanto em termos financeiros quanto operacionais.

3. METODOLOGIA

3.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

No contexto da indústria de produtos de limpeza e saneantes abordada neste estudo, a operação manual em todas as etapas da fabricação tem levado a uma série de desafios operacionais significativos. Entre esses desafios, um dos problemas mais persistentes e impactantes é a dificuldade no controle preciso do nível de água nos tanques de mistura e no controle do nível durante o envase dos produtos. Esses problemas têm afetado a eficiência da produção, a consistência da qualidade do produto e, conseqüentemente, a perda financeira.

A imprecisão no controle de nível nos tanques de mistura resulta em variações na formulação dos produtos, levando a lotes inconsistentes e, por vezes, fora das especificações desejadas. Isso não apenas aumenta o desperdício de matérias-primas, mas também cria a possibilidade de produtos que não atendam aos padrões de qualidade estabelecidos, o que pode resultar em reclamações de clientes e prejuízos financeiros.

No que diz respeito ao controle de nível durante o envase, a falta de precisão nesse processo pode levar ao subenvase ou ao superenvase dos produtos, comprometendo a confiabilidade das informações contidas nas embalagens e, potencialmente, infringindo regulamentos de rotulagem. Além disso, o desperdício de produtos devido a envases imprecisos também afeta os custos de produção, a lucratividade além da credibilidade da empresa, uma vez que o nível nas embalagens envasadas não é padronizado.

Portanto, é evidente que a melhoria do controle de nível nos tanques de mistura e durante o envase é um desafio crítico que precisa ser abordado para aprimorar a eficiência operacional e manter os padrões de qualidade em níveis consistentes na indústria.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de avaliar a necessidade de instalação de um sistema de controle de nível nos tanques de mistura e no processo de envase dos produtos, foram realizados procedimentos e métodos para coleta de dados quantitativos no estudo de caso. Isso incluiu a aquisição de informações para calibração dos

tanques, e a coleta de dados de quatro produtos fabricados pela empresa, a fim de realizar uma análise de viabilidade econômica.

3.2.1. Cálculo das dimensões dos tanques

Com o objetivo de avaliar as reais dimensões e proporções dos tanques presentes na empresa, recorreu-se às correlações disponibilizadas por Cremasco (2018) e McCabe, Smith e Harriot (1993).

Para determinar o nível de líquido em um tanque, foram empregadas fórmulas que se baseiam em princípios geométricos de cones e cilindros. Tendo o conhecimento do volume total do tanque V_T , do diâmetro do tanque T e da altura da parte cilíndrica interna h_c , obtidos por meio de determinação com uma trena, foi possível calcular o volume do corpo cilíndrico usando a Equação (1).

$$V_C = \pi h_c r^2 = \frac{\pi h_c T^2}{4} \quad (1)$$

A partir desse volume e conhecendo o volume total V_T do tanque em, foi possível encontrar o volume do fundo cônico V_{FC} em utilizando a Equação (2).

$$V_{FC} = V_T - V_C \quad (2)$$

Levando em consideração a fórmula de volume do cone, na Equação (3), para o volume do fundo cônico e rearranjando esta equação foi possível encontrar a altura do fundo cônico h_{FC} em, como mostrado na Equação (4).

$$V_{FC} = \frac{1}{3} \pi h_{FC} r^2 = \frac{\pi h_{FC} T^2}{12} \quad (3)$$

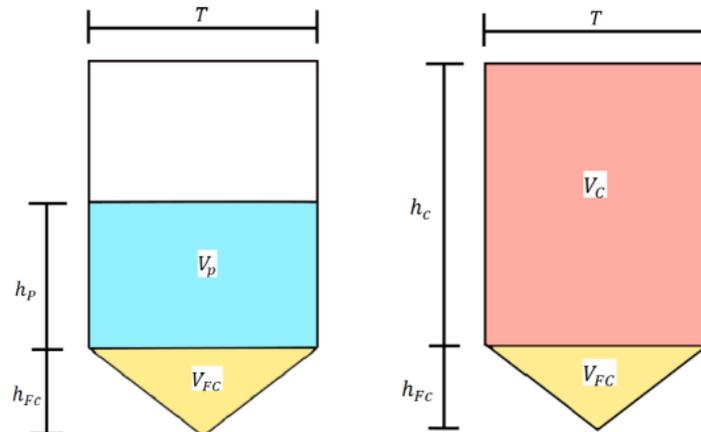
$$h_{FC} = \frac{12V_{FC}}{\pi T^2} \quad (4)$$

Em que:

- V_c é o volume do cilindro (m^3);
- h_c é a altura da parte cilíndrica (m);
- r é o raio do tanque (m)
- T é o diâmetro do tanque (m)
- V_T é o volume total do tanque (m^3)
- V_{FC} é o volume do fundo cônico (m^3)
- h_{FC} é a altura do fundo cônico (m^3)

Diante disso, na Figura 15 foi possível observar como todas as medidas foram consideradas para fim dos cálculos realizados.

Figura 15 - Esboço representativo das medidas consideradas para os cálculos de geometria do tanque



Fonte: BATISTA (2022)

Desta forma, conhecendo a altura do fundo cônico e a altura de líquido preenchida na parte cilíndrica, foi possível de se determinar a altura total do nível de líquido no tanque H em (m), utilizando-se a Equação (5).

$$H = h_{FC} + h_p \quad (5)$$

Em que:

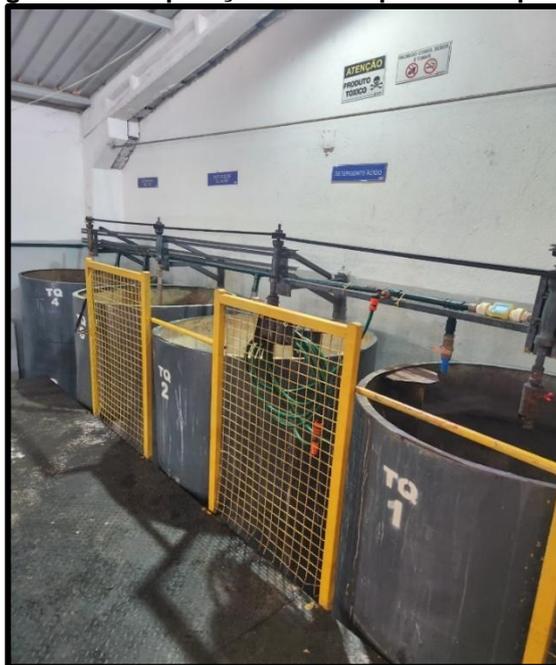
- H é a altura total do nível de líquido no tanque (m);
- h_p é a altura do nível de líquido contido na parte cilíndrica do tanque (m).

3.2.2. Calibração dos tanques

Com o objetivo de conduzir uma análise para avaliar a necessidade de implementação de sensores de nível, foram coletadas as dimensões dos tanques utilizando uma trena.

Atualmente, a empresa está equipada com quatro tanques de mistura em operação, cada um deles apresentando um volume total de 1500 litros. A disposição dos tanques na empresa pode ser vista na Figura 16. Desta forma foi possível observar que o tanque 1 possui duas chicanas internas, igualmente espaçadas, enquanto os tanques 2, 3 e 4 não possuem chicanas, conforme ilustrado nas Figuras 17 e 18, respectivamente.

Figura 16 - Disposição dos tanques na empresa



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 17 - Tanque de mistura com chicana



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 18 - Tanque de mistura sem chicana

Fonte: Aatoria própria (2023)

Devido à variação na quantidade de produção de acordo com cada produto, e ao processo de envase ser realizado manualmente, realizou-se uma coleta de dados de vazão do tanque em relação ao volume de líquido contido no mesmo, com o propósito de realizar uma calibração no tanque e reforçar a necessidade da implementação de sensores de nível e válvulas de controle para o processo de envase.

Para realizar a operação, o tanque foi preenchido até atingir seu volume total, conforme representado na Figura 19. Posteriormente, a válvula foi operada manualmente, como evidenciado na Figura 20, permitindo que a água escoasse por um período de 30 segundos. O volume de água escoado foi então medido por meio de uma balança digital da marca Super Crown, como ilustrado na Figura 21.

Figura 19 - Tanque cheio até o volume total



Fonte: Aatoria própria (2023)

Figura 20 - Processo de abertura e fechamento da válvula manualmente



Fonte: Aatoria própria (2023)

Figura 21 - Quantificação do volume de água escoado



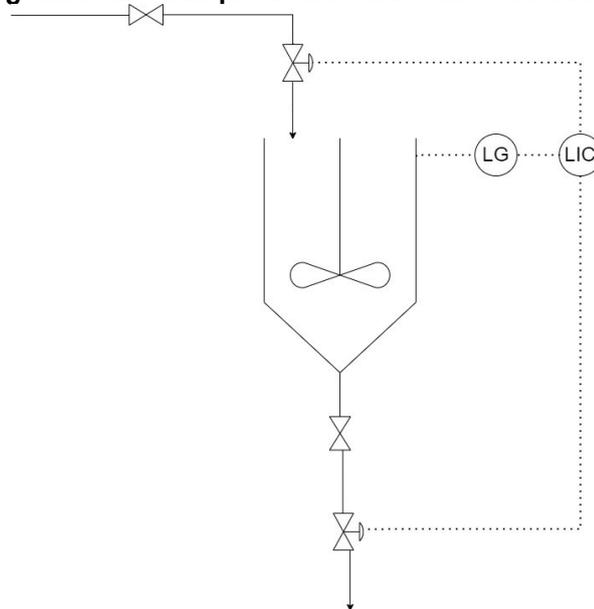
Fonte: A autoria própria (2023)

Com isso, os dados foram coletados e colocados em uma planilha eletrônica onde foi possível calcular a vazão de líquido em relação ao volume de líquido contido no tanque. Como todos os tanques da empresa são iguais, todo o procedimento foi realizado em apenas um dos tanques disponíveis.

3.2.3. Modelagem Matemática do sistema

O sistema a ser implementado neste projeto é representado na Figura 22. Ele consiste em um tanque de mistura no qual será aplicado um controle do nível do líquido. Um sensor de nível, identificado pela sigla LG, será responsável por monitorar o nível do líquido e enviará esse sinal para um controlador, representado pela sigla LIC. O controlador, por sua vez, enviará os sinais necessários para as válvulas de bloqueio, tanto na entrada de água no tanque quanto na saída do produto do tanque. Essas válvulas serão ajustadas conforme o sinal recebido pelo controlador, mantendo o nível do líquido dentro dos parâmetros desejados.

Figura 22 - Fluxograma PID - Tanque de mistura com controlador de nível



Fonte: Autoria própria (2023)

No intuito descrever matematicamente o comportamento do nível do tanque em relação à abertura de válvula, foram utilizadas as correlações fornecidas por Giraldo (2021), descritas a seguir.

3.2.3.1. Equações das Válvulas

Assumindo um fluxo de escoamento em estado estacionário através de uma válvula, pode-se considerar a Equação (6).

$$Q_V = K_V A_S \sqrt{\Delta P} \quad (6)$$

Na qual:

- Q_V é a vazão da válvula

- K_v é a constante da válvula
- A_s é a abertura da válvula
- ΔP é a pressão diferencial através da válvula, onde por ser um tanque aberto P_1 é a pressão atmosférica e P_2 é a pressão na saída da válvula. ($P_2 - P_1$)

A partir desta equação, é possível inferir que o fluxo através da válvula é diretamente proporcional à área de abertura, desde que a diferença de pressão permaneça constante. Com isso, ao considerar uma válvula que permite uma relação aproximadamente linear entre a vazão e a abertura, a vazão de saída pode ser expressa pela Equação (7).

$$Q_S = K_2 a_2 \sqrt{2gh} \quad (7)$$

Caso a vazão de entrada também seja proporcional à abertura da válvula, pode-se expressar a vazão de entrada conforme a Equação (8).

$$Q_E = K_1 a_1 \quad (8)$$

3.2.3.2. Modelagem matemática do nível do tanque

Para derivar as equações matemáticas do nível de um tanque, primeiramente, a partir do princípio da conservação de massa, no qual a soma das entradas menos a soma das saídas é igual à variação acumulada do sistema, podemos obter a expressão representada na Equação (9).

$$Q_E - Q_S = A \frac{dh}{dt} \quad (9)$$

Na qual:

- Q_E é a vazão de entrada no tanque.
- Q_S é a vazão de saída a partir do tanque.
- A é a área da seção transversal do tanque

Reescrevendo a Equação (9) em função de Q_e e Q_s obtém a Equação (10).

$$A \frac{dh}{dt} = K_1 a_1 - K_2 a_2 \sqrt{2gh} \quad (10)$$

Na qual:

- K_1 é a constante da válvula de entrada
- K_2 é a constante da válvula de saída
- a_1 é a abertura da válvula de entrada
- a_2 é a abertura da válvula de saída
- g é a aceleração da gravidade
- h é a altura máxima do tanque
- A é a área da seção transversal

3.2.3.3. Linearização do nível do tanque

Para obter a função de transferência e avaliar uma malha de controle para nível do tanque, dado que a Equação 10 é uma Equação Diferencial Ordinária (EDO) não linear, é crucial linearizá-la. Para tal, é preciso determinar um ponto de equilíbrio da EDO, alcançando isso ao igualar a EDO a zero, conforme demonstrado na Equação (11).

$$K_1 a_1^* - K_2 a_2^* \sqrt{2gH_0} = 0 \quad (11)$$

Ao rearranjar a Equação (11), obtemos a Equação (12).

$$K_1 a_1^* = K_2 a_2^* \sqrt{2gH_0} \quad (12)$$

Ao isolar H_0 na Equação (12), resulta-se na Equação (13).

$$H_0 = \left(\frac{K_1 a_1^*}{K_2 a_2^* \sqrt{2g}} \right)^2 \quad (13)$$

3.2.3.4.1. Linearização em relação a válvula de entrada

Com o conhecimento do ponto de equilíbrio, é viável linearizar a relação entre o nível do tanque e a válvula de entrada através de uma expansão em série de Taylor da função, supondo a abertura da válvula de saída como constante. Dessa maneira, a função resultante da expansão em série de Taylor dependerá apenas de a_1 e h , conforme expresso pela Equação (14).

$$f(a_1) = A \frac{dH}{dt} = K_1 a_1 - K_2 a_2 \sqrt{2gH} \quad (14)$$

Sabendo que a Equação de Taylor é uma série infinita, optou-se por utilizar apenas a primeira derivada da série, conforme demonstrado na Equação (15).

$$f(a_1, H) \approx f(a_1^*, H_0) + \frac{\partial f}{\partial a_1} (a_1 - a_1^*) + \frac{\partial f}{\partial H} (H - H_0) \quad (15)$$

Ao truncar a série de Taylor após o primeiro termo e empregar somente a primeira derivada, ocorre um erro residual que está associado a essa aproximação e geralmente é representado pela forma do termo de resto do teorema de Taylor como apresentado na Equação (16).

$$R_1(a_1, H) = \frac{1}{2!} \left[\frac{\partial^2}{\partial a_1^2} (\varepsilon_1, \varepsilon_2) (a_1 - a_1^*)^2 + 2 \frac{\partial^2 f}{\partial a_1 \partial H} (\varepsilon_1, \varepsilon_2) (a_1 - a_1^*) (H - H_0) + \frac{\partial^2 f}{\partial H^2} (\varepsilon_1, \varepsilon_2) (H - H_0)^2 \right] \quad (16)$$

Na qual ε_1 e ε_2 são pontos no intervalo entre a_1 e a_1^* e entre H e H_0 . Entretanto, para efeito de cálculo, o erro de truncamento será desprezado ao considerar apenas a primeira derivada.

Sendo assim, ao considerarmos que $a_1 - a_1^* = \Delta a_1$ e $H - H_0 = \Delta H$, pode-se expressar especificamente em termos de variações de desvio. Essas variáveis eliminam a dependência explícita do modelo em condições iniciais de estado estacionário, representando desvios ou perturbações em relação a esse estado. Ao substituir as equações nos pontos de equilíbrio e aplicar a derivada parcial da função, obtêm-se a Equação (17).

$$f(a_1, H) \approx K_1 a_1^* - K_2 a_2 \sqrt{2gH_0} + K_1 \Delta a_1 - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{H_0}} \Delta H \quad (17)$$

Partindo do modelo matemático do tanque, têm-se a Equação (18), (19) e (20).

$$\underbrace{f(a_1, H)}_{A \frac{dH}{dt}} \approx \underbrace{K_1 a_1^* - K_2 a_2 \sqrt{2gH_0}}_{A \frac{dH}{dt} \Big|_{a_1^*, H_0}} + K_1 \Delta a_1 - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{H_0}} \Delta H \quad (18)$$

$$A \frac{dH}{dt} - A \frac{dH}{dt} \Big|_{a_1^*, H_0} \approx K_1 \Delta a_1 - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{H_0}} \Delta H \quad (18)$$

$$A \frac{d\Delta H}{dt} \approx K_1 \Delta a_1 - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{H_0}} \Delta H \quad (20)$$

Após tais manipulações matemáticas, pode-se observar que a equação anterior agora é uma equação linear que depende das variáveis desvio que não estão mais dentro de uma raiz quadrada, termo não linear.

Nesta condição, pode-se aplicar a Transformada de Laplace para expressar a equação em termos de S. Para simplificar, fará feito o uso das seguintes simplificações:

$$\Delta H = \underline{h}$$

$$\Delta a_1 = \underline{a_1}$$

Realizando a Transformada de Laplace da Equação (20) obtêm-se a Equação (21).

$$\begin{aligned} A s \underline{h}(S) &= K_1 \underline{a_1}(S) - \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{H_0}} \underline{h}(S) \\ \left(A s + \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{H_0}} \right) \underline{h}(S) &= K_1 \underline{a_1}(S) \end{aligned} \quad (21)$$

Com isso, a função de transferência de nível para o tanque mantendo a válvula de saída constante é dada pela Equação (22).

$$\begin{aligned} \frac{\underline{h}}{\underline{a_1}} &= \frac{K_1}{A s + \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2\sqrt{H_0}}} \\ \frac{\underline{h}}{\underline{a_1}} &= \frac{K_1/A}{s + \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2A\sqrt{H_0}}} = G_1(S) \end{aligned} \quad (22)$$

3.2.3.4.2. Linearização em relação a válvula de saída

Utilizando o mesmo procedimento, porém considerando a válvula de entrada como constante, obtêm-se a Equação (23).

$$\begin{aligned} f(a_2, H) &\approx f(a_2^*, H_0) + \frac{\partial f}{\partial a_2} (a_2 - a_2^*) + \frac{\partial f}{\partial H} (H - H_0) \\ A \frac{d\Delta H}{dt} &\approx -K_2 \sqrt{2g H_0} \Delta a_2 - \frac{K_2 a_2^* \sqrt{2g}}{2\sqrt{H_0}} \Delta H \end{aligned} \quad (23)$$

Considerando:

$$\Delta H = \underline{h}$$

$$\Delta a_1 = \underline{a_1}$$

Ao aplicar a Transformada de Laplace, obtêm-se para a função de transferência do nível do tanque em relação à válvula de saída, conforme descrito pela Equação (24).

$$\frac{\underline{h}}{a_2} = \frac{-\frac{K_2}{A} \sqrt{2gH_0}}{s + \frac{K_2 a_2^* \sqrt{2g}}{2A \sqrt{H_0}}} = G_2(S) \quad (24)$$

Assim, ao considerar que $G(S) = G_1(S) - G_2(S)$, obtêm-se a função de transferência do nível do tanque, como descrito pela Equação (25).

$$\underline{h}(S) = \left(\frac{\frac{K_1/A}{s + \frac{K_2 a_2 \sqrt{2g}}{2A \sqrt{H_0}}}} \right) a_1 - \left(\frac{\frac{-\frac{K_2}{A} \sqrt{2gH_0}}{s + \frac{K_2 a_2^* \sqrt{2g}}{2A \sqrt{H_0}}}} \right) a_2 \quad (25)$$

Desta forma, conhecendo a função de transferência do sistema, podemos dizer que a relação entre a abertura da válvula de saída de um tanque está ligada a variação do nível dentro dele. Esta função descreve como a altura do nível (representada por $\underline{h}(s)$) se relaciona com a vazão de saída, que por sua vez é influenciada pela abertura da válvula. Quanto maior a abertura das válvulas, maior será a vazão de saída, levando a uma diminuição do tempo necessário para escoar um volume específico do tanque. Essa relação direta entre a abertura da válvula e o tempo de escoamento está intimamente ligada à altura do nível do líquido no tanque, refletindo a dinâmica do sistema.

3.2.4. Descrição dos produtos utilizados para análise de viabilidade econômica

Diante da ampla gama de produtos produzidos pela empresa, foram selecionados quatro produtos para a realização deste estudo, sendo eles: Interx comum (IX20), Interx concentrado (IX40), Soluclean comum (SX20) e Soluclean concentrado (SX40), os quais ostentam uma elevada frequência de produção. Desta forma, para cada produto escolhido, foram registrados tanto a quantidade planejada para produção quanto a quantidade obtida após o envase. Tal abordagem permitiu conduzir uma análise quantitativa abrangente, que envolveu a produção desses produtos específicos, bem como as perdas durante o processo de envase.

Com o objetivo de determinar as perdas na produção dos produtos em questão, foi elaborada uma tabela que foi dedicada a registrar todas as operações de produção, onde foram documentadas não apenas as quantidades previstas, mas também as quantidades obtidas no final do processo de envase durante um período de três meses.

3.3. ANÁLISE E VIABILIDADE ECONÔMICA

Como o objetivo deste estudo é conduzir uma avaliação econômica da proposta de implementação de controle e automação no processo de produção dos produtos fabricados pela empresa. Especificamente, a proposta envolve a instalação de sensores de nível em tanques de mistura. Para fundamentar esta análise, foram coletados dados referentes às perdas enfrentadas pela empresa durante a produção e o envase de quatro produtos diferentes por um período de 3 meses.

Além disso, com a intenção de embasar a proposta de implementação e estimar os custos envolvidos, foram realizadas cotações para todos os equipamentos necessários, incluindo os sensores de nível e outros instrumentos necessários para a automação do processo.

A análise de soluções econômicas foi realizada de forma abrangente, considerando as seguintes etapas:

- **Levantamento de Dados:** Coleta detalhada de informações sobre as perdas enfrentadas pela empresa em relação aos produtos em questão, bem como sobre os custos atuais do processo de produção e envase.
- **Identificação de Custos e Investimentos:** Cálculo dos custos associados à implementação dos sensores de nível e demais dispositivos de automação. Isso inclui não apenas o custo de aquisição dos equipamentos, mas também despesas operacionais, como instalação e manutenção.
- **Projeção de Benefícios:** Estimativa dos benefícios esperados com a automação, incluindo a redução das perdas, o aumento da eficiência operacional e a melhoria da qualidade do produto.

- **Cálculo de Retorno sobre Investimento (ROI):** Avaliação do período de retorno do investimento, comparando os custos da implementação com os benefícios ao longo do tempo, utilizando as Equações (26), (27) e (28).

$$ROI (\%) = \frac{\text{receita-custos}}{\text{custos}} \times 100 \quad (26)$$

$$\text{Prazo de Retorno} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Lucro Mensal}} \quad (27)$$

$$P.E = \frac{\text{Custo Fixo}}{\text{Margem de Contribuição}} \times 100 \quad (28)$$

Em que:

- Margem de Contribuição = Receita – Custo Variável

Desta forma, o estudo fornece uma base sólida para a tomada de decisão, fornecendo informações cruciais sobre a implementação do controle e automação no processo de produção da empresa, com foco na economia gerada e no impacto financeiro esperado.

3.4. PLANO DE AÇÃO

Com base nos dados coletados e na avaliação econômica realizada, foi elaborada uma proposta para a implementação do controle e automação no processo de produção. Para estruturar essa proposta de forma abrangente e organizada, foi empregada a ferramenta 5W2H, que auxiliou na apresentação dos principais aspectos do projeto de maneira clara e concisa.

3.4.1. 5W2H

A ferramenta 5W2H é uma abordagem prática que ajuda no levantamento de atividades cruciais em um projeto, determinando elementos essenciais como motivações, prazos, locais, responsáveis e custos (DE PAULA, 2015). Ela é representada por sete perguntas em inglês, divididas em duas categorias como pode ser visto nas Tabelas 1 e 2.

Os 5W:

Tabela 1 - Apresentação dos 5W

What	Why	Where	When	Who
O que será feito?	Por que será feito?	Onde será feito?	Quando será feito?	Por quem será feito?

Fonte: Autoria própria (2023)

Os 2H:

How	How Much
Como será feito?	Quanto vai custar?

Fonte: Autoria própria (2023)

Dessa maneira, a ferramenta composta por essas sete perguntas orientadas desempenha um papel fundamental na orientação do gestor de projeto, contribuindo para a elaboração de um quadro de atividades que simplifica a execução do projeto. No presente estudo, a pergunta "How Much" será utilizada para conduzir uma análise abrangente do potencial de economia financeira e da redução de desperdício que a implementação do controle e automação do processo implicará para a empresa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das metodologias citadas na seção anterior, na atual seção serão apresentados os resultados e as discussões obtidas.

4.1. DIMENSÕES DOS TANQUES E DAS CHICANAS

Para que fosse possível realizar de forma efetiva a calibração dos tanques, primeiramente foi avaliado as reais dimensões dos tanques dispostos na empresa.

Com isso, devido todos os tanques possuírem a mesma geometria, utilizou-se as dimensões de apenas um tanque para realização dos cálculos. Desta forma, foram medidas a altura do tanque H , diâmetro D e a altura interna da parte cilíndrica h_c utilizando uma trena para realizar as medidas, onde os dados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensões do tanque medidos com uma trena

Descrição	Medida (cm)
Altura Externa	$180 \pm 1,0$
Altura Interna parte cilíndrica (h_c)	$130 \pm 1,0$
Diâmetro (T)	$115 \pm 1,0$

Fonte: Aatoria própria (2023)

Devido às limitações na hora da medição, não foi possível medir com precisão a altura do fundo cônico utilizando a trena, entretanto como é conhecido o volume total do tanque V_T e conhecendo a altura interna do tanque h_c , foi possível calcular o volume do fundo cônico utilizando as Equações (1) e (2). Desta forma, os volumes das partes internas do tanque estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Volume das partes internas do tanque

Descrição	Volume (L)	Volume (m^3)
Volume Total (V_T)	1500	1,5
Volume da parte cilíndrica (V_C)	1350	$1,35 \pm 0,03$
Volume do fundo cônico (V_{FC})	150	$0,15 \pm 0,01$

Fonte: Aatoria própria (2023)

Com isso, utilizando as dimensões já conhecidas, o volume do tanque e utilizando as Equações (4) e (5), foi possível calcular a altura do fundo cônico h_{FC} . Onde os valores estão apresentados na Tabela 5 com um valor calculado para uma medida de altura corrigida. Essa altura corrigida é levada em consideração uma vez que o fundo do tanque não é perfeitamente cônico, pois possui uma saída de líquido achatada na parte do fundo.

Tabela 5 - Dimensões do fundo cônico

Descrição	Medida (cm)
Altura do fundo cônico	43 ± 3,0
Altura corrigida	40

Fonte: Autoria própria (2023)

Desta forma, considerando a medida da altura do fundo cônico corrigida, a altura total interna do tanque é de 170 cm.

Como visto na Figura 17, o tanque 1 possui chicanas em seu interior, desta forma, foi medida a largura das chicanas com o auxílio da trena. Essas medidas estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Medidas das chicanas no Tanque 1

Descrição	Medida (cm)
Largura das chicanas (B)	16 ± 1,0

Fonte: Autoria própria (2023)

4.2. CALIBRAÇÃO DOS TANQUES.

Sabendo que os tanques de mistura da empresa apresentam algumas irregularidades em seus volumes, para que seja possível realizar a implementação dos sensores de nível nos tanques de mistura, foi necessário fazer primeiramente a calibração dos tanques, onde seguiu-se os passos descritos na seção 3.2.2. Todo processo foi realizado em triplicata e os dados coletados foram colocados em uma planilha eletrônica, onde foi realizado uma média dos valores, como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Coleta de dados para calibração dos tanques

(continua)

Tempo (s)	Volume (L)	Volume (L)	Vazão (L/s)
1E-11	0	1459,49	1,46E+14
30	39,03	1420,45	47,348
60	38,94	1381,52	23,025
90	35,82	1345,69	14,952
120	35,19	1310,50	10,921
150	34,84	1275,66	8,504
180	35,88	1239,79	6,888
210	34,33	1205,46	5,740
240	33,60	1171,86	4,883
270	32,71	1139,15	4,219

**Tabela 7 - Coleta de dados para calibração dos tanques
(conclusão)**

Tempo (s)	Volume (L)	Volume (L)	Vazão (L/s)
300	33,21	1105,94	3,686
330	32,80	1073,14	3,252
360	32,26	1040,88	2,891
390	32,55	1008,33	2,585
420	31,74	976,60	2,325
450	32,56	944,04	2,098
480	31,26	912,78	1,902
510	30,81	881,97	1,729
540	30,57	851,40	1,577
570	30,77	820,63	1,440
600	30,39	790,24	1,317
630	29,78	760,46	1,207
660	29,36	731,10	1,108
690	29,19	701,91	1,017
720	28,40	673,51	0,935
750	27,95	645,56	0,861
780	27,73	617,8	0,792
810	27,22	590,61	0,729
840	28,04	562,57	0,670
870	28,03	534,54	0,614
900	27,15	507,38	0,564
930	26,69	480,70	0,517
960	26,08	454,61	0,474
990	26,48	428,14	0,432
1020	24,92	403,22	0,395
1050	24,61	378,61	0,361
1080	24,67	353,94	0,328
1110	25,44	328,49	0,296
1140	24,58	303,91	0,267
1170	24,27	279,65	0,239
1200	23,43	256,21	0,214
1230	23,90	232,32	0,189
1260	21,97	210,35	0,167
1290	22,41	187,94	0,146
1320	21,87	166,07	0,126
1350	22,25	143,82	0,107
1380	22,14	121,68	0,088
1410	21,91	99,77	0,071
1440	21,49	78,29	0,054
1470	20,82	57,47	0,039
1500	19,72	37,74	0,025
1530	9,86	27,89	0,018
1560	0,00	27,89	0,018

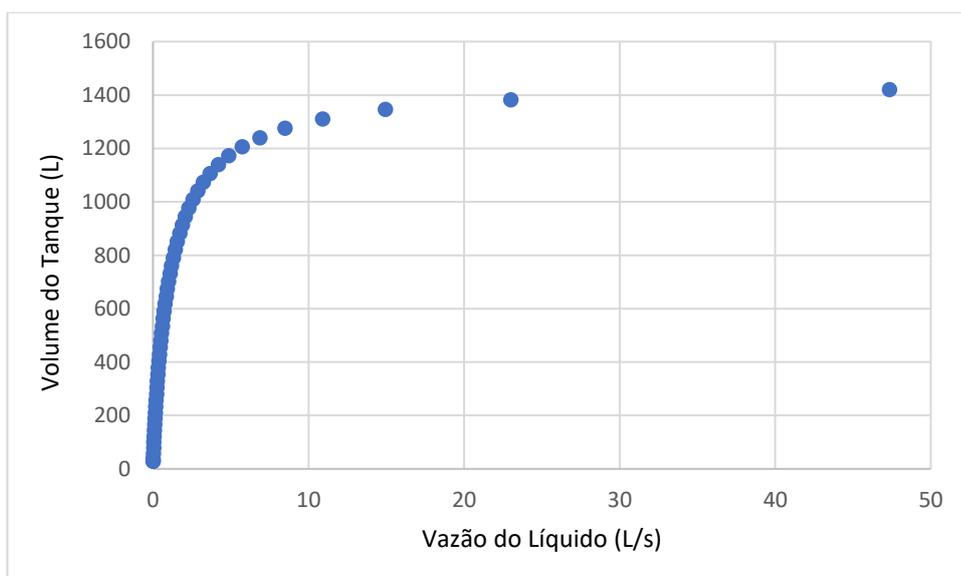
Fonte: Autoria própria (2023)

As medidas de volume, foram realizadas através de uma balança da marca Super Crown, por isso estão sujeitas a uma margem de erro de $\pm 0,05$. Este erro decorre das limitações do equipamento utilizado, que possui uma precisão mínima de medição de 100 gramas. Portanto, as variações observadas nas medidas de volume estão diretamente relacionadas à capacidade de medição da referida balança

Analisando os valores apresentados na Tabela 7 é possível observar que o volume inicial do tanque difere do volume indicado pela empresa em aproximadamente 2,7%. Com isso, a calibração dos tanques se faz necessário para que seja possível indicar aos sensores corretamente os valores de volume contidos no tanque e suas respectivas alturas e vazões.

Sendo assim, para realizar a calibração dos tanques, a válvula de saída do tanque foi aberta manualmente por 30 segundos e fechada e logo em seguida e o volume de água foi medido com o auxílio de uma balança da marca Super Crown, onde foi feita a consideração de que a densidade da água é igual a 1 kg/L. Tal processo foi feito de 30 em 30 segundos até acabar toda a água contida no tanque. Com isso, com os valores obtidos foi possível então calcular a vazão de água em relação ao volume de água contida no tanque, e com isso foi possível observar que devido ao escoamento ocorrer por gravidade, à medida que o nível de água vai diminuindo a vazão também diminui, como é possível observar pelo Gráfico 1.

Gráfico 1 – Vazão de líquido por volume do tanque



Fonte: Autoria própria (2023)

Desta forma, essa calibração é importante, pois como os sensores do tipo radar trabalham com o tempo que o sinal leva para atingir o nível de líquido dentro do tanque, conhecendo a vazão de líquido para cada volume, é possível calcular a altura correspondente do líquido dentro do tanque com isso o sensor consegue identificar a quantidade de líquido que é escoado em um determinado tempo e com isso é possível escrever um código para que o controlador lógico programável (CLP) possa mandar os comandos ao sensor para que ele abra e feche as válvulas nos volumes especificados para o envase de todos os tipos de embalagens envasadas pela empresa.

Ao escrever o código, é crucial inserir corretamente as dimensões do tanque, devido os tanques possuírem irregularidades no fundo cônico, a calibração se faz importante, pois realizando as medições com a trena calculou-se um volume de 150 L e altura corrigida de 40 cm, já com os dados coletados, obteve-se um volume próximo a 160 L e altura aproximada de 46 cm. Essa discrepância reforça a importância da calibração das dimensões.

A fim de mostrar a necessidade da implementação das automações no processo, ao se realizar todo o procedimento, foi possível calcular o volume final de líquido que continha no tanque, entretanto ao somar todos os volumes medidos na coleta de dados observou-se que o volume final deu uma diferença de aproximadamente 30 litros em relação ao volume inicial e essa diferença pode ser justificada pelo fato de que o processo foi realizado de forma manual, onde teve perdas de líquido durante o processo. Desta forma, é possível mostrar a importância da automação do processo, pois além de facilitar todo o processo, ainda minimiza as perdas.

4.3. ANÁLISE E VIABILIDADE ECONÔMICA

4.3.1. Levantamento de Dados

Com o propósito de conduzir uma análise econômica abrangente, foi realizado um levantamento de dados no qual se procedeu uma investigação das perdas de produtos no momento do processo de envase. Nesse contexto, foram registrados os dados de produção, juntamente com as estimativas de produção planejada e os valores reais obtidos após o término do procedimento de envase, relativamente aos quatro produtos que ostentam uma alta taxa de produção, sendo eles Interx 1X20,

Interx 1X40, Soluclean SX20 e Soluclean SX40, como pode ser observado pelas Tabelas 8, 9, 10 e 11 respectivamente.

Tabela 8 - Dados coletados - Interx comum (1X20)

Interx 1X20					
Data de Fabricação	Quant. Estimada (L)	Quant. Obtida (L)	Perda em (L)	Perda em (\$)	
10/08/2023	1200	1080	120	R\$	720,00
11/08/2023	1200	1100	100	R\$	600,00
18/08/2023	1200	1100	100	R\$	600,00
25/08/2023	1200	1050	150	R\$	900,00
25/08/2023	1200	920	280	R\$	1.680,00
30/08/2023	1200	1100	100	R\$	600,00
04/09/2023	1200	1100	100	R\$	600,00
11/09/2023	1200	1070	130	R\$	780,00
12/09/2023	1200	1100	100	R\$	600,00
13/09/2023	1200	1100	100	R\$	600,00
14/09/2023	1200	1050	150	R\$	900,00
18/09/2023	1200	1105	95	R\$	570,00
21/09/2023	1200	1100	100	R\$	600,00
22/09/2023	1200	1020	180	R\$	1.080,00
26/09/2023	1200	1060	140	R\$	840,00
28/09/2023	1200	1050	150	R\$	900,00
02/10/2023	1200	1100	100	R\$	600,00
03/10/2023	1200	1150	50	R\$	300,00
10/10/2023	1200	1020	180	R\$	1.080,00
11/10/2023	1200	1000	200	R\$	1.200,00
13/10/2023	600	510	90	R\$	540,00
18/10/2023	1200	1125	75	R\$	450,00
20/10/2023	1200	1150	50	R\$	300,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 9 - Dados coletados - Interx concentrado (1X40)

Interx 1X40				
Data de Fabricação	Quant. Estimada (L)	Quant. Obtida (L)	Perda em (L)	Perda em (\$)
01/08/2023	1000	900	100	R\$ 1.500,00
03/08/2023	1000	900	100	R\$ 1.500,00
04/08/2023	1000	900	100	R\$ 1.500,00
17/08/2023	1000	950	50	R\$ 750,00
18/08/2023	1000	950	50	R\$ 750,00
23/08/2023	1000	950	50	R\$ 750,00
01/09/2023	500	440	60	R\$ 900,00
06/09/2023	1000	900	100	R\$ 1.500,00
15/09/2023	1000	900	100	R\$ 1.500,00
19/09/2023	1000	950	50	R\$ 750,00
22/09/2023	1000	955	45	R\$ 675,00
25/09/2023	1000	950	50	R\$ 750,00
30/09/2023	1000	900	100	R\$ 1.500,00
09/10/2023	1000	925	75	R\$ 1.125,00
16/10/2023	1000	930	70	R\$ 1.050,00
20/10/2023	1000	910	90	R\$ 1.350,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 10 - Dados coletados - Soluclean comum (SX20)

Soluclean SX20				
Data de Fabricação	Quant. Estimada (L)	Quant. Obtida (L)	Perda em (L)	Perda em (\$)
01/08/2023	500	400	100	R\$ 600,00
15/08/2023	500	430	70	R\$ 420,00
17/08/2023	500	450	50	R\$ 300,00
22/08/2023	500	420	80	R\$ 480,00
30/08/2023	500	400	100	R\$ 600,00
05/09/2023	500	450	50	R\$ 300,00
12/09/2023	500	450	50	R\$ 300,00
12/09/2023	600	420	180	R\$ 1.080,00
13/09/2023	500	400	100	R\$ 600,00
14/09/2023	500	400	100	R\$ 600,00
22/09/2023	500	400	100	R\$ 600,00
03/10/2023	500	450	50	R\$ 300,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 11 - Dados coletados - Soluclean concentrado (SX40)

Soluclean SX40				
Data de Fabricação	Quant. Estimada (L)	Quant. Obtida (L)	Perda em (L)	Perda em (\$)
02/08/2023	500	400	100	R\$ 1.500,00
04/08/2023	500	390	110	R\$ 1.650,00
24/08/2023	500	450	50	R\$ 750,00
05/09/2023	500	400	100	R\$ 1.500,00
21/09/2023	1000	900	100	R\$ 1.500,00
03/10/2023	500	450	50	R\$ 750,00
17/10/2023	600	430	170	R\$ 2.550,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Após esta avaliação, foi possível estimar o volume perdido durante o processo de envase para cada produto. Isso proporcionou uma avaliação do impacto econômico para a empresa. As perdas foram calculadas em termos monetários, considerando os preços de venda por litro de cada produto: R\$ 6,00 para o IX20 e o SX20, e R\$ 15,00 para o IX40 e o SX40 e o preço de custo por litro de cada produto: R\$ 0,85 para o IX20, R\$ 0,42 para o SX20, e R\$ 1,35 para o IX40 e R\$ 0,87 para o SX40. Além disso, foi realizada uma análise média mensal dessas perdas, permitindo uma estimativa do prejuízo econômico geral da empresa durante o processo de envase desses produtos.

Dessa forma, após uma coleta completa de informações e a execução das análises de dados numéricas, foi possível efetuar uma estimativa do valor médio mensal de prejuízo suportado pela empresa em relação a cada produto fabricado, levando em consideração o preço de venda e o preço de custo dos produtos, conforme apresentado na Tabela 12 e 13 respectivamente.

Tabela 12 - Perdas mensais por produto (Valor de Venda)

	Interx 1X20	Interx 1X40	Soluclean SX20	Soluclean SX40
Média Mensal	R\$ 5.680,00	R\$ 5.950,00	R\$ 2.060,00	R\$ 3.400,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 13 - Perdas mensais por produto (Valor de Custo)

	Interx 1x20	Interx 1x40	Soluclean Sx20	Soluclean Sx40
Média Mensal	R\$ 804,67	R\$ 535,50	R\$ 144,20	R\$ 197,20

Fonte: Autoria própria (2023)

Desta forma, somando todos os valores de cada produto, o valor mensal perdido pela empresa considerando o valor de venda é de aproximadamente R\$

17000,00, já o valor perdido considerando o valor de custo dos produtos é de aproximadamente R\$ 1.700,00.

4.3.2. Identificação de Custos e Investimentos

Para determinar os custos e o investimento necessário para a incorporação dos equipamentos, é essencial conduzir um minucioso levantamento de despesas. Esse processo envolve a identificação precisa dos tipos de equipamentos exigidos, bem como a avaliação dos custos relacionados à mão de obra, manutenção e outros elementos relevantes.

Nesse sentido, foi conduzida uma pesquisa abrangente de mercado para obter informações sobre os valores dos equipamentos necessários e as despesas associadas à implementação do projeto de automação na empresa.

4.3.2.1. Escolha dos Equipamentos

Para que seja possível confiar na precisão dos dados coletados, é imprescindível que seja feita a escolha correta do sensor que será utilizado, levando em consideração o tipo de tanque, o fluido que será monitorado e o regime de operação, para que o sensor seja o mais adequado para o sistema de controle.

Como se trata de um sensor que será utilizado para monitorar o nível de água que será adicionado dentro dos tanques, a quantidade de produto produzido, bem como o nível do produto acabado na hora do envase, é necessário que o instrumento seja resistente a produtos químicos, que possa ser integrado a uma interface homem-máquina (IHM) e que forneça uma boa confiabilidade das medidas. Para reduzir também os erros de cálculo, o sinal do sensor será enviado para um CLP, que consiste em um computador robusto utilizado para automação industrial (MARINHO, 2022).

A fim de estabelecer a lógica de programação no CLP, é necessário definir os parâmetros a serem monitorados e o funcionamento do programa. Dado que o sensor será empregado para determinar a quantidade de água a ser adicionada ao tanque e para controlar a válvula durante o processo de envase, a programação será configurada de modo que o operador especifique qual tanque será preenchido e qual o volume de água a ser adicionado. Nesse cenário, a válvula do tanque designado será aberta, e assim que o volume atingir o valor definido pelo operador, a válvula será fechada.

Após essa etapa, o processo prosseguirá manualmente, com o operador adicionando as demais matérias-primas no tanque e ativando o processo de agitação. Ao término da agitação, o operador desligará o agitador e confirmará o nível final do produto. Se necessário, mais água será adicionada para atingir a quantidade final do produto.

No momento do envase, o sensor operará controlando a abertura e o fechamento da válvula de saída. Durante o processo de envase, o operador informará ao controlador o volume da embalagem a ser envasada. Assim, a válvula será aberta automaticamente para iniciar o envase, e ao concluir o envase de uma embalagem, a válvula será fechada. Após o fechamento da válvula, haverá um intervalo de 30 segundos para permitir a colocação de outra embalagem a ser envasada.

Portanto, a seleção do sensor apropriado requer uma análise abrangente, levando em consideração não apenas as condições ambientais, mas também as características dos tanques e dos produtos fabricados. É crucial assegurar que o sensor escolhido não seja suscetível a interferências causadas por fatores como vapor, formação de espuma e o processo de agitação. Os produtos são confeccionados em tanques de configuração aberta, equipados com agitadores, conforme ilustrado na Figura 18.

Com base nas informações anteriores, levando em consideração os produtos fabricados, o regime de operação, o sistema de controle e as considerações estruturais para a instalação, chegou-se à conclusão de que sensores de pressão diferencial são a escolha mais adequada para atender aos requisitos da operação. Nesse contexto, procedeu-se a uma pesquisa junto a fornecedores e avaliou-se as melhores opções de sensores que operam com base no princípio de pressão diferencial. Após essa análise, determinou-se que o sensor de nível por radar se destacou como a alternativa mais apropriada para atender às necessidades do processo.

Os sensores do tipo radar, conforme descrito Freitas (2013), operam por emissão de ondas eletromagnéticas na faixa de frequência de 3 a 30 GHz. Esses sensores demonstram pouca sensibilidade a variações de temperatura e à presença de espuma. Apesar de apresentarem um custo relativamente mais elevado, a escolha

de sensores radar se mostra altamente indicada para o processo da empresa, especialmente considerando que os produtos fabricados tendem a gerar espuma em quantidades consideráveis.

Conforme afirmado por Matos (2019), a instalação do sensor de nível do tipo radar é realizada no topo do tanque. O cone de emissão do sensor é posicionado de maneira a servir de suporte para o sensor, direcionando-se para baixo, em ângulo perpendicular em relação ao líquido a ser monitorado. A variação no nível do líquido é detectada a partir do sinal refletido pela superfície do líquido que retorna diretamente ao sensor. A capacidade de refletividade desse sinal depende das propriedades de condutividade elétrica e da constante dielétrica do material, o que é particularmente relevante no caso dos produtos químicos a serem monitorados.

Com isso, o modelo selecionado foi o sensor de nível tipo radar modelo LW2120 da marca IFM Electronic GMBH, altamente recomendado por sua capacidade de medir com precisão os níveis de líquidos e meios viscosos em tanques com uma altura de até 10 metros, incluindo a possibilidade de medição de vazão. Este sensor se destaca por sua instalação simplificada e pela aplicação de um algoritmo inteligente no dispositivo, que torna a parametrização através da interface IO-Link, que é um padrão de rede de comunicação industrial de curta distância, bidirecional usada para conectar os sensores digitais a interface, extremamente conveniente. Geralmente, apenas alguns ajustes de altura de referência são necessários. Uma vez que o sensor é devidamente configurado, ele fornece instantaneamente dados de nível de enchimento com precisão milimétrica via IO-Link. A Figura 23 ilustra um exemplo do modelo escolhido.

Figura 23 - Sensor de nível tipo radar modelo LW2120



Fonte: IFM

4.3.2.2. Projeto de Instalação

Na Figura 16, é possível observar o arranjo dos tanques nas instalações da empresa. Para a efetiva implementação da automação do processo, os sensores serão posicionados acima dos tanques. Além dos sensores, as válvulas de alimentação e de saída dos tanques serão substituídas por válvulas de controle. Os sinais gerados pelos sensores serão então transmitidos ao sistema de controle por meio de cabos de sinal, estabelecendo a conexão entre os sensores, as válvulas de controle e o CLP.

4.3.3. Projeção de Benefícios

Após a realização de projeções e considerando os valores das perdas atualmente enfrentadas pela empresa, juntamente com os investimentos necessários para implementar o sistema de automação em seu processo de produção, fica evidente que a introdução desse sistema trará benefícios significativos à empresa. As maiores perdas observadas atualmente ocorrem durante o processo de envase. A implantação desse sistema automatizado tem o potencial de reduzir essas perdas em quase 100%, uma vez que todas as etapas do processo serão realizadas por sensores, eliminando desperdícios durante o envase e prevenindo tanto o subenvase quanto o superenvase.

4.3.4. Cálculo de Retorno sobre Investimento (ROI)

Após concluir as pesquisas de mercado e definir os equipamentos a serem utilizados, foram identificados os custos associados a esses equipamentos e os

gastos totais necessários para a implementação do projeto, conforme detalhado na Tabela 14.

Tabela 14 - Custo do projeto

Equipamentos Necessários	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
CLP	1	R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00
Válvulas de Controle	8	R\$ 2.500,00	R\$ 20.000,00
Sensores de Nível	4	R\$ 6.364,80	R\$ 25.459,20
Mão de obra - Instalação	-	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00
Manutenção Mensal	-	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Total do Projeto		R\$	136.459,20

Fonte: A autoria própria (2023)

De acordo com os dados apresentados na Tabela 14, o custo total do projeto, abrangendo a instalação dos quatro sensores de nível, as válvulas de controle, o CLP e os gastos relativos à instalação, são de R\$ 136.459,20. Com base na estimativa de redução mensal de perdas, considerando o valor de venda, que se situa em torno de R\$ 17.000,00, é possível concluir que o investimento necessário para implementar esse projeto será recuperado em menos de oito meses.

No entanto, ao considerar o valor do custo para a produção dos produtos e uma redução mensal de perdas estimada em aproximadamente R\$ 1.700,00, a projeção indica que o investimento será quitado em cerca de 6 anos.

Essa comparação entre os valores de redução de perdas e os custos do projeto revela diferentes perspectivas sobre o retorno do investimento, mostrando uma discrepância significativa nos prazos de retorno com base nos dois cenários considerados.

Analisando a sensibilidade do projeto em relação à variação dos preços das matérias-primas, foram conduzidos cálculos considerando um aumento e uma redução de 10% nos custos. Com base nessa análise, os cálculos indicam que, diante de um aumento de 10% nos preços, o prazo de retorno estima-se em cerca de 6 anos, enquanto uma redução de 10% resultaria em um prazo de retorno aproximado de 7 anos.

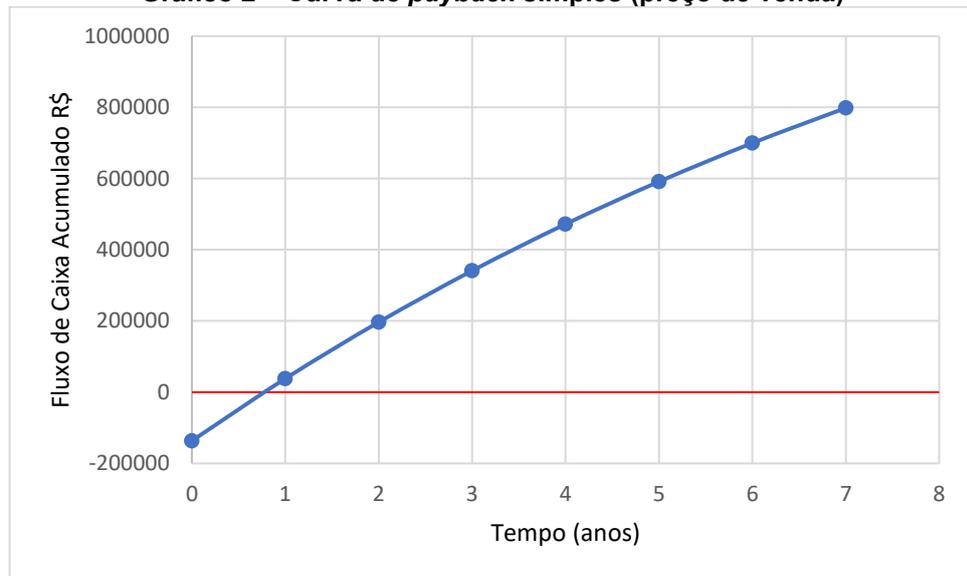
Essa abordagem de análise de sensibilidade demonstra como as oscilações nos custos das matérias-primas podem influenciar significativamente o período de retorno do investimento. Esses cenários alternativos oferecem uma visão mais abrangente dos possíveis desdobramentos do projeto, considerando diferentes flutuações nos preços das matérias-primas envolvidas.

Na avaliação da viabilidade financeira do projeto, o cálculo do ponto de equilíbrio do fluxo de caixa foi determinado utilizando a Equação 8. Com um custo fixo de implementação do projeto de R\$ 1.000,00, uma receita estimada de R\$ 17.000,00 e custos variáveis de aproximadamente R\$ 500,00, o ponto de equilíbrio foi calculado em cerca de 6%.

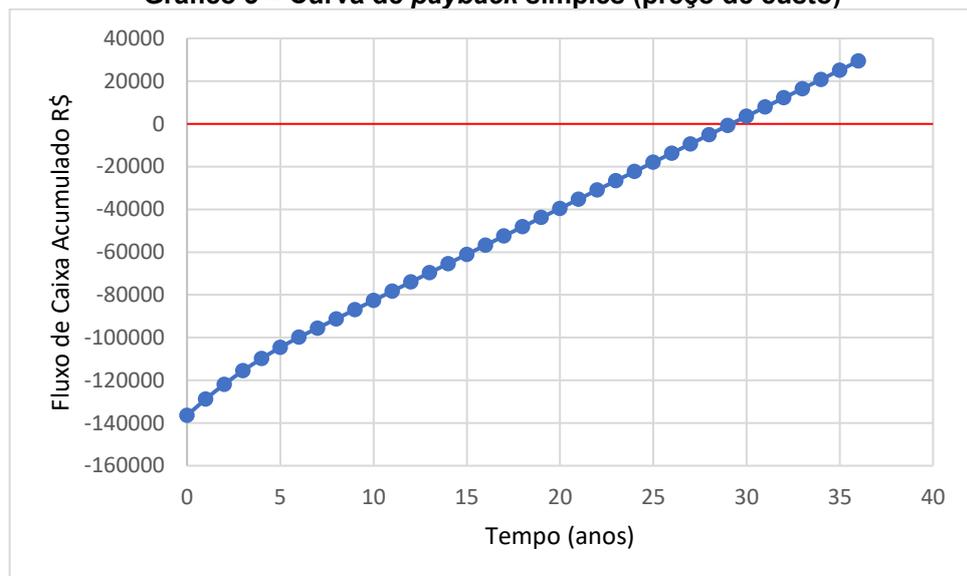
Contudo, ao considerar o valor de custo do produto, com uma receita de R\$ 1.700,00, o ponto de equilíbrio aumentou significativamente para cerca de 83%. Isso ressalta a sensibilidade do ponto de equilíbrio em relação às variações nos preços de venda e nos custos do produto.

Dado o custo total do projeto de R\$ 136.459,20 e utilizando o ponto de equilíbrio, estima-se que a empresa terá despesas mínimas de R\$ 8.187,55 antes do projeto começar a gerar lucros, considerando o valor de venda. No entanto, se considerarmos o valor de custo do produto, as despesas mínimas projetadas serão de R\$ 113.261,14. Esses números representam o montante que a empresa precisará cobrir até atingir o estágio em que as receitas superam os custos, evidenciando a diferença substancial nos custos iniciais dependendo do preço de venda estabelecido.

Os Gráficos 2 e 3, apresentam um comparativo utilizando o método de *payback* simples para diferentes cenários. No cenário considerando o valor de venda, ao longo de cerca de 7 anos, o total acumulado no fluxo de caixa atinge aproximadamente R\$ 800.000,00, alcançando o ponto de equilíbrio em menos de 1 ano. Por outro lado, no cenário baseado no preço de custo, o tempo necessário para atingir o ponto de equilíbrio é muito mais extenso, aproximadamente 30 anos.

Gráfico 2 – Curva de *payback* simples (preço de venda)

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 3 – Curva de *payback* simples (preço de custo)

Fonte: Autoria própria (2023)

Considerando a diferença significativa nos fluxos de caixa acumulados nos dois cenários ao longo do período de 7 anos, é evidente que a consideração do valor de venda em contraposição ao preço de custo exerce um impacto substancial na lucratividade ou prejuízo do projeto. Enquanto o cenário baseado no valor de venda resulta em um fluxo de caixa positivo considerável, indicando potencial lucrativo, o cenário que leva em conta apenas o preço de custo mantém o fluxo de caixa acumulado em um patamar negativo, sinalizando a inviabilidade financeira ou um retorno insatisfatório do investimento no período analisado.

Essa discrepância ressalta a importância de considerar não apenas os custos iniciais do projeto, mas também os ganhos potenciais ao longo do tempo. Decisões baseadas unicamente nos custos de entrada podem subestimar ou ocultar o verdadeiro potencial lucrativo de um empreendimento. Assim, a análise do valor de venda versus o preço de custo destaca a relevância de uma visão holística e abrangente na avaliação de investimentos, levando em conta tanto os gastos quanto as receitas esperadas para uma tomada de decisão mais precisa e informada.

4.4. PLANO DE AÇÃO

Após a realização da análise de viabilidade econômica para a implementação dos sensores e da automatização do processo de envase, foi determinado um plano de ação fazendo o uso da metodologia 5W2H.

4.4.1. 5W2H

Como mencionado, a metodologia contribui para a elaboração de um quadro de atividades que simplifica a execução do projeto, como representado pela Tabela 15.

Tabela 15 - 5W2H para estruturação do planejamento do projeto

What?	Why?	Where?	When?	Who?	How?	How Much?
Implementação de sensores de nível nos tanques de mistura, a fim de melhorar no processo de produção tendo um melhor controle no nível de água adicionada no tanque, bem como na hora do envase.	Com o processo de produção atual, não é possível obter um controle de nível nos tanques de mistura e nem no envase, acarretando assim em perdas de produtos para empresa. Com a automação e a implementação dos sensores busca-se uma melhor eficiência do processo.	A implementação dos sensores será nos tanques de mistura e será programado para abrir e fechar as válvulas dos tanques, bem como as válvulas do processo de envase.	Assim que o projeto for aprovado.	Os fornecedores dos equipamentos, juntamente com a equipe da produção.	Os equipamentos serão implementados no processo de produção, onde será utilizado um CLP, os sensores de nível nos tanques de mistura e as válvulas de controle na entrada e saída dos tanques.	Para a diminuição das perdas no envase, a implementação da automatização do processo gerará uma economia de aproximadamente R\$ 17000,00 por mês, e todo o custo do projeto será pago em menos de 8 meses.

Fonte: Autoria própria (2023)

Dessa maneira, a execução do plano de ação detalhado na Tabela 15, que envolve a instalação de sensores e a automação de peças específicas do processo de produção, constitui uma abordagem eficaz para estruturar e realizar de maneira precisa as melhorias propostas no processo. Além disso, esse empreendimento visa de forma significativa à redução das perdas de produtos durante a etapa de envase.

5. CONCLUSÃO

Com base na análise realizada ao longo de um período de três meses, a introdução da automação parcial nos processos produtivos demonstrou-se essencial para minimizar as significativas perdas financeiras, sobretudo durante a etapa de envase dos quatro produtos principais da empresa. A proposta de investimento, centrada na implementação de sensores de nível e válvulas de controle, não apenas possibilitará a regulação precisa do volume de água nos tanques de mistura, mas também automatizará o processo de envase.

A análise detalhada de viabilidade econômica revelou custos associados à implementação da automação, resultando em um retorno financeiro expressivo quanto ao preço de venda dos produtos. As perdas mensais atuais, estimadas em R\$ 17.000,00, poderiam quase desaparecer com a introdução dos sensores e da automação, assegurando uma confiabilidade considerável na quantidade de produto envasado. Destaca-se, ainda, que o prazo de retorno do investimento é inferior a oito meses, indicando uma rápida recuperação dos custos iniciais, considerando o valor de venda dos produtos.

Entretanto, ao analisar a viabilidade econômica considerando os preços de custo dos produtos, a estimativa revelou uma perda financeira de cerca de R\$ 1.700,00, valor que poderia ser economizado com a implementação dos sensores. No entanto, o prazo de retorno nesse cenário é significativamente mais longo, aproximadamente 6 anos.

Essa discrepância nos prazos de retorno se destaca ao considerar o valor de venda em comparação ao valor de custo dos produtos. Enquanto a implementação da automação mostra-se rapidamente viável quando vinculada ao valor de venda, a mesma estratégia revela um retorno substancialmente mais demorado ao relacioná-la ao custo dos produtos. Essa diferença ressalta a sensibilidade do investimento em automação às variáveis de preço, evidenciando a importância de uma análise minuciosa em diferentes cenários para determinar a viabilidade econômica de tal implementação.

Contudo, é imprescindível salientar que essa iniciativa não apenas reduzirá as perdas financeiras, mas também aumentará a confiabilidade e consistência na produção, garantindo a adição precisa de água nos tanques e

contribuindo para a melhoria da qualidade final dos produtos. Adicionalmente, a automação aliviará os colaboradores de tarefas manuais repetitivas, agilizará o processo de envase e aprimorará a segurança no ambiente de trabalho.

Com isso é possível concluir que o investimento em instrumentos e automação para o controle de processo não apenas eleva significativamente a eficiência operacional, segurança, qualidade e confiabilidade do produto, mas também apresenta um prazo de retorno para o investimento inferior a oito meses, o que reforça a viabilidade e a atratividade financeira dessa estratégia para a competitividade e a sustentabilidade do negócio no mercado atual.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Limpeza (ABIPLA). As vendas de produtos de limpeza cresceram 8,4% em 2021 e o Brasil assumiu a 5ª posição no ranking global. In: ABIPLA. Notícias ABIPLA, 23 maio 2022. Disponível em: <<https://abipla.org.br/producao-de-saneantes-surpreende-no-1o-semester-e-deve-crescer-acima-do-esperado-em-2023/>>. Acesso em: 21 atrás. 2023.

ALVES, JL Instrumentação, Controle e Automação de Processos. 2. ed. Rio de Janeiro - RJ: Grupo GEN, 2010. ISBN 978-85-216-1917-8. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1917-8/>>. Acesso em: 29 ago. 2023.

ASSIS, Luiz Gustavo. Proposta de implementação de um sistema de controle e automação em um reator químico industrial. 2021. 56 f., il. Monografia (Pós-graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté, 2021.

BRANDÃO, Dennis. Conceitos de Instrumentação. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=925282>. Acesso em: 12 de dez. de 2023.

BRANDÃO, R. Pandemia faz setor de limpeza ampliar portfólio. Valor Econômico. São Paulo, 4 jan. 2021. Disponível em: <<https://valor.globo.com/empresas/noticia/2021/01/04/pandemia-faz-setor-de-limpeza-ampliar-portfolio.ghtml>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

BOJORGE, Ninoska. Sistemas de Medição de Nível. Disponível em: https://www.professores.uff.br/ninoska/wp-content/uploads/sites/57/2017/08/Aula06_Instrument-Nivel_1sem2017.pdf. Acesso em: 12 de dez. de 2023.

CAMPOS, M.C.M.M.de; TEIXEIRA, H.C. Controles típicos de equipamentos e processos industriais. [S.l.]: Edgard Blücher, 2006.

CETESB/ABIHPEC. Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos - ABIHPEC. Guia Técnico Ambiental. Disponível em: <<https://abihpec.org.br/publicacao/guia-tecnico-ambiental/>>. Acesso em: 21 ago. 2023.

DE PAULA, GB O que é 5W2H: reduza incertezas, ganhe produtividade e aprenda como fazer um plano de ação. Treasy, 8 de novembro de 2015. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/5w2h/>>. Acesso em: 25 set. 2023.

ECYCLE. “Como funcionam e quais as alternativas aos detergentes”. Equipe eCycle, 2019. Disponível em: <<https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/como-funcionam-e-quais-as-alternativas-aos-detergentes>>. Acesso em: 09 set. 2023.

ENGLER. As vendas de produtos de limpeza cresceram 8,4% em 2021 e o Brasil assumiu a 5ª posição no ranking global. Notícias ABIPLA, 23 maio 2022. Disponível em: <<https://abipla.org.br/producao-de-saneantes-surpreende-no-1o->

semestre-e-deve-crescer-acima-do-esperado-em-2023/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

FARIAS, Pedro Henrique Monteiro. O uso da quelação para fins terapêuticos. Disponível em: <<http://www.petquimica.ufc.br/o-uso-da-quelacao-para-fins-terapeuticos/>>. Acesso em: 25 set. 2023.

FELIPE, L.; DIAS, S. Surfactantes sintéticos e biossurfactantes: vantagens e vantagens. Química Nova da Escola, v. 03, pág. 228-236, 2017.

FREITAS, João Mário Mendes de. Sensor de nível por micro-ondas e tecnologia RADAR-FMCW. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013. Acesso em: 20 out. 2023.

GIRALDO, Sergio Andrés Castaño. Controle Automático Educação. Tanque Nível. Disponível em: <<https://controlautomaticoeducacion.com/analisis-de-sistemas/tanque-nivel/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

JARDIM, Izaac Vieira. Sistema Didático de Controle de Nível em Tanques Acoplados. 2019. 79 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019. Acesso em: 12 dez. 2023.

KUSHIDA, MM Características dos detergentes de uso industrial. Departamento de Engenharia de Alimentos, USP (Universidade de São Paulo), São Paulo, 2021. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5274276/mod_resource/content/2/4%20-%20DETERGENTES .pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5274276/mod_resource/content/2/4%20-%20DETERGENTES.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2023.

MCCABE, WL; SMITH, JC; HARRIOTT, P. Operações unitárias de engenharia química. 5ª Edição. Nova York: McGraw-hill, 1993.

MACHADO, F. Tensoativos. 2016. Disponível em: <<https://formuladesabaoartesanal.com/tensoativos/>>. Acesso em: 20 set. 2023.

MARINHO. O que é um PLC? Hidráulica e Pneumática, 2022. Disponível em: <<https://hidraulicaepneumatica.com/o-que-e-um-plc/>>. Acesso em: 20 out. 2023.

MATOS, E. Sensor de Nível Contínuo – Como Funciona a Medição de Nível Com Eles? Instrumentação e Controle, 2019. Disponível em: <<https://instrumentacaoecontrole.com.br/sensor-de-nivel-contínuo/>>. Acesso em: 20 out. 2023.

PEREIRA, Danillo Arruda R. Projeto de um sistema de automação industrial para uma indústria de produtos saneantes. 2015. 85 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Automotiva) — Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

ROURE, M. Medição de Nível – Tudo para você virar um especialista no assunto. Instrumentação e Controle, 2018. Disponível em: <<https://instrumentacaoecontrole.com.br/tudo-sobre-medicao-de-nivel/>>. Acesso em: 29 ago. 2023.

SANTO, MEME; PEREIRA, LABP ANDRADE, JBGA; MARTINS, RWRM A eficácia do medidor de nível por empuxo em sua aplicabilidade. Bolsista de Valor, v. 4, p. 7. Essência: Rio de Janeiro, 02 mai. 2015. Disponível em:

<<https://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/6746>>. Acesso em: 05 set. 2023.

SANTOS, Rafaela Yukari Miyauti dos. Implementação de sensores de nível para controle do consumo de químicos em uma fábrica de latas. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

SEO, L. Entendendo os surfactantes: abordagem teórica. 11 de novembro. 2017. Disponível em: <<https://www.meucabelonatural.com.br/blog/post/entendendo-os-surfactantes-abordagem-teorica>>. Acesso em: 09 set. 2023.

SMULDERS, E. et al. Detergentes para a roupa. Weinheim: Wiley-Vch, 2002.

SOUZA, L.A "Ação oxidante dos alvejantes". Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/acao-oxidante-dos-alvejantes.htm>>. Acesso em: 09 set. 2023.

STPP. "De que é feito o detergente líquido?". Grupo STTP. 27 de maio. 2021. Disponível em: <<https://stppgroup.com/what-is-liquid-detergent/>>. Acesso em: 10 set. 2023.

WILLIAM, G. Material de Limpeza – Guia Definitivo e Completo. Higiclaro. 27 fev. 2021. Disponível em: <<https://www.higiclear.com/artigos/material-de-limpeza/>>. Acesso em: 22 ago. 2023.