

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

**MURILO MARCOS BATISTA**

**AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE MISTURADORES PARA UMA EMPRESA  
DE PRODUTOS DE LIMPEZA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Londrina**

**2022**

MURILO MARCOS BATISTA

**AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE MISTURADORES PARA UMA EMPRESA  
DE PRODUTOS DE LIMPEZA**

**EVALUATION AND MIXERS SIZING FOR A CLEANING PRODUCT 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: Prof. Dr. Lucas Bonfim Rocha

Londrina

2022



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.

**MURILO MARCOS BATISTA**

**AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE MISTURADORES PARA UMA EMPRESA  
DE PRODUTOS DE LIMPEZA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30 de novembro de 2022.

---

Prof. Dr. Lucas Bonfim Rocha - Orientador  
Doutor em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Admilson Lopes Vieira – Membro  
Doutor em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Juliano Cesar Silva – Supervisor de Estágio  
Químico Industrial  
J.C. Silva - Produtos de Limpeza | Cleandet

**LONDRINA**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a todos os amigos, colegas e professores da UTFPR que estiveram comigo em toda minha jornada.

Ao professor Lucas Bonfim Rocha, que mesmo com todos os afazeres como coordenador do curso, dispôs um tempo para me orientar neste trabalho.

Ao dono da empresa Cleandet, Juliano Cesar Silva, por ter disponibilizado o espaço e as instalações da empresa como objeto de estudo deste trabalho.

Em especial, queria agradecer a minha mãe por sempre me incentivar a continuar estudando e buscando novos conhecimentos.

E por fim a Deus, por ter me dado forças para continuar seguindo em frente.

## RESUMO

BATISTA, Murilo Marcos. Avaliação e dimensionamento de misturadores para uma empresa de produtos de limpeza. TCC (Curso de Engenharia Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Londrina, 2022.

Considerando o crescimento das indústrias de produtos de limpeza pelo país e pelo mundo, ocasionado principalmente pela sua importância após a pandemia do coronavírus, é imprescindível se estudar melhorias para as operações de mistura e agitação dessas indústrias, tendo em vista que são misturados diferentes tipos de matérias-primas na composição de seus produtos. Dessa maneira, este trabalho vem com a proposta de se avaliar as dimensões e condições dos equipamentos que compõem os misturadores de uma indústria de limpeza, a fim de se melhorar o processo de mistura, contribuindo assim, para a qualidade dos seus produtos. Para isso, foram utilizadas proporções ideais, vistas na literatura, como medida de comparação. As avaliações mostraram que os tanques não possuíam componentes fundamentais para seu funcionamento, como as chicanas defletoras. Sabendo-se que a formação de vórtice em tanques é um problema para o processo de mistura, foi proposta a colocação de chicanas defletoras nos tanques. Foi verificado que os impelidores utilizados não seguem as proporções recomendadas segundo a literatura, além disso, as classes dos impelidores não são adequadas, tendo em vista seus formatos para se agitar os líquidos que são produzidos. Com isso, foram propostos outros três tipos de impelidores, considerando as propriedades dos líquidos estudados, sendo eles: a turbina de pás inclinadas em 45°; a turbina de Rushton; e o impelidor do tipo hélice. Com os tipos de impelidores selecionados, foi dimensionado suas proporções ideais, sendo recomendado impelidores de 40 cm de diâmetro, podendo ter de um a dois impelidores em seu eixo do rotor. Em seguida, foi calculada a potência consumida na agitação de quatro diferentes líquidos que são produzidos pela empresa, em função do tipo de impelidor proposto e variando-se sua velocidade de rotação. Para isso foi necessário avaliar a faixa de velocidade ideal para se agitar cada líquido, considerando também o perfil de escoamento do impelidor. Por fim, foi possível calcular a potência consumida para a agitação em cada caso e assim, foi proposta a utilização de motores de 0,5 cv e 1,5 cv dependendo do caso.

**Palavras-chave:** Mistura; Agitação; Impelidores; Produtos; Limpeza.

## ABSTRACT

BATISTA, Murilo Marcos. Evaluation and mixers sizing for a cleaning product company. TCC (Course of Chemical Engineering) - Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Londrina, 2022.

Considering the growth of the cleaning product industries across the country and the world, mainly due their importance after the coronavirus pandemic, it is essential to study improvements for the mixing and agitation operations of these industries, considering different types of materials in the composition of its products. That way, this work comes with the proposal to evaluate the dimensions and conditions of the equipment that makes up the mixers of a cleaning industry, in order to improve the mixing process, thus contributing to the quality of the products. For this, ideal proportions, seen in the literature, were used as a measure of comparison. The evaluations showed that the tanks did not have fundamental components for their operation, such as deflector baffles. Knowing that the formation of vortex in tanks is a problem for mixing process, it was proposed the placement of deflector baffles in the tanks. It was verified that the impellers used do not follow the recommended proportions according the literature, in addition, the impeller classes are not suitable for stirring the liquids that are produced, in view of their formats. With that, three other types of impellers were proposed, considering the properties of the liquids studied, they are: the turbine with blades tilted at a 45°; the Rushton turbine; and the propeller impeller. Considering selected types of impellers with their ideal proportions dimensioned, recommending impellers with 40 cm in diameter, which may have one to two impellers on their rotor axis. Then, the power consumed in the agitation of four different liquids that are produced by the company was calculated, depending on the type of impeller proposed and varying its rotation speed. For this, it was necessary to evaluate the ideal speed range to stir each liquid, also considering the flow profile of the impeller. Finally, it was possible to calculate the power consumed for agitation in each case and thus, it was proposed to use 0,5 hp and 1,5 hp motors depending on the case.

**Keywords:** Mixing; Stirring; Impellers; Products; Cleaning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Resultados do crescimento de mercado para os produtos de limpeza no Brasil. ....	11
Figura 2 - Dados para o balanço de mercado de produtos de limpeza em 2021. ....	12
Figura 3 - Ilustração de um típico tanque de agitação industrial. ....	18
Figura 4 - Impelidores tipo turbina de pás retas em 90° vertical e do tipo Rushton...20	
Figura 5 - Impelidor tipo turbina de pás curvas. ....	21
Figura 6 - Impelidores do tipo: a) pás inclinadas e b) hydrofoil. ....	21
Figura 7 - Impelidor tipo hélice marinha. ....	22
Figura 8 - Exemplos de formatos de impelidores do tipo pás.....	23
Figura 9 - Padrões de escoamento axial, radial, tangencial e misto. ....	24
Figura 10 - Esquemática do efeito de vórtice em um tanque agitado. ....	25
Figura 11 - Exemplos de Partículas Primárias, Agregados e Aglomerados.....	26
Figura 12 – Esquemática da dissolução de uma partícula aglomerada. ....	27
Figura 13 - Comparação de simulações feitas em CFD para o escoamento em um tanque sem chicanas (a) e um tanque com chicanas (b). ....	29
Figura 14 – Diferença de fluxos de escoamento variando-se a largura das chicanas defletoras localizados na parte inferior de um tanque, de um menor tamanho (a) aumentando gradativamente o tamanho até (d).....	29
Figura 15 – Fluidodinâmica computacional para tanques equipados com defletores padrão, variando-se a altura do fundo cônico. ....	30
Figura 16 – Tipos de tensoativos.....	32
Figura 17 – Viscosímetro do tipo copo Ford com orifício de n° 4; (a) vista geral do instrumento; (b) vista de cima do copo.....	36
Figura 18 – Instrumento utilizado para a medição da densidade das amostras.....	37
Figura 19 – Disposição e arranjo dos tanques na empresa. ....	38
Figura 20 – Modelo dos tanques utilizados: (a) visão interna; (b) visão externa. ....	38
Figura 21 –Tanque 1 contendo duas chicanas e um eixo impelidor com três impelidores do tipo pás retas em forma de folha. ....	39
Figura 22 – Impulsor do tipo grade: (a) vista de fora; (b) vista de dentro do tanque. ....	39

Figura 23 – Motor utilizado para a agitação acoplado a uma caixa de redução.....	40
Figura 24 – Esboço representativo das medidas consideradas para os cálculos de geometria do tanque. ....	42
Figura 25 – Proporções padrões recomendadas por Gerhartz (1988) para diversos tipos e formatos de impelidores (neste trabalho considerou-se $D = T$ ). ....	44
Figura 26 – Seleção do tipo de impelidor em função da viscosidade do meio a ser agitado. ....	45
Figura 27 – Seleção do tipo de impelidor para tanques em função da viscosidade, segundo Rase (1997).....	45
Figura 28 – Medidas características de um tanque agitado. ....	46
Figura 29 – Número de potência para vários tipos de impelidores em função do número de Reynolds do impelidor para fluidos newtonianos: (a) hélice naval; (b) pás retas; (c) pás retas e disco (turbina de Rushton), $W/D = 0,2$ ; (d) pás encurvadas, $W/D = 1/8$ ; (e) pás inclinadas com passo de $45^\circ$ e $W/D = 1/8$ ; (f) pás retas sem chicanas. ....	49
Figura 30 – Amostras utilizadas para o estudo de caso; (a) Intericap IX20; (b) Solupan SX20; (c) Shampoo Concentrado; (d) Amaciante.....	51
Figura 31 – Medidas e proporções tomadas para os impelidores da empresa. ....	58
Figura 32 – Proporções padrões recomendadas por Gerhartz (1988), com base na Figura 25, para pás em forma de grade e em forma de folha (neste trabalho considerou-se $D = T$ ).....	58



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporções recomendadas para diferentes tipos de impelidores. ....	46
Tabela 2 – Viscosidades cinemáticas determinadas pelo método de medição do tempo de escoamento com o copo Ford. ....	52
Tabela 3 - Dados de densidades obtidos pelo densímetro. ....	52
Tabela 4 - Viscosidades Dinâmicas para os fluidos estudados com base nos dados de viscosidade cinemática e densidade. ....	52
Tabela 5 - Dados de dimensões do tanque obtidas pela medição com a trena. ....	53
Tabela 6 - Volumes das partes internas do tanque. ....	53
Tabela 7 - Dados de dimensão do fundo cônico do tanque. ....	54
Tabela 8 - Altura do nível de líquido para 1000 litros de líquido sendo agitado. ....	54
Tabela 9 – Dados para as chicanas no Tanque 1. ....	54
Tabela 10 - Dimensões das pás dos impelidores com formato de folha. ....	55
Tabela 11 - Dimensões do impelidor do tipo pás em forma de grade. ....	55
Tabela 12 - Cálculo para determinação da velocidade de rotação do eixo do motor-reductor (em RPS e RPM). ....	55
Tabela 13 - Comparação da razão de preenchimento atual com a ideal. ....	56
Tabela 14 - Comparação da razão entre Largura das Chicanas com o Diâmetro do tanque para o caso atual com o ideal. ....	57
Tabela 15 - Comparação entre dimensões (em cm) e proporções atuais e ideias para os Impelidores do tipo grade e do tipo folha. ....	59
Tabela 16 – Dimensões em centímetros (cm) para os impelidores recomendados ..	61
Tabela 17 - Número de Reynolds em função da velocidade do motor para diferentes tipos de líquidos a serem agitados. ....	62
Tabela 18 - Número de potência em relação ao número de Reynolds do escoamento sob 70 RPM de velocidade do impelidor para diferentes tipos de fluidos em função do tipo de impelidor, segundo o diagrama de Treybal (1980) na Figura 29. ....	64
Tabela 19 - Potências consumidas na agitação de cada fluido em função do tipo de impelidor a 70 RPM. ....	64
Tabela 20 - Dados de potência consumida na agitação em unidades de cavalo-vapor (cv). ....	65

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	Cenário do mercado de produtos de limpeza no Brasil e no mundo. ...	11
1.2	Tipos de produtos de limpeza e suas aplicações	12
1.3	Misturadores e agitadores na indústria	13
1.4	Problemática do estudo de caso	14
1.5	Justificativa	15
1.6	Objetivos	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
2.1	Características de misturadores e agitadores	17
2.2	Impelidores	19
2.3	Classes de impelidores	19
2.3.1	Turbinas	19
2.3.2	Hélices	21
2.3.3	Pás	22
2.4	Fluidodinâmica em misturadores	23
2.5	Dispersão de sólidos em líquidos	26
2.6	Fluidodinâmica computacional (CFD) para misturadores e agitadores	28
2.7	Detergentes e suas composições	31
2.7.1	Tensoativos	31
2.7.2	Sequestrantes	32
2.7.3	Agentes clareadores	33
2.7.4	Álcalis	33
2.7.5	Ácidos	33
2.7.6	Agentes auxiliares	34
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>35</b>
3.1	Materiais e métodos	35
3.1.1	Descrição dos líquidos utilizados	35
3.1.2	Métodos para determinação da viscosidade cinemática e densidade	36
3.1.3	Tanques e impelidores	37
3.1.4	Motor	40
3.2	Avaliação das proporções do tanque e suas chicanas	40
3.2.1	Razão de preenchimento	41
3.2.2	Chicanas defletoras	43
3.3	Avaliação dos impelidores	43
3.3.1	Comparação das medidas atuais com o padrão	43

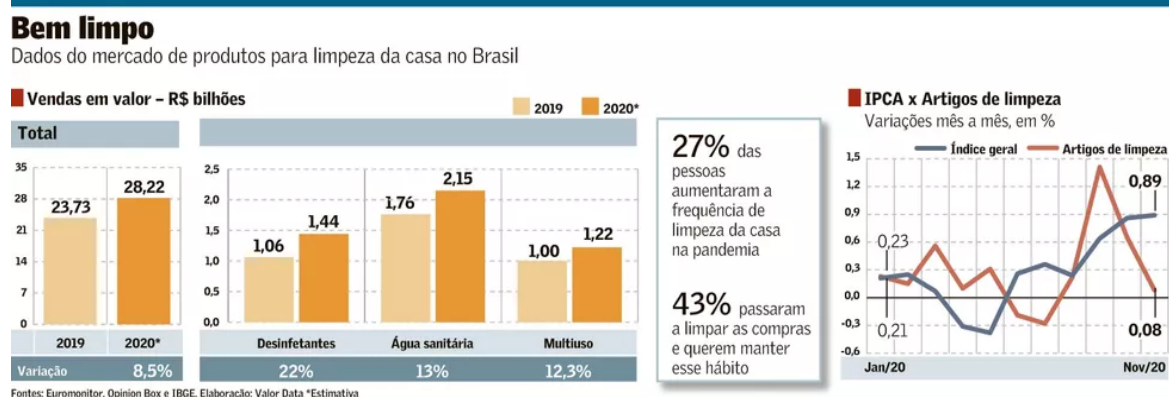
3.3.2	Avaliação e Proposta dos tipos de Impelidores .....	43
3.3.3	Proporções dos novos tipos de impelidores .....	46
<b>3.4</b>	<b>Potência de agitação.....</b>	<b>47</b>
3.4.1	Estudo do regime de escoamento e velocidades do impelidor.....	48
3.4.2	Cálculo da potência requerida para a agitação.....	48
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>51</b>
4.1	Propriedade dos líquidos estudados .....	51
4.2	Dimensões atuais dos tanques, chicanas e impelidores. ....	53
4.3	Dados do motor.....	55
4.4	Razão de preenchimento ( $H/T$ ).....	56
4.5	Chicanas defletoras .....	56
4.6	Impelidores .....	57
4.6.1	Avaliação das proporções atuais dos impelidores .....	57
4.6.2	Avaliação e Proposta de novos tipos de Impelidores .....	60
4.7	Cálculo de potência consumida e dimensionamento de motor.....	61
4.7.1	Verificação do Reynolds e proposta de velocidades.....	61
4.7.2	Cálculo da potência consumida para a agitação .....	63
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Cenário do mercado de produtos de limpeza no Brasil e no mundo.

A crescente demanda por produtos de limpeza vem se intensificando nos últimos anos, não só no Brasil, mas também no mundo todo. Demanda essa causada tanto pela alta diversificação destes produtos como também pelo cenário de pandemia do coronavírus que se agravou em 2020. Tal cenário trouxe a necessidade de um rigoroso padrão de limpeza em diversos estabelecimentos comerciais e residências. A alta demanda impulsionou as vendas refletida pelos novos hábitos de higiene adotados pela população trazendo um crescimento de 8,5% para o setor no Brasil em 2020 (BRANDÃO, 2021). A Figura 1 mostra os resultados do crescimento das vendas de produtos de limpeza no ano de 2020 no Brasil.

**Figura 1** - Resultados do crescimento de mercado para os produtos de limpeza no Brasil.



Fonte: Brandão (2021).

Em relação ao cenário do mercado global o resultado não é diferente, os hábitos de higiene afetaram o mundo todo, como resultado disso, houve um aumento global de vendas para os produtos deste setor. Segundo a ABIPLA (Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Limpeza), em sua pesquisa mais recente do ano de 2022, o Brasil subiu uma posição no rank global de consumo de produtos de limpeza, com um total de vendas de mais de US\$ 6 bilhões em 2021. Neste ranking é possível ver os Estados Unidos em primeiro lugar, seguido pela China, Japão e Alemanha, como mostrado na Figura 2. Segundo o Euromonitor, em 2026 as vendas mundiais de produtos de limpeza devem atingir US\$193,218 bilhões (ABIPLA, 2022).

**Figura 2** - Dados para o balanço de mercado de produtos de limpeza em 2021.

HOUSEHOLD INNOVATION							
BALANÇO DO MERCADO DE LIMPEZA 2021							
Vendas globais de produtos de limpeza – em US\$ bilhões							
2016	2020	2021	2026	2020-2021%	2016-2021%	2021-2026%	
140,09	169,989	176,269	193,218	3,7	25,8	9,6	
Fonte: Euromonitor International 2021							
HOUSEHOLD INNOVATION							
BALANÇO DO MERCADO DE LIMPEZA 2021							
Top 5 países em consumo de produtos de limpeza – em US\$ bilhões							
	2016	2020	2021	2026	2020-2021%	2016-2021%	2021-2026%
Estados Unidos	28,785	34,217	34,140	35,541	-0,2	18,6	18,6
China	15,460	18,073	18,417	20,880	1,9	19,1	19,1
Japão	9,222	10,593	10,334	10,323	-2,4	12,1	12,1
Alemanha	5,583	6,101	6,197	6,721	1,6	11	11
Brasil	4,629	5,569	6,039	6,522	8,4	30,4	30,4
Fonte: Euromonitor International 2021							

Fonte: ABIPLA (2022).

Esta alta necessidade de hábitos de higiene por parte da população possibilitou diversas oportunidades de crescimento das indústrias do ramo de produtos de limpeza no mundo todo, oportunidades tanto de crescimento empresarial como no setor de pesquisas e desenvolvimento de novos produtos, o que reflete em um saldo positivo de empregabilidade para as indústrias deste setor nos anos que estão por vir (QUÍMICA E DERIVADOS, 2022).

## 1.2 Tipos de produtos de limpeza e suas aplicações

A diversidade de ambientes e setores que necessitam de produtos de limpeza fez com que se aumentasse ainda mais a diversificação desses produtos. Eles não são usados só em casa, mas também em todos os setores da indústria, desde restaurantes até o setor automobilístico, existindo sempre um produto para cada aplicação. Quando falamos em produtos de limpeza logo pensamos em detergentes ou sabão. Esses dois produtos são mundialmente utilizados devido a suas aplicações, como remoção de gorduras, em higiene pessoal, sendo assim, produtos importantes a nível económico e social.

Detergentes de uso doméstico e industrial são formulações complexas que podem conter até mais de 25 ingredientes diferentes, dependendo da sua aplicação.

Estes ingredientes podem ser classificados em grupos como: surfactantes; sequestrantes; agentes clareadores e agentes auxiliares (aditivos). Cada componente individual de um detergente tem suas próprias funções específicas no processo de lavagem e, até certo ponto, eles têm efeitos sinérgicos um sobre o outro. Além dos ingredientes mencionados a pouco, alguns aditivos são necessários em razão do produto, enquanto outros materiais podem ser adicionados para melhorar sua aparência (SMULDERS *et al.*, 2002).

Existem três tipos de detergentes hoje na indústria, os detergentes neutros que são comumente utilizados em residência para lavar louças, limpar a mesa, o chão e entre outros objetos de uso comum, os detergentes ácidos, que são utilizados como desincrustantes de superfícies metálicas e, por fim, os detergentes alcalinos que tem alto poder desengraxante. Estes dois últimos são populares no setor automobilístico pois o detergente ácido, comumente chamado de Intercap, é utilizado para limpar superfícies metálicas com ferrugem ou impregnadas com terra e o detergente alcalino, popularmente conhecido como Solupan serve como um desengraxante, retirando as sujeiras provenientes do óleo do motor ou de restos de lubrificantes de peças metálicas (WILLIAM, 2021).

### **1.3 Misturadores e agitadores na indústria**

Como pode ser visto até agora, os produtos de limpeza são de fato muito importantes e suas aplicações são diversas no mercado, no entanto, na indústria, não basta apenas uma “boa química”, deve-se também pensar nos insumos utilizados na produção, matéria-prima, quantidade de produto produzido e, principalmente, o tempo que leva para sua produção. Neste sentido, o trabalho de um engenheiro químico é essencial para este tipo de indústrias. Ele atuará diretamente nas principais operações unitárias presentes neste setor, ficando responsável pela melhoria dos processos de mistura e agitação dos diferentes componentes necessários para a produção de um determinado produto.

A mistura de dois ou mais componentes é uma das operações unitárias mais comuns no nosso dia-a-dia, desde misturar achocolatado com leite, preparar uma sopa ou fazer um bolo, todas essas atividades requerem um método de mistura. Estima-se que esta operação é ainda mais antiga do que a humanidade, no entanto, mesmo parecendo ser um processo simples, ela ainda é parcialmente compreendida. Uma das principais dificuldades encontradas na resolução de problemas de

misturadores está dentro do fato de que muitos dos seus fenômenos apresentam condições de contorno extremamente complexas, além disso, suas características não são nem totalmente simples e nem totalmente determinísticas. O projeto de um misturador baseia-se fortemente nas experiências, intuições e bom-senso dos profissionais, mas não só isso, é requerido também uma gama de estudos a respeito das metodologias e procedimentos utilizados para cada caso (TERRON, 2012).

Duas das principais características de todo misturador e agitador, que fornece uma base para comparação e avaliação são: a eficiência do equipamento de mistura e a intensidade da mistura. A eficiência dos dispositivos de mistura está relacionada à qualidade do processo e pode ter desempenhos diferentes dependendo da finalidade da mistura. Por exemplo, a suspensão de sólidos em um líquido, a eficiência da mistura será o grau de distribuição uniforme da fase sólida em cada volume líquido no equipamento. Já a intensidade da mistura é determinada pelo tempo necessário para atingir um certo grau de mistura levando em conta a energia aplicada neste processo. Do ponto de vista econômico, é benéfico atingir o efeito de mistura no menor tempo possível, levando em conta o consumo total de energia durante todo o processo (UHL; GRAY, 1966).

#### **1.4 Problemática do estudo de caso**

A Cleandet é uma indústria de produtos de limpeza com uma alta variedade de produtos em seu portfólio, sendo seu enfoque direcionado ao público de cuidados para carro, produzindo detergentes ácidos e alcalinos como o Intercap e o Solupan, além de shampoos e outros produtos de limpeza. A grande variedade de produtos traz a necessidade de equipamentos que atendam às diferentes especificações de produção. No caso desta empresa, sua principal operação unitária é a de mistura e agitação dos diferentes líquidos produzidos.

Um dos problemas encontrados é em relação aos seus misturadores e agitadores que, a princípio, não foram devidamente dimensionados levando-se em consideração as características dos fluidos que são produzidos como a viscosidade, densidade e outros fatores físico-químicos que possam interferir na mistura, além disso, essa indústria utiliza várias matérias-primas em formas de pós ou em forma de grânulos, insumos esses que se não forem devidamente misturados, irão gerar pontos de não uniformidade de mistura dentro do tanque, assim, não atendendo as especificações finais do produto desejado.

Atualmente a empresa está avaliando e testando diferentes tipos de impelidores a fim de estimar um melhor desempenho de mistura, no entanto, a falta deste conhecimento na área de projetos é uma das barreiras a serem enfrentadas.

Um dos problemas relatados pela empresa, na qual foi desenvolvida este estudo, é a presença de flóculos de amido não dissolvidos provenientes do processo de mistura da produção de shampoo para carros, amaciantes e dentre outros produtos que levam espessantes sólidos. Além disso muitos outros produtos que levam material sólido em sua composição acabam não tendo um certo grau de uniformidade de mistura no produto final. Conseqüentemente, isso gera uma certa dificuldade na produção e, com isso, surge a necessidade de se realizar um estudo a respeito de um melhor dimensionamento de misturadores para a produção desses produtos.

### **1.5 Justificativa**

A justificativa para este trabalho se dá pela atual necessidade de se desenvolver processos e métodos que melhor contribuam para a preparação e produção dos produtos de limpeza para a empresa estudada. Além disso, este trabalho vem como uma forma de promover o conhecimento e estudo a respeito do assunto de misturadores e equipamentos agitadores na indústria de produtos de limpeza. Contribuindo assim, para a sociedade acadêmica e para pequenas e médias empresas, gerando o conhecimento a respeito de um correto dimensionamento de misturadores e entenderem como cada equipamento que compõe um misturador impacta na produção.

O mau dimensionamento, a falta de conhecimento de misturadores ou o entendimento precipitado a respeito do assunto pode acarretar em um mau aproveitamento dos recursos utilizados, sejam recursos materiais ou em insumos para o processo como energia. Além disso, a má agitação e mistura dos componentes podem gerar produtos sem uniformidade entre eles acarretando em uma má qualidade de produção. Entender melhor o processo de mistura contribui para um melhor aproveitamento dos recursos, além de uma produção mais homogênea.

### **1.6 Objetivos**

No intuito de se avaliar a aplicação dos conceitos de dimensionamento de misturadores e agitadores, este trabalho propõe como objetivo geral melhorar o



processo de mistura de matérias-primas dentro dos misturadores de uma indústria de produtos de limpeza, possibilitando a economia de tempo e insumos no processo. Ele pode contribuir para a elucidação de condições de processos que permitam, de uma certa maneira, diminuir a formação de vórtice no misturador e conseqüentemente acúmulo de materiais sólidos não dissolvidos no seu interior.

Para tanto, alguns objetivos específicos foram estabelecidos, como:

- Levantamento de dados das dimensões do misturador para conhecimento das condições operacionais atuais que levam ao problema de mistura;
- Estudo dos efeitos e impactos de cada equipamento em um misturador;
- Avaliação do dimensionamento de misturadores e equipamentos que o compõem;
- Levantamento dos possíveis pontos a serem melhorados nesta etapa do processo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muitos dos misturadores e agitadores que possuímos hoje na indústria foram resultado de diversos testes e estudos. Um sistema de agitação não é completamente determinístico e, com isso, para cada caso é requerido uma especificação diferente, seja de um tipo de impelidor, vaso de agitação ou chicanas. Através dos anos, com o resultado de diversos testes, desenvolveram-se vários tipos de impelidores e equipamentos que integram um sistema de mistura, com o objetivo de garantir um bom funcionamento e segurança do processo. A seguir, nesta seção, serão apresentados os estudos que são feitos atualmente sobre misturadores na literatura, mostrando como cada equipamento e fenômenos que ocorrem dentro de um misturador podem afetar a eficiência deste processo, além disso, será mostrado os diferentes materiais necessários para a composição de um produto de limpeza.

### 2.1 Características de misturadores e agitadores

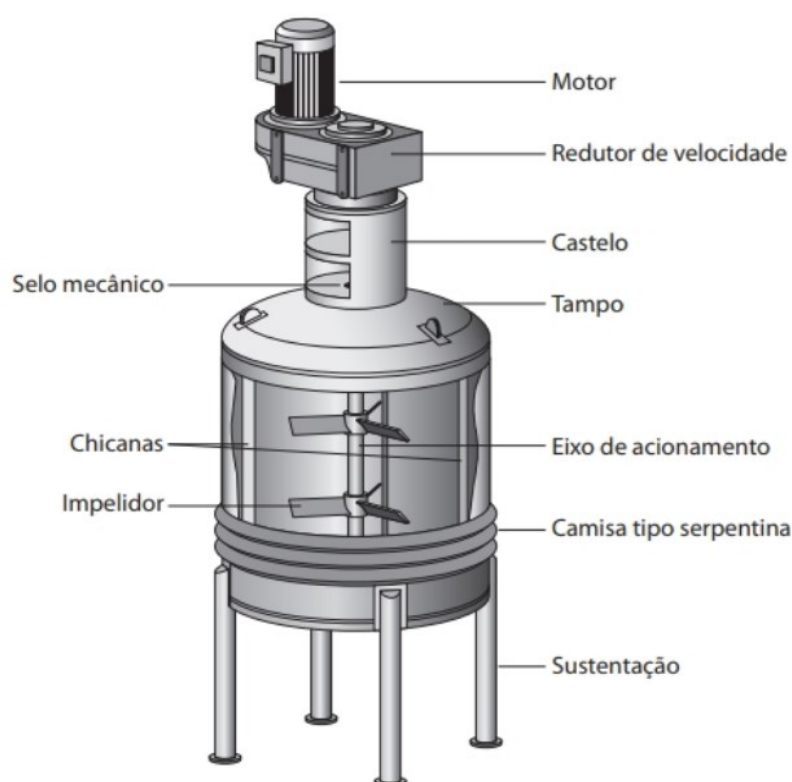
A agitação ou mistura de líquidos e diferentes tipos de componentes (sejam sólidos ou gases) na indústria é realizada por grandes tanques que utilizam energia mecânica para sua agitação. Basicamente, um misturador ou tanque de agitação é composto de equipamentos como: um tanque ou vaso reservatório; um impulsor acoplado a um eixo de rotação acionado por um sistema de motor; e defletores (ou chicanas) que são placas colocadas junto a parede do tanque com o objetivo de evitar a formação de vórtices em seu interior. Na Figura 3 é possível visualizar os equipamentos que formam um tanque agitado, além de outros equipamentos mais específicos dependendo da complexidade da agitação (TADINI, 2015).

Segundo Cremasco (2018), todo tanque de agitação e mistura possui características e utensílios essenciais para sua estrutura, são esses:

- Tanque: É um vaso normalmente cilíndrico. Quando necessário a pressurização em seu interior, além do seu reservatório, ele também é composto de tampos ou calotas;
- Impelidores: Trata-se de um instrumento indispensável para a ocorrência da agitação e mistura de fluidos dentro do tanque, ele é como um coração para o misturador, é responsável por transmitir movimento e gerar a mistura dos fluidos;

- Motorreductor: Sistema de agitação composto de um motor e, em muitas das vezes, um redutor de velocidade que funciona como um controlador;
- Castelo: É um acessório utilizado para suportar o conjunto motorreductor, acomodando o mancal e o sistema de vedação do tanque;
- Serpentinhas: Utilizados para evitar a perda ou ganho de calor indevidas dentro do tanque de agitação;
- Chicanas ou Defletores: São acessórios colocados como chapas no interior do tanque e são fundamentais para o redirecionamento do líquido e uma boa recirculação do fluido dentro do tanque;
- Eixo de acionamento: Acessório utilizado para suportar um ou mais impelidores oferecendo resistência mecânica aos impelidores, auxiliando na transmissão do movimento;
- Sustentação: São eixos que dão suporte ao tanque de agitação.

**Figura 3** - Ilustração de um típico tanque de agitação industrial.



Fonte: Cremasco (2018).

Nos tópicos a seguir, será apresentado mais detalhadamente os diferentes tipos de impelidores que compõem um tanque de mistura.

## 2.2 Impelidores

Todo tanque sob agitação possui um ou mais impelidores que normalmente podem ser chamados de impulsores ou agitadores. A principal função dos impelidores é provocar a agitação e o bombeamento do fluido dentro do tanque.

Com o passar dos anos, diversos estudos das geometrias dos impelidores foram possíveis graças aos diferentes trabalhos feitos por técnicos e engenheiros, contribuindo com o aumento do fluxo da agitação do líquido e minimizando o potencial de consumo de energia nas operações (BARBOSA, 2004).

Os impelidores podem ter diversas formas e tamanhos, dependendo do regime de mistura (laminar ou turbulento) ou sua aplicação, sendo eles muito importantes para promover uma boa agitação, atuando assim diretamente na:

- Troca de calor;
- Transferência de massa;
- Suspensão de sólidos;
- Reações Químicas.

## 2.3 Classes de impelidores

Os impelidores podem ser divididos em classes: aqueles que geram correntes paralelas ao eixo do rotor, os que geram correntes no sentido radial ao eixo e os de fluxo tangencial. Com isso, pode ser encontrados muitos tipos de impelidores específicos que geram um tipo de fluxo específico dentro do tanque com base nas necessidades de agitação e mistura (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993).

Os três principais tipos de impelidores encontrados hoje na indústria são os do tipo hélices, pás e turbinas. Cada um possui muitas variações em seu formato e geometria, existindo também impelidores especiais, utilizados em situações específicas.

### 2.3.1 Turbinas

Os impelidores do tipo turbina são aplicados na agitação de diferentes tipos de fluidos, compreendendo uma grande faixa de viscosidade, seja de fluidos pouco viscosos até os mais consistentes. Eles são normalmente recomendados para a dispersão de gases e dissolução de sólidos em líquidos, promovendo melhores

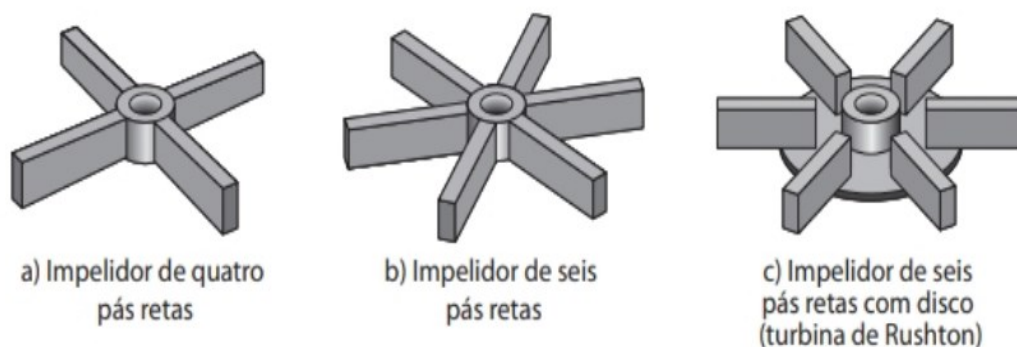
desempenhos na mistura e transferência de calor. Costumam operar em altas frequências de rotação, geralmente com o regime de escoamento turbulento (TADINI, 2015).

Esses impulsores são comumente conhecidos por possuírem um ângulo de inclinação com a vertical, no qual, suas pás podem ser dobradas ou inclinadas. A ação de mistura ocorre pela entrada e saída do fluido pelas lâminas da turbina, com o fluido em fluxo radial atingindo as paredes do tanque. Essas correntes provocam a mistura devido a sua energia cinética juntamente com a alta-tensão de cisalhamento nas pontas do impulsor. Dentre os tipos de turbinas comerciais, podemos citar as turbinas de pás retas em  $90^\circ$ , as de pás inclinadas em  $45^\circ$ , as turbinas de pás curvadas e as turbinas de Rushton (CREMASCO, 2018).

As turbinas do tipo pás retas de  $90^\circ$  podem conter de 4, 6 ou mais lâminas em sua configuração (Figura 4(a) e 4(b)). Elas são recomendadas para casos onde é necessário se agitar fluidos viscosos. O fluxo predominante gerado por este tipo impelidor é o fluxo radial, onde, suas lâminas geram uma alta-tensão de cisalhamento nas pontas do impulsor, promovendo uma boa agitação. No entanto, quando é necessário uma alta tensão de cisalhamento costuma-se ter um alto consumo de energia (CREMASCO, 2018).

Outra variação interessante deste tipo de impelidor é a turbina de Rushton (Figura 4(c)), em que consiste de um disco contendo pás (de 4 a 6 pás), sendo recomendado para a agitação de fluidos com alto cisalhamento, contribuindo para a dispersão de gases em líquidos ou mistura de fluidos imiscíveis (como em emulsões), já que seu formato gera uma zona de alta turbulência atrás de cada lâmina.

**Figura 4** - Impelidores tipo turbina de pás retas em  $90^\circ$  vertical e do tipo Rushton.



Fonte: Cremasco (2018).

Por outro lado, os impelidores de pás curvas (Figura 5) possuem uma agitação menos agressiva em comparação aos de pás retas, sendo uma boa opção para fluidos sensíveis ao cisalhamento, gerando um bom escoamento radial (TADINI, 2015).

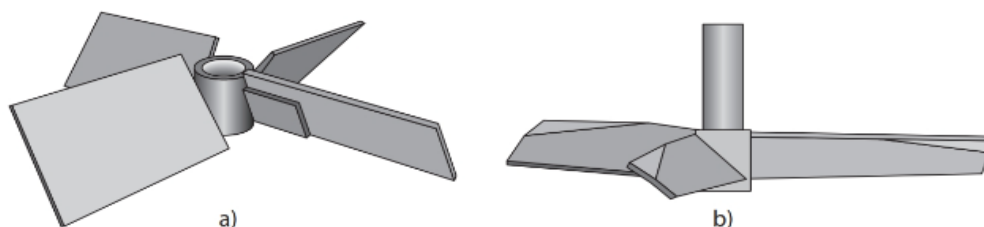
**Figura 5** - Impelidor tipo turbina de pás curvas.



Fonte: Tadini (2015).

As turbinas de pás inclinadas sobre o eixo podem ter diferentes tipos de inclinações e formatos, as mais comuns encontradas são as turbinas de pás dispostas em  $45^\circ$  com a horizontal e os popularmente ditos como de alta eficiência ou hydrofoil. A figura 6 mostra o formato destes tipos de impulsos.

**Figura 6** - Impelidores do tipo: a) pás inclinadas e b) hydrofoil.



Fonte: Cremasco (2018).

Quando as pás da turbina são inclinadas sobre o eixo, provocam um tipo de fluxo predominantemente axial, sendo útil ao se trabalhar com a suspensão de sólidos (CREMASCO, 2018).

### 2.3.2 Hélices

Agitadores do tipo hélice ou hélice marinha produzem um padrão de fluxo do tipo axial. Suas hélices transformam o movimento rotacional do motor em um escoamento linear na axial com um efeito de bombeamento do fluido no interior do

tanque, ocasionando uma rápida mistura. A desvantagem em relação aos agitadores de pás ou turbina é o seu alto custo, sensibilidade de operação em função da geometria do tanque e a sua localização dentro do recipiente (CHEREMISINOFF, 2000). A Figura 7 mostra um exemplo deste tipo de impulsor.

**Figura 7** - Impelidor tipo hélice marinha.



(a) Hélice marinha

Fonte: Tadini (2015).

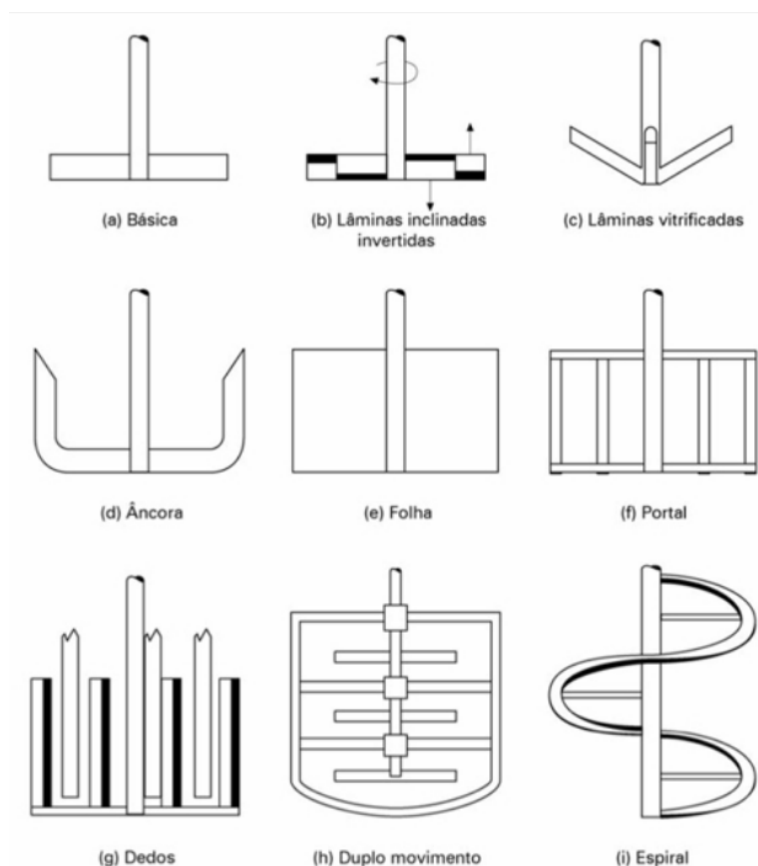
Este tipo de agitador é usado para operações de emulsão de líquidos que apresentam baixa viscosidade, em operação de solubilização e em reações químicas. Entretanto, eles não são recomendados para os casos de suspensão de sólidos que sedimentam rapidamente em seu interior e em tanques destinados para absorção de gases (CREMASCO, 2018).

### 2.3.3 Pás

Os misturadores do tipo pás possuem um perfil constituído de dois ou mais pás montadas na vertical e possuindo diferentes formatos. As principais vantagens deste tipo de impelidor são sua simplicidade de construção e seu baixo custo. A desvantagem é a sua pequena capacidade de bombeamento, gerando um baixo fluxo axial, no qual, não provê uma mistura por todo o volume do tanque. A mistura só é alcançada nas proximidades das lâminas deste impelidor e a turbulência se espalha de forma muito lenta e imperfeitamente em todo conteúdo do tanque (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993). Os diversos tipos e formatos de impelidores do tipo pás podem ser encontrados na Figura 8.

Tais impelidores podem manter partículas suspensas, desde que a velocidade de sedimentação não seja muito alta. Além disso, este tipo de impelidor é recomendado para os casos de agitação de fluidos com alta viscosidade sendo seu padrão de fluxo considerado misto, ou seja, em muitas das vezes pode apresentar tanto fluxo radial quanto fluxo tangencial (CREMASCO, 2018).

**Figura 8** - Exemplos de formatos de impelidores do tipo pás.



Fonte: Terron (2012).

Impelidores do tipo pás são normalmente vistos na indústria de alimentos, como os impelidores do tipo Âncora e dos do tipo Portão (Figura 8(d) e 8(f) respectivamente), eles recomendados para misturar líquidos de alta viscosidade de até 1.000 cP, podendo ser utilizados em tanques aquecidos e nos casos em que pode ocorrer sedimentação. Os diâmetros das suas pás são quase tão grandes quanto o diâmetro interno do tanque, de modo que as bordas da pá raspem (ou limpem) as paredes e o fundo do tanque (CHEREMISINOFF, 2000).

## 2.4 Fluidodinâmica em misturadores

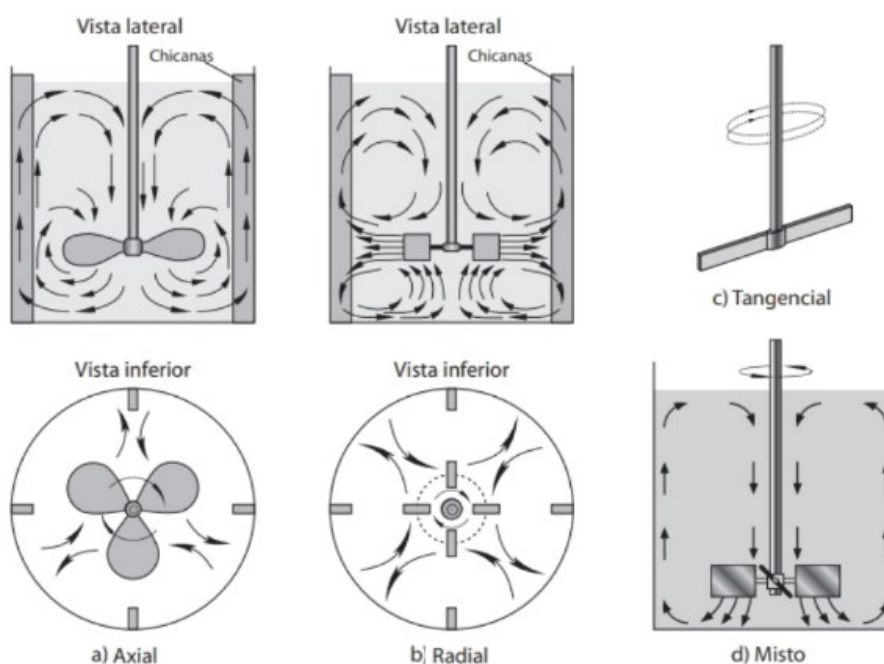
Os diversos tipos de fluxos de escoamento em tanques agitados dependem de diversas características como: o tipo de fluido que está sendo agitado; sua viscosidade; densidade; o tamanho e a geometria do impelidor utilizado; o tamanho do tanque; a velocidade de rotação do rotor e se o tanque possui ou não chicanas.

A velocidade do fluido em qualquer volume do tanque é composta por três componentes de velocidade. A primeira componente é a radial que atua na direção



perpendicular ao eixo do impelidor, sendo o líquido direcionado para a parede do reservatório ao longo do raio do tanque. A segunda componente é a axial e atua na direção paralela ao eixo, sendo responsável por levar o fluido tanto para o fundo quanto para a superfície do tanque. Já a terceira componente é chamada de tangencial ou rotacional e ela atua proporcionando um movimento circular e tangencial ao eixo do impelidor. Tais componentes podem existir simultaneamente e a componente predominante dependerá do tipo de impelidor empregado na agitação (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993). Na Figura 9 é possível ver uma imagem representativa desses componentes dentro de um tanque sob agitação.

**Figura 9** - Padrões de escoamento axial, radial, tangencial e misto.



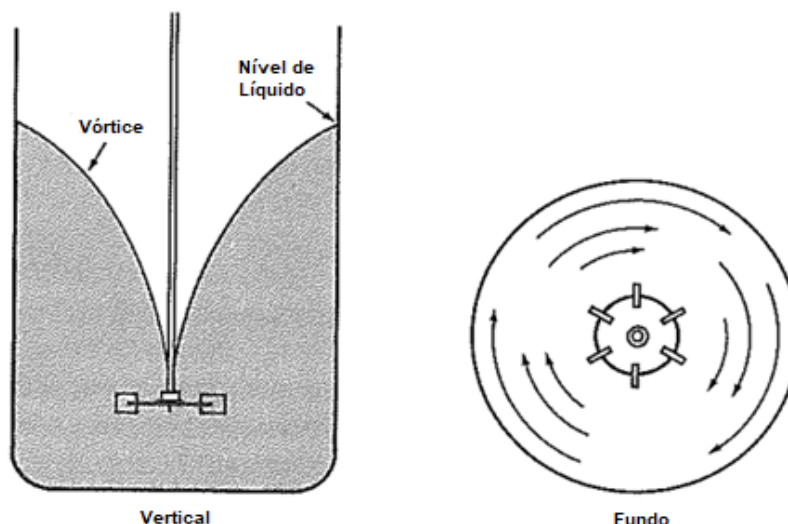
Fonte: Alterado de Cremasco (2018).

A presença majoritária da componente tangencial na agitação cria um caminho circular ao eixo, formando-se um vórtice no interior do tanque. A formação de vórtices são condições que surgem da alta aceleração centrífuga atuando na aceleração gravitacional das partículas do fluido, no qual, o aumento da velocidade de agitação promove a formação desses vórtices (CHEREMISINOFF, 2000). Na Figura 10 é possível visualizar o fenômeno de vórtice em um tanque agitado.

A formação de vórtice é um problema de mistura pois ela dificulta a circulação de líquido por toda a extensão do tanque, sendo um problema para a formação de

misturas uniformes. Se existirem partículas presentes, dificilmente elas irão se dispersar ou fluidizar neste meio devido à força centrífuga, sendo lançadas para fora do vórtice, se depositando do fundo do tanque (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993).

**Figura 10** - Esquemática do efeito de vórtice em um tanque agitado.



Fonte: Alterado de McCabe, Smith e Harriott (1993).

Segundo Cheremisinoff (2000), McCabe, Smith e Harriott (1993), e dentre muitos outros autores, um método preferível para se evitar o efeito de vórtices no interior de um tanque agitado é a colocação de defletores verticais (também chamados de chicanas) nas paredes do tanque. Estes componentes são responsáveis por impedir a prevalência do fluxo circular tangencial sem afetar as componentes radiais e axiais de velocidade. Cheremisinoff (2000) comparou os efeitos de um tanque com chicanas em relação a um sem chicanas, com isso foi possível se chegar às seguintes vantagens de sua utilização:

- Defletores restringem a componente tangencial de velocidade enquanto aumenta simultaneamente a velocidade das componentes radiais e axiais;
- As linhas de fluxo se tornam mais regulares com o uso de chicanas, assim, a transmissão de energia do impelidor para o líquido é mais uniforme;
- A circulação é aumentada com o uso de chicanas, com isso, a operação de agitação e mistura é melhorada.

## 2.5 Dispersão de sólidos em líquidos

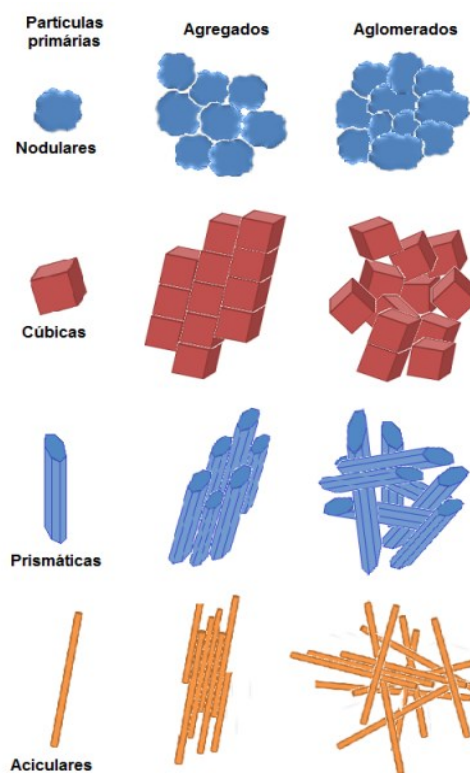
Um dos problemas mais comuns na indústria quando se trabalha com mistura é associado com a presença de pós e a sua dispersão em líquidos.

Dispersão pode se referir a uma parte do processo industrial no qual o fluido ou sólido se dispersa em um meio líquido. Nienow, Edwards e Harnby (1997) dividiram este processo geral de dispersão em quatro etapas, que são distintas, mas que na prática, se sobrepõem. Estas etapas são:

- Incorporação;
- Molhamento;
- Desagregação dos aglomerados particulados;
- Possível floculação das partículas dispersas.

Os pós são partículas que podem se apresentar em três diferentes estados, chamadas de partículas primárias, agregados e aglomerados. Na Figura 11, é possível observar esses tipos de partículas.

**Figura 11** - Exemplos de Partículas Primárias, Agregados e Aglomerados.



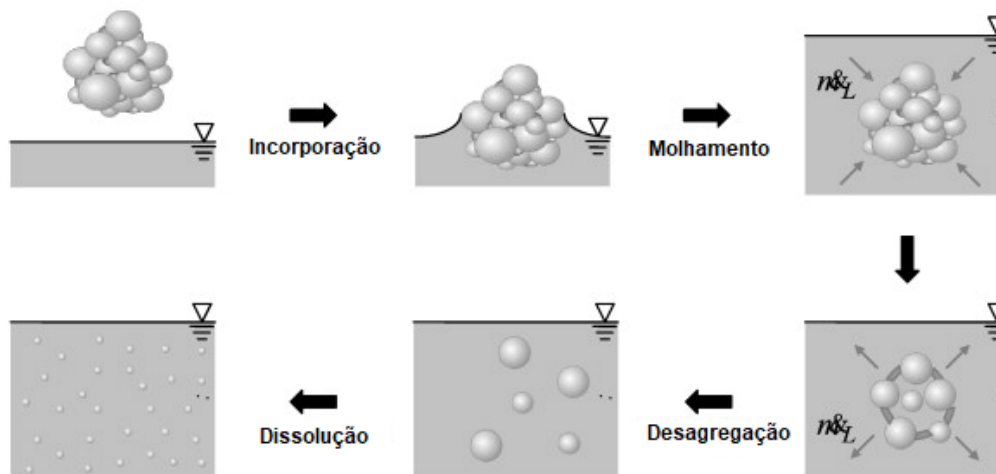
As partículas primárias são visíveis com a ajuda de um microscópio. Os agregados são grupos de partículas primárias unidas entre si, já os aglomerados são junções de partículas primárias e agregados unidos por suas extremidades entre seus vértices e arestas (CAETANO, 2019).

Várias forças interparticulares existem em um pó 'seco', sendo elas: as forças de Van der Waals que atua na atratividade das partículas; as forças eletrostáticas; as forças de atração, por meio de um filme líquido entre as partículas causada pela umidade; e pôr fim a ação mecânica de compactação.

Na primeira etapa da dispersão, a incorporação, ocorre o processo inicial de submersão e desintegração do pó, onde as partículas e o meio são colocados em contato e a interface pó/ar começa a ser substituída por interfaces pó/líquido, no qual, essas partículas começam a se separar.

Na etapa de molhamento, à medida que o meio começa a penetrar nos interstícios da massa do pó, pequenos aglomerados e cristais começam a se desprender e se dispersarem. Para aglomerados de tamanhos maiores a taxa do processo de molhamento é mais lenta, já que o espaçamento das partículas é menor no aglomerado (FORNY; MARABI; PALZER, 2011). A etapa inicial de molhagem envolve tanto a superfície externa das partículas quanto as superfícies internas dentro dos aglomerados e as características do processo de molhagem serão dependentes principalmente das propriedades da fase líquida, do caráter da superfície dos sólidos e a natureza do processo mecânico utilizado para misturar os componentes (NIENOW; EDWARDS; HARNBY, 1997). A Figura 12 esquematiza este processo.

**Figura 12** – Esquematização da dissolução de uma partícula aglomerada.



Fonte: Alterado de Forny, Marabi e Palzer (2011).

Quando o pó é parcialmente incorporado e fica parcialmente molhado, a próxima etapa é a quebra dos aglomerados restantes por alguma força mecânica. Nos casos simples normalmente usa-se misturadores de pás, em outros casos, agitadores e impelidores específicos que devem ser usados. É geralmente aceito que a desaglomeração de partículas é provocada por cisalhamento e escoamento extensional. A ruptura por cisalhamento depende do arrasto viscoso, enquanto a fragmentação ocorre mais facilmente se não é impedida pela resistência viscosa, além disso, os agentes tensoativos podem ser importantes para o processo de molhagem e desaglomeração desses sólidos (NIENOW; EDWARDS; HARNBY, 1997).

## **2.6 Fluidodinâmica computacional (CFD) para misturadores e agitadores**

Apesar dos estudos da agitação e mistura serem difíceis de se definir de forma concreta, o que muito se estuda desta área é aplicação dos conceitos de fluidodinâmica computacional ou também chamada de CFD (Computational Fluid Dynamic) no estudo do comportamento do fluido dentro de um tanque.

Os estudos feitos por Pukkella *et al* (2019) são importantes para se visualizar o efeito do vórtice em um tanque. Eles estudaram o efeito de um tanque com e sem chicanas aplicando-se os métodos de CFD para se visualizar as linhas de fluxo de escoamento internas em um tanque, com isso, foi possível ver que para um tanque sem chicanas existe a presença de vórtice na parte central, além disso, logo abaixo do eixo do impelidor, é possível ver uma zona morta de escoamento, diferente do caso de quando ele está com chicanas, observando-se assim, a presença de uma mistura homogênea e com nível de fluido constante. A Figura 13 traz o resultado desta simulação.

Em um estudo feito por Foukrach e Ameur (2019), eles compararam os efeitos fluidodinâmicos em tanques de agitação quando a largura das chicanas defletoras é aumentada, como pode ser visto na Figura 14. Por meio da análise em CFD foi possível ver que o aumento da largura dos defletores, cria-se uma pequena zona de vórtice secundário na região perto dos defletores, com isso, o aumento exagerado da largura desses componentes em um tanque pode não contribuir para a operação e com isso acaba-se gastando mais energia que o necessário no processo de mistura. A Figura 14 demonstra como estes efeitos são vistos.

**Figura 13** - Comparação de simulações feitas em CFD para o escoamento em um tanque sem chicanas (a) e um tanque com chicanas (b).

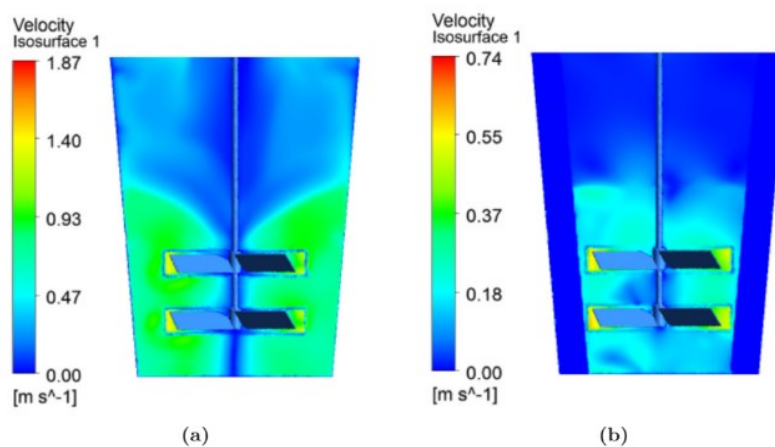


Fig. 4. Velocity contours on a centre vertical plane for: a) Unbaffled, b) Baffled mixing tanks.

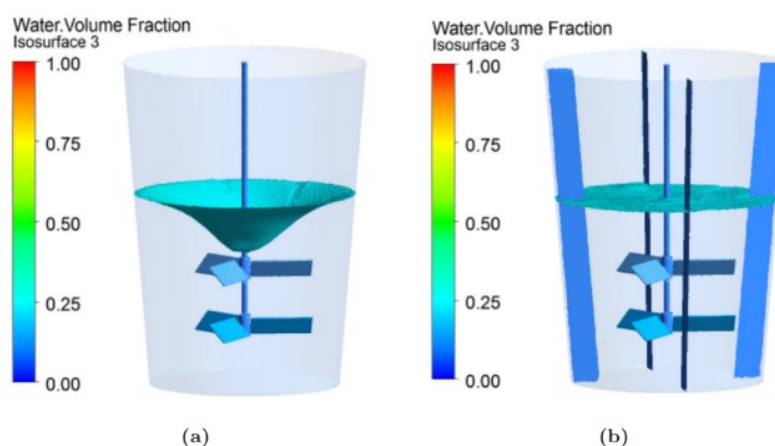
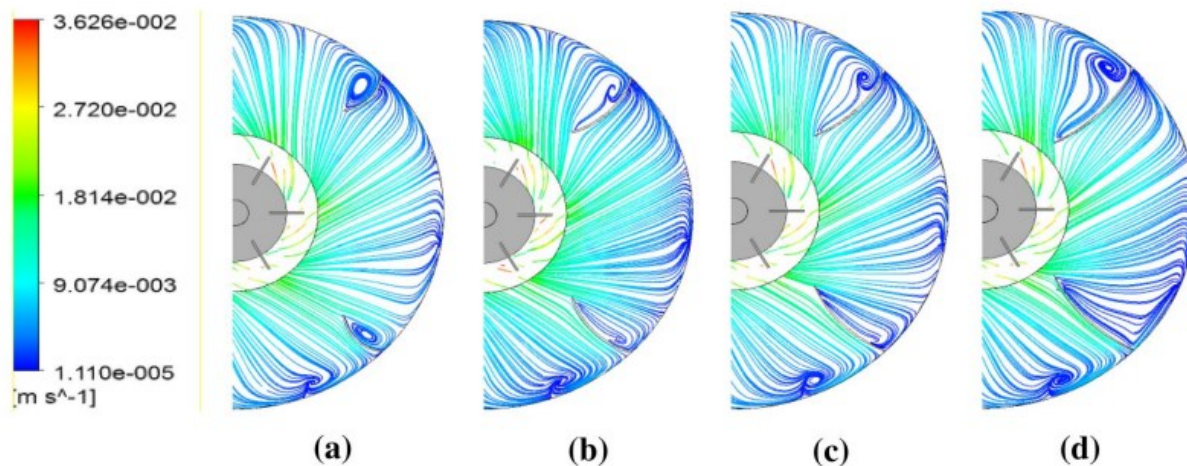


Fig. 5. Air-Water interface tracking for: a) Unbaffled, b) Baffled mixing tanks.

Fonte: Pukkella *et al* (2019).

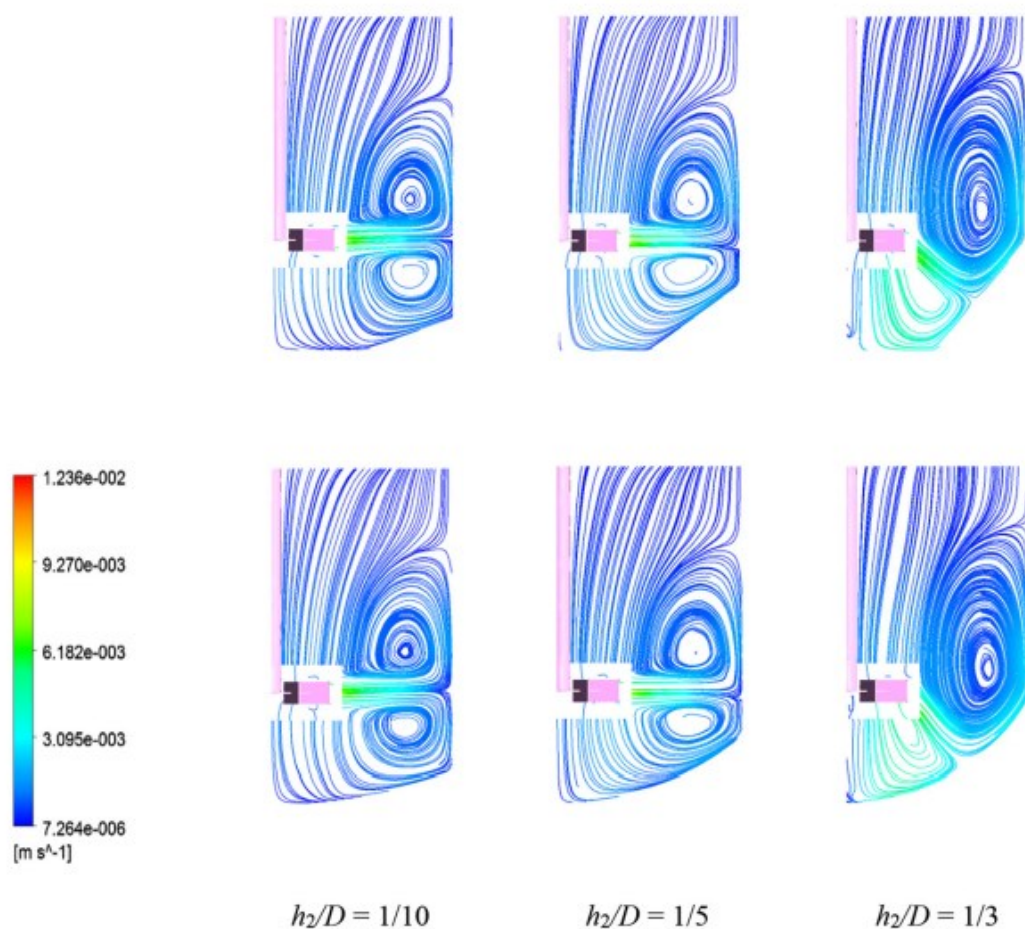
**Figura 14** – Diferença de fluxos de escoamento variando-se a largura das chicanas defletoras localizados na parte inferior de um tanque, de um menor tamanho (a) aumentando gradativamente o tamanho até (d).



Fonte: Foukrach e Ameer (2019)

Segundo os mesmos autores, Foukrach e Ameur (2020), em outro trabalho, estudaram o efeito do escoamento de um líquido sendo agitado por uma turbina de Rushton para diferentes tamanhos do fundo do tanque, variando-se a medida de altura do fundo cônico, sendo estas análises mostradas na Figura 15.

**Figura 15** – Fluidodinâmica computacional para tanques equipados com defletores padrão, variando-se a altura do fundo cônico.



Fonte: Foukrach e Ameur (2020).

Com este estudo em CFD foi possível visualizar o escoamento proveniente para cada caso e, com isso, foi possível escolher uma melhor opção de altura do fundo do vaso. A partir da Figura 15, pode ser visto que quando a altura do fundo do vaso é maior ( $h_2/D = 1/3$ ), o vórtice localizado na parte inferior do vaso é reduzido e com isso, há um aumento do tamanho do vórtice na parte superior, contribuindo assim para a circulação axial do líquido, permitindo também uma boa agitação do líquido para a superfície do líquido no tanque.

## 2.7 Detergentes e suas composições

A fim de se entender o processo de mistura na preparação dos produtos de limpeza da empresa deste estudo de caso, é importante ter o conhecimento da formulação, o que são misturados nestes produtos e qual a importância de cada componente no processo de limpeza.

Os dois principais produtos de limpeza que podem ser encontrados hoje no mercado são os sabões e detergentes. O sabão é um tensoativo natural produzido a partir da reação de saponificação da mistura de óleos de origem vegetal (éster) com uma solução de hidróxido de sódio ou potássio (base), formando sabão e glicerina. Já os detergentes são surfactantes sintéticos produzidos por rotas químicas e podem ser obtidos a partir de diferentes matérias-primas derivadas do petróleo (FELIPE; DIAS, 2017).

Os detergentes, seja para uso doméstico ou industrial, são formulações complexas que podem conter até mais de 25 ingredientes diferentes em sua composição. Estes ingredientes podem ser classificados nos seguintes grupos:

- Surfactantes ou Tensoativos;
- Sequestrantes ou agentes quelantes;
- Agentes clareadores;
- Agentes auxiliares (aditivos).

Cada componente da formulação terá uma função específica no processo de lavagem e seus efeitos podem ser sinérgicos um sobre o outro. A adição de certos aditivos também pode ser necessária por motivos de produção ou para melhorar a qualidade do produto (SMULDERS *et al.*, 2002).

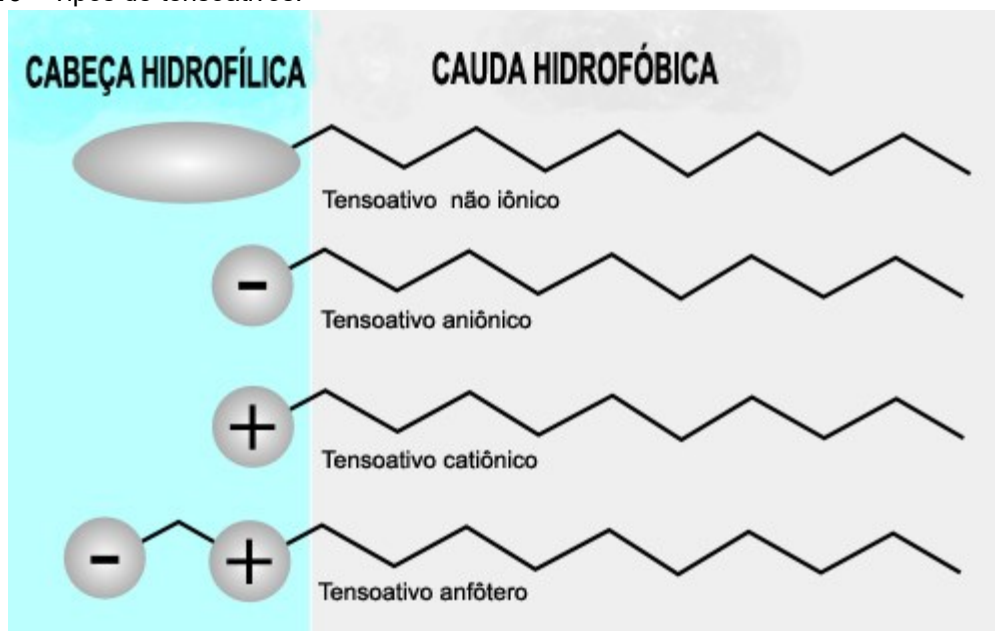
### 2.7.1 Tensoativos

Os surfactantes ou tensoativos são substâncias responsáveis por reduzirem a tensão superficial da água e de outros líquidos, eles podem ser classificados em aniônicos, catiônicos, não aniônicos ou anfotéricos. A Figura 16 mostra uma representação típica desses tipos de tensoativos apresentados até agora.

Tensoativos aniônicos são os mais utilizados na indústria para a produção de detergentes e produtos de limpeza. Sua parte polar possui carga negativa que confere



Figura 16 – Tipos de tensoativos.



Fonte: Machado (2016).

alta capacidade de se solubilizar em água e de criar micelas, o que possibilita a remoção de gorduras. Alguns exemplos destes tensoativos na indústria é o ácido sulfônico e o lauril éter sulfato de sódio.

Já os tensoativos catiônicos possuem carga positiva na sua região polar e são mais utilizados atuando como emulsificantes, emolientes, bactericidas e antissépticos, mas não são utilizados em limpeza. Os sais de amônio quaternário, como o cloreto de amônio e cloreto de cetrimônio são exemplos de tensoativos catiônicos.

Os tensoativos não iônicos, como o próprio nome já diz, não possuem carga, e sua cauda hidrofóbica pode ser tão grande quanto sua cabeça hidrofílica, são mais utilizados na indústria como emulsificantes, sendo seu exemplo mais comum os álcoois graxos.

Por último, os agentes tensoativos anfóteros podem possuir na mesma molécula, cargas negativas e positivas, sendo agentes limpantes suaves, podendo também atuar como emolientes (SEO, 2022). A figura 16 mostra uma representação típica desses tipos de tensoativos apresentados até agora.

### 2.7.2 Sequestrantes

Os sequestrantes ou agentes quelantes tem como finalidades a formação de quelatos que são complexos hidrossolúveis, onde o íon metálico é ligado por ligação

covalente ao agente quelante. Estes ingredientes contribuem para um maior poder de limpeza, já que estes compostos retiram os íons de cálcio e magnésio que estão presentes na água, melhorando a ação do detergente (ECUCLE, 2019).

A categoria dos quelantes é composta predominantemente por diversos tipos de compostos: os compostos alcalinos precipitantes específicos, como carbonato de sódio e silicato de sódio; agentes complexantes como trifosfato de sódio ou ácido nitrilotriacético (NTA); e trocadores de íons, tais como ácidos policarboxílicos solúveis em água e zeólitos (por exemplo, zeólito A). Sendo a maioria destes compostos comercializados em forma de pós ou material sólido granulados (SMULDERS *et al.*, 2002).

### 2.7.3 Agentes clareadores

Agentes clareadores ou alvejantes são compostos químicos que contribuem para a mudança de cor para um tom mais claro, eles são empregados para a remoção de sujeiras coloridas não laváveis. Os principais alvejantes químicos são aqueles a base de Cloro ( $\text{Cl}_2$ ), os hipocloritos ( $\text{ClO}^-$ ) e peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), sendo que os hipocloritos de sódio ( $\text{NaClO}$ ) e de cálcio  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  os mais empregados pela Indústria Têxtil (SOUZA, 2022).

### 2.7.4 Álcalis

Os álcalis são substâncias alcalinas que ajudam a remover manchas e a solubilizar gorduras e proteínas, eles reagem com a gordura pela reação de saponificação, formando sabão. Eles não apresentam propriedades umectantes por conta própria e precisam ser combinados com surfactantes, sendo o poder de limpeza final resultado dependente das proporções deste ingrediente. Alguns exemplos típicos de álcalis na indústria são os álcalis suaves como o bicarbonato de sódio, os álcalis de força moderada como o bórax e os álcalis potentes como a soda cáustica e o carbonato de sódio. Estes compostos são frequentemente encontrados em forma de pequenos cristais ou flocos (STPP, 2021).

### 2.7.5 Ácidos

Diferentes tipos de ácidos podem ser colocados no detergente para diminuir o seu valor de pH, criando assim, detergentes ácidos. Este tipo de detergente é mais

utilizado para a remoção de incrustações em equipamentos pesados e superfícies metálicas, sendo muito utilizados na indústria de lavagem de automóveis. Alguns ácidos que podem ser utilizados são o: ácido fosfórico, atuando como um protetor e não preventivo do processo corrosivo; ácido clorídrico, sendo um ácido forte usado para remover ferrugem e escamas de carbonato e alcalina; ácido nítrico, sendo um ácido oxidante forte, usado para remover escamas de carbonato e alcalinas e proteger o aço inoxidável através da passivação. (KUSHIDA, 2021).

#### 2.7.6 Agentes auxiliares

Os agentes auxiliares são agentes de apoio ao produto de limpeza, que conferem melhor qualidade ou aparência do produto. Alguns aditivos que podem ser usados com o produto de limpeza são (STPP, 2021):

- Enzimas: ajudam a quebrar a sujeira em pedaços menores, são mais usados em detergentes para roupas, exemplos delas são as protease e lipases.
- Conservantes: trabalham para prevenir o crescimento microbiano
- Fragrâncias: conferem aroma e melhoram o valor sensorial do produto.
- Corantes: realçam a coloração da fórmula, auxiliando na identidade visual do produto.
- Espessantes: É um pó branco normalmente à base de amido que confere o aumento da viscosidade do produto sem interferir nas suas propriedades de limpeza. São comumente utilizados na produção de amaciantes e shampoos.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia deste trabalho consiste em uma avaliação das condições operacionais dos misturadores da empresa a fim de se minimizar os problemas de mistura vistos no preparo dos seus produtos. Sendo assim, foram avaliadas as proporções e dimensões dos tanques, chicanas defletoras e impelidores que a empresa atualmente possui, utilizando-se das proporções recomendadas na literatura.

Tendo em vista a existência de diversos formatos de impelidores disponíveis no mercado, foi estudado se a seleção do tipo de impelidor feita pela empresa era a correta e, a partir disso, foram propostos três novos tipos de impelidores, segundo as propriedades dos fluidos que são produzidos, juntamente com suas medidas ideais com base na literatura.

Para a seleção do tipo de impelidor, analisou-se a densidade e viscosidade dos quatro tipos de líquidos produzidos, sendo dois de maior demanda e outros dois os mais viscosos.

Por fim, analisou-se a potência consumida para a agitação dos quatro tipos de fluidos em função dos três tipos de impelidores propostos. Para isso foi proposto uma faixa de velocidade dos impelidores e estudado o tipo de escoamento através do número de Reynolds, feitas as devidas considerações, calculou-se a potência utilizada na agitação para cada caso é proposto os tipos de motores apropriados.

#### **3.1 Materiais e métodos**

Para se avaliar as dimensões do tanque e condições dos equipamentos, foram considerados os seguintes materiais e métodos para a obtenção de dados quantitativos do estudo de caso.

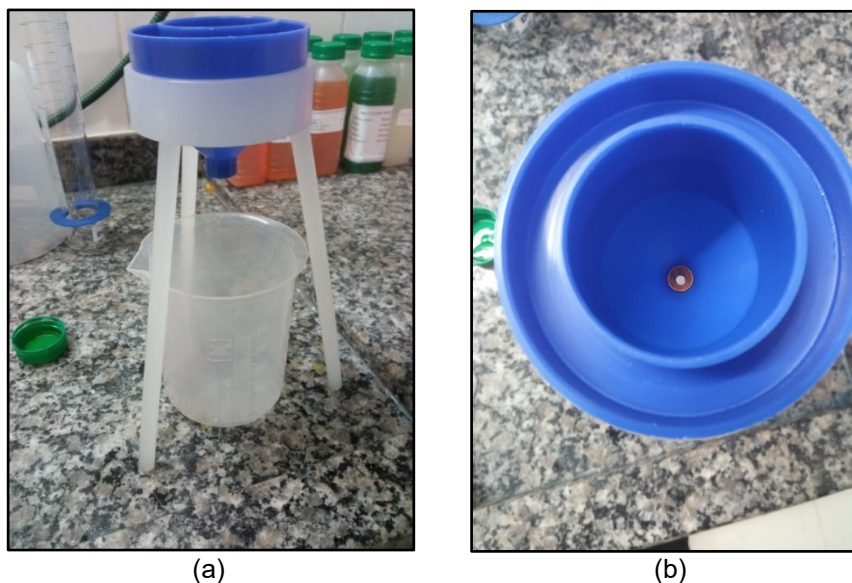
##### **3.1.1 Descrição dos líquidos utilizados**

Foram estudados quatro tipos de líquidos, sendo eles newtonianos, que são produzidos pela empresa. São eles o Intercap IX20, Solupan SX20, Shampoo Concentrado e o Amaciante para Roupas. Para cada fluido, foi medida a densidade e viscosidade cinemática com instrumentos disponíveis na empresa.

### 3.1.2 Métodos para determinação da viscosidade cinemática e densidade

Para a determinação da viscosidade cinemática foi utilizado um viscosímetro do tipo copo Ford de orifício n° 4 padrão ABNT NBR 5849, como apresentado na Figura 17, e um cronômetro que foi utilizado para medir o tempo de escoamento.

**Figura 17** – Viscosímetro do tipo copo Ford com orifício de n° 4; (a) vista geral do instrumento; (b) vista de cima do copo.



Fonte: Autoria Própria.

O método empregado para a determinação da viscosidade cinemática seguiu o recomendado pela normativa. Primeiro tampou-se o orifício de escoamento e, em seguida, o copo Ford foi preenchido com o líquido. Após preenchido completamente destampou-se o orifício de saída de líquido e, utilizando um cronômetro, foi medido o tempo de escoamento até a primeira falha no fio laminar escoante.

Com os dados de tempo de escoamento utilizou-se a fórmula de conversão fornecida pela Norma Brasileira ABNT NBR 5849 que padroniza os procedimentos técnicos para este tipo de equipamento. Como o orifício do copo Ford era o de n° 4, a conversão de segundos para  $\text{mm}^2/\text{s}$  é dada pela expressão (1):

$$v = 3,846.t - 17,300 \quad (1)$$

Na qual,  $v$  é a viscosidade cinemática em  $\text{mm}^2/\text{s}$  e  $t$  é o tempo expresso em segundos.

Para a determinação dos dados de densidade foi utilizado um densímetro em

uma proveta de 250 mL preenchida com um dos líquidos estudados a temperatura de 25° C. Primeiro, colocou-se um dos líquidos na proveta até o densímetro estabilizar sua posição dentro do recipiente sem tocar as paredes do mesmo, com isso, foi feita a leitura da densidade, sendo o procedimento realizado para cada um dos produtos. A Figura 18 demonstra o instrumento utilizado.

**Figura 18** – Instrumento utilizado para a medição da densidade das amostras.



Fonte: Autoria Própria

A partir dos valores de viscosidade cinemática e densidade obtidos, foi possível calcular a viscosidade dinâmica pela equação (2):

$$\mu = \rho \cdot v \quad (2)$$

Onde  $\mu$  é a viscosidade dinâmica expressa em Pa.s,  $\rho$  é a densidade em Kg/m<sup>3</sup> e  $v$  a viscosidade cinemática em m<sup>2</sup>/s.

### 3.1.3 Tanques e impelidores

Para se avaliar o estado atual dos misturadores e seu modo de operação, foi coletada as dimensões do tanque, dimensões das chicanas defletoras e dos impelidores utilizados. Na Figura 19 é possível ver como os tanques de mistura estão colocados na empresa.

A empresa atualmente possui três tanques para a operação de mistura, cada

um com volume total de 1500 litros, seu formato é mostrado na Figura 20. O Tanque 1 mostrado na Figura 21, contém duas chicanas internas igualmente espaçadas e possui um eixo do rotor com três impelidores do tipo pás com formato de folha. O tanque 2 e 3 não possuem chicanas e cada um deles é equipado com impelidores no formato de grade, como mostra a Figura 22.

**Figura 19** – Disposição e arranjo dos tanques na empresa.



Fonte: Autoria Própria (2022).

**Figura 20** – Modelo dos tanques utilizados: (a) visão interna; (b) visão externa.



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria (2022).

**Figura 21** –Tanque 1 contendo duas chicanas e um eixo impelidor com três impelidores do tipo pás retas em forma de folha.



Fonte: Autoria Própria (2022).

**Figura 22** – Impulsor do tipo grade: (a) vista de fora; (b) vista de dentro do tanque.



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria (2022).

Foi informado que na produção de Intercap e de Solupan costuma-se preparar 1000 litros desses produtos e logo após o processo de mistura, são envasados manualmente. A operação de mistura é semi-batelada, já que as matérias-primas são adicionadas manualmente conforme o decorrer do tempo de operação.



### 3.1.4 Motor

Para os dados de velocidade de rotação do eixo do impelidor, com o auxílio de um cronômetro, foi medido o tempo para cada rotação que o impelidor fazia em torno do eixo. Realizou-se este procedimento 6 vezes. A Figura 23 mostra o motor atual juntamente com o redutor conectado ao mecanismo de polias e correias dos eixos impelidores.

**Figura 23** – Motor utilizado para a agitação acoplado a uma caixa de redução.



Fonte: Autoria Própria (2022).

O trabalho mecânico para a agitação é feito por meio de um motor onde é ligado a uma caixa de redução acoplado a um sistema de polias e correias, onde, seu torque é distribuído para os eixos dos impelidores simultaneamente, provendo uma determinada velocidade de rotação para os impelidores. As polias e correias que distribuem a rotação podem também ser vistas na Figura 19. Não foi possível obter dados de potência do motor, pois a empresa informou que é um equipamento antigo nas suas especificações podem ter sido perdidas.

## 3.2 Avaliação das proporções do tanque e suas chicanas

Com as medidas de dimensões dos equipamentos obtidas a partir dos métodos descritos, seguiu-se para uma análise dimensional de suas proporções comparando-se com as proporções ideais fornecidas pela literatura utilizando-se das correlações fornecidas por Cremasco (2018) e McCabe, Smith e Harriott (1993).

### 3.2.1 Razão de preenchimento

A razão de preenchimento que é aceita por muitos autores e fabricantes de tanques misturadores é a relação de 1:1 entre a altura do nível de líquido no tanque ( $H$ ) com o diâmetro do tanque ( $T$ ), como visto na equação (3).

$$\frac{H}{T} = 1 \quad (3)$$

Para a medida do nível de líquido no tanque, foram utilizadas formulas de volume de cones e cilindros. Sabendo-se do volume total do tanque ( $V_T$ ) informado, o diâmetro do tanque ( $T$ ) e a altura da parte cilíndrica interna ( $h_c$ ), medidas com a trena, pode-se calcular o volume do corpo cilíndrico por meio da equação (4).

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

Onde  $V_C$  é o volume do cilindro,  $h_c$  é a altura da parte cilíndrica,  $r$  é o raio do tanque e  $T$  é o diâmetro do tanque. A partir desse volume e sabendo o volume total ( $V_T$ ) do tanque, pode ser encontrado o volume do fundo cônico ( $V_{FC}$ ) pela equação (5).

$$V_{FC} = V_T - V_C \quad (5)$$

Considerando a fórmula do volume do cone, na equação (6), para o volume do fundo cônico e rearranjando esta equação pode-se encontrar a altura do fundo cônico ( $h_{FC}$ ) visto na equação (7).

$$V_{FC} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_{FC} \cdot r^2 = \frac{\pi \cdot h_{FC} \cdot T^2}{12} \quad (6)$$

$$h_{FC} = \frac{12 \cdot V_{FC}}{\pi \cdot T^2} \quad (7)$$

Sabendo-se o volume de líquido que é agitado no tanque ( $V_a$ ), subtraindo-se com o valor do volume do fundo cônico ( $V_{FC}$ ) pode-se se encontrar o volume preenchido na parte cilíndrica do tanque ( $V_p$ ), como mostra a equação (8).

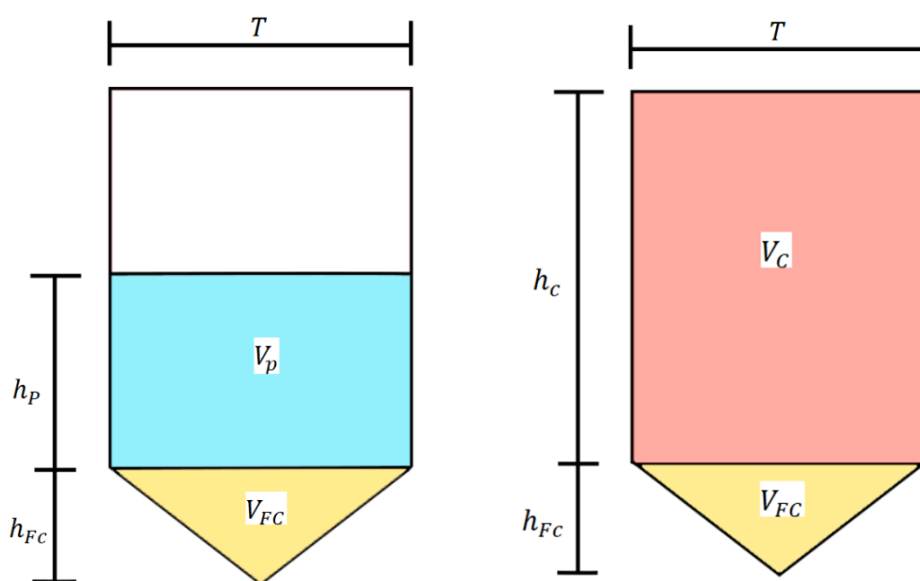
$$V_p = V_a - V_{FC} \quad (8)$$

Com o volume  $V_p$  encontrado, pode se calcular a altura preenchida da parte cilíndrica ( $h_p$ ), por meio da correlação presente na equação (9), originada da fórmula do volume para um cilindro visto da equação (4).

$$h_p = \frac{4.V_P}{\pi.T^2} \quad (9)$$

A Figura 24 mostra como todas essas medidas foram consideradas até agora neste tanque.

**Figura 24** – Esboço representativo das medidas consideradas para os cálculos de geometria do tanque.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Com a altura do fundo cônico e a altura de líquido preenchida na parte cilíndrica, pode-se determinar a altura total do nível de líquido no tanque ( $H$ ), utilizando-se a equação (10).

$$H = h_{FC} + h_p \quad (10)$$

### 3.2.2 Chicanas defletoras

Em relação às chicanas, foi mensurada a proporção de largura das chicanas (B) com o diâmetro do tanque utilizando a equação (11). Além disso, foi avaliado quais tanques continham ou não chicanas e tendo isso em vista, foram discutidas as implicações diante a ausência das chicanas e proposto então as melhorias condizentes para este caso.

$$\frac{B}{T} = \frac{1}{10} \quad (11)$$

## 3.3 Avaliação dos impelidores

Com as medidas do tanque avaliadas, seguiu-se para a investigação das proporções dos impelidores e se estes atendem ou não as proporções indicadas pela literatura. Também foi avaliado os tipos de impelidores utilizados e se, para a escolha deles, foram considerados ou não as propriedades dos fluidos que são agitados, com isso, foram escolhidas três tipos de impelidores mais recomendados para se agitar os líquidos que a empresa produz segundo suas viscosidades.

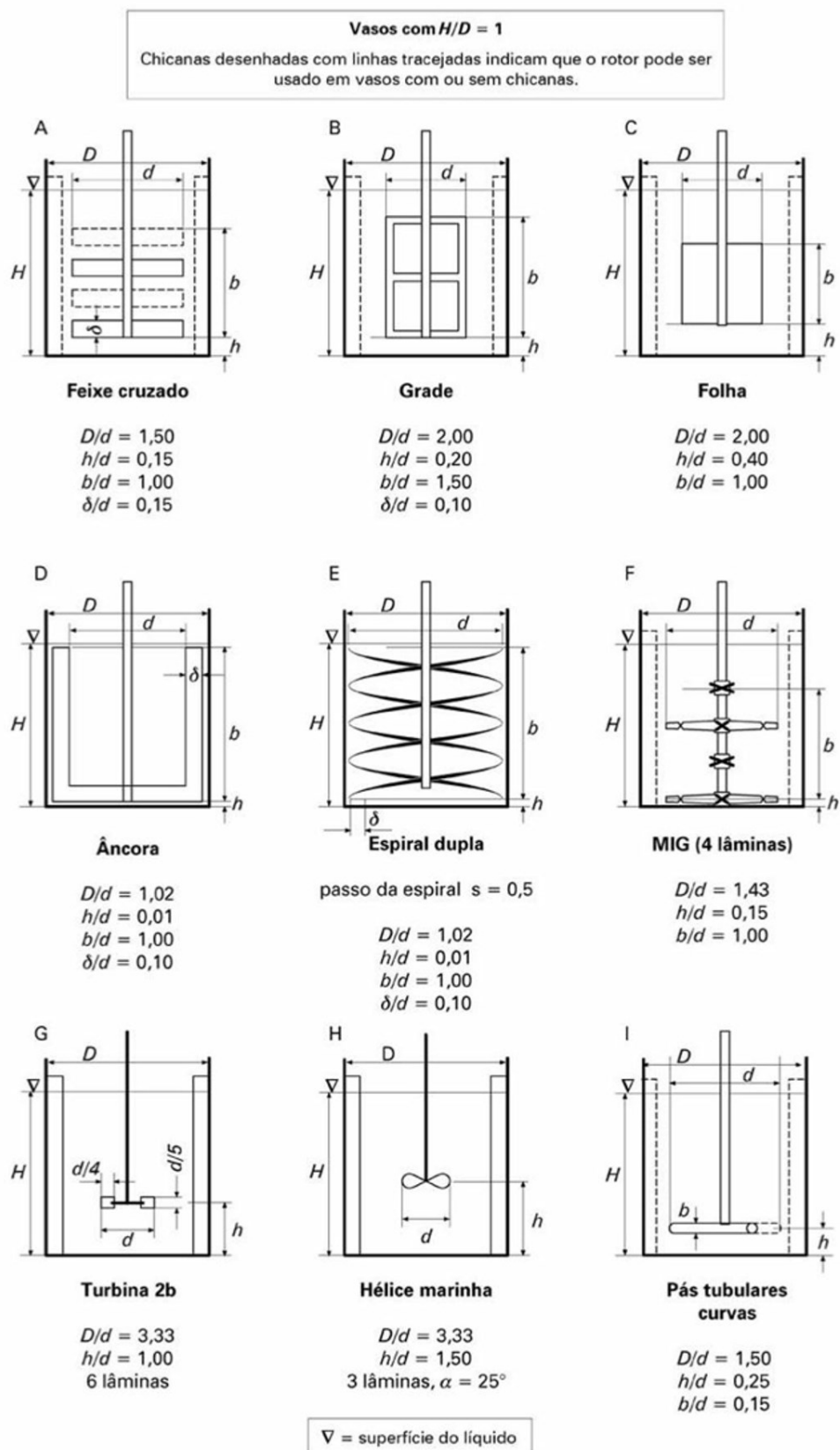
### 3.3.1 Comparação das medidas atuais com o padrão

Os tipos atuais de impelidores encontrados na empresa são os do tipo pás em forma de grade e pás em forma de folha, tendo isso em vista, considerou-se as proporções ideais de Gerhartz (1988) encontradas na literatura de Terron (2012) como medida de comparação. A Figura 25 apresenta as dimensões e proporções padrões recomendadas para diversos impelidores.

### 3.3.2 Avaliação e Proposta dos tipos de Impelidores

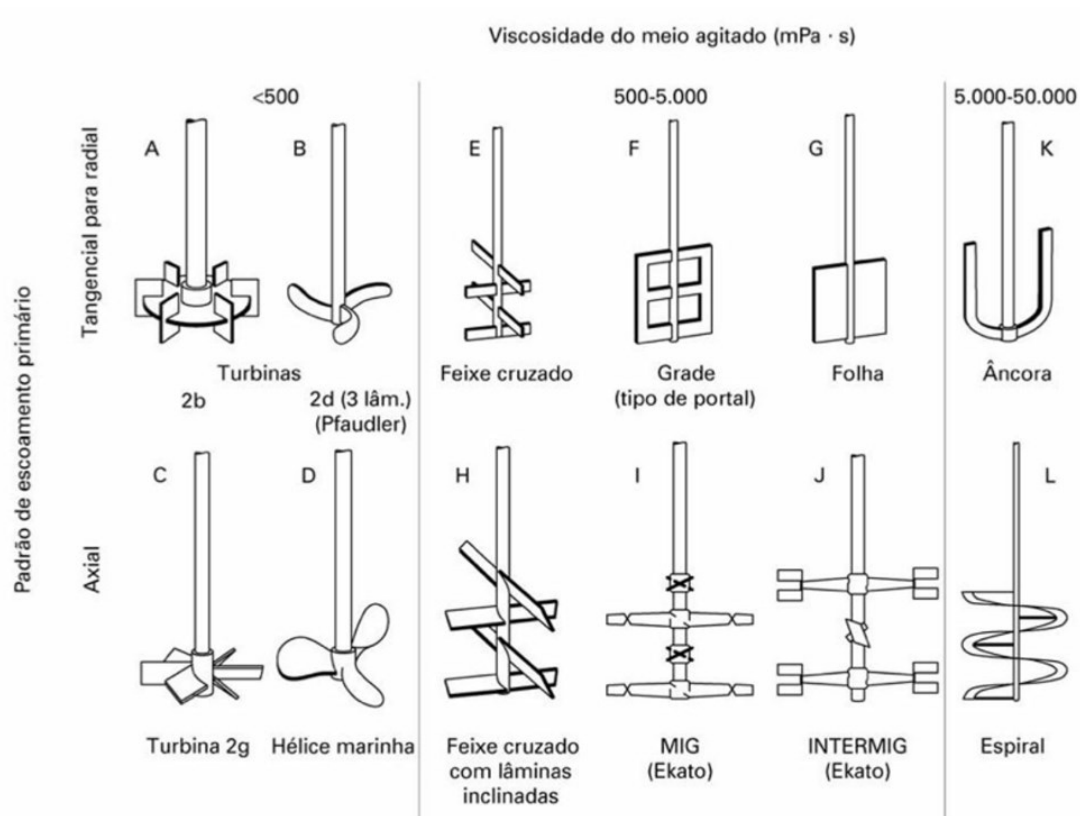
Considerando-se as viscosidades cinemáticas medidas pelo viscosímetro e a densidades medidas pelo densímetro foi feita a avaliação e proposta de novos tipos de impelidores segundo o recomendado pela literatura e pelos fabricantes de agitadores. As figuras 26 e 27 são diagramas que esquematizam a escolha do impelidor em função da viscosidade dinâmica.

**Figura 25** – Proporções padrões recomendadas por Gerhartz (1988) para diversos tipos e formatos de impelidores (neste trabalho considerou-se  $D = T$ ).



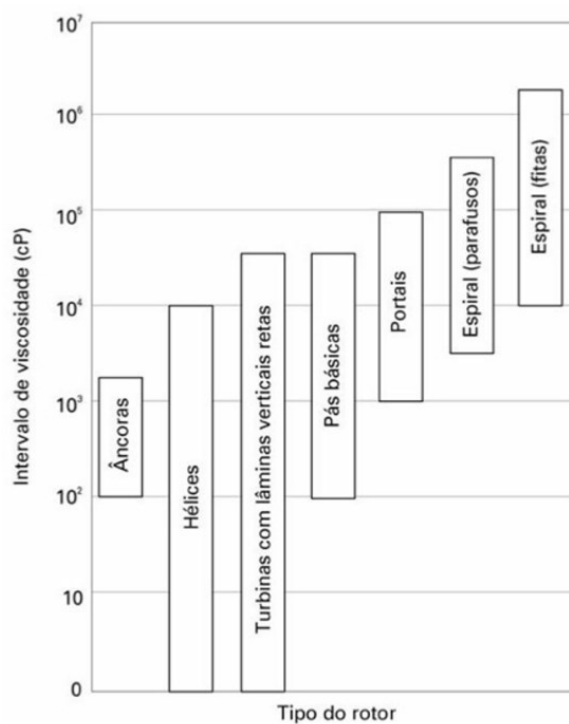
Fonte: Gerhartz (1988), adaptado por Terron (2012).

**Figura 26** – Seleção do tipo de impelidor em função da viscosidade do meio a ser agitado.



Fonte: Terron (2012).

**Figura 27** – Seleção do tipo de impelidor para tanques em função da viscosidade, segundo Rase (1997).



Fonte: Rase (1977), adaptado por Terron (2012).

### 3.3.3 Proporções dos novos tipos de impelidores

Para a medida das proporções e dimensões ideais dos impelidores propostos, foi obtido por meio das proporções recomendadas presentes na Tabela 1. As dimensões consideradas podem ser melhor vistas na Figura 28 a seguir.

**Tabela 1** - Proporções recomendadas para diferentes tipos de impelidores.

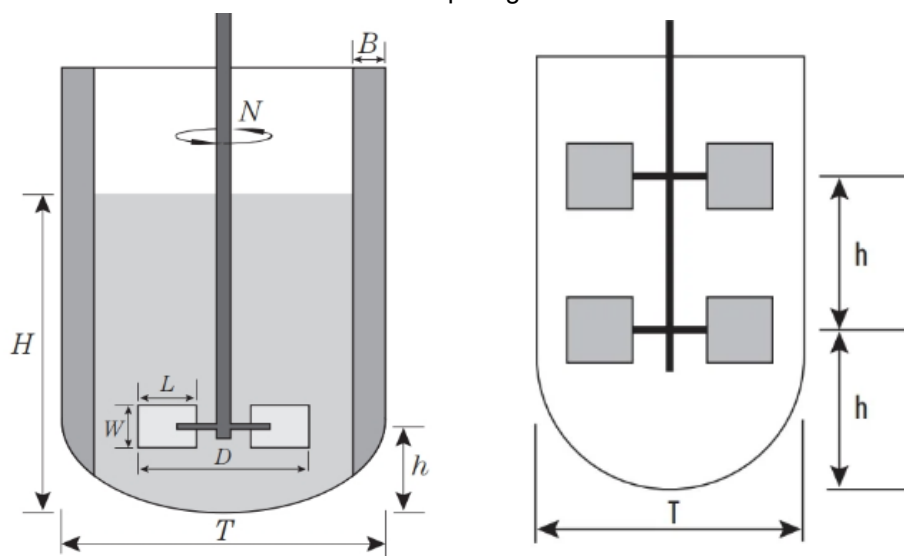
Proporções	Turbina de 6 lâminas inclinadas em 45°	Turbina de Rushton	Hélice marinha
$D/T$	1/3	1/3	1/3
$W/D$	1/8	1/5	-
$L/D$	1/4	1/4	-
$h/D$	1	1	3/2

Fonte: Cremasco (2018), Terron (2012)

Onde:

- $T$  é o diâmetro do tanque
- $D$  é o diâmetro do impelidor
- $W$  é a altura da pá do impelidor
- $L$  é a largura da pá do impelidor
- $h$  é a distância entre dois ou mais impelidores, quando o eixo de agitação possui mais de um impelidor, e também é a distância do impelidor e o fundo do tanque.

**Figura 28** – Medidas características de um tanque agitado.



Fonte: Cremasco (2018).

### 3.4 Potência de agitação

Para a análise da potência de agitação, utilizou-se de correlações empíricas de potência com outras variáveis do sistema determinadas através de análise dimensional.

Para um tanque padronizado, os fatores de forma são temporariamente ignorados e o líquido é considerado newtoniano, a potência  $P$  é função das seguintes variáveis:

$$P = \Psi (N, D, \mu, \rho, g) \quad (12)$$

Aplicando o método de análise dimensional obtém-se:

$$\frac{P}{N^3.D^5.\rho} = \Psi \left( \frac{N.D^2.\rho}{\mu}, \frac{N^2.D}{g} \right) \quad (13)$$

Introduzindo-se os fatores de forma, a equação (13) pode ser escrita como:

$$\frac{P}{N^3.D^5.\rho} = \Psi \left( \frac{N.D^2.\rho}{\mu}, \frac{N^2.D}{g}, \frac{D}{T}, \frac{h}{D}, \frac{L}{D}, \frac{W}{D}, \frac{B}{T}, \frac{H}{T} \right) \quad (14)$$

Por fim, pode-se chegar aos números adimensionais de potência ( $N_{po}$ ), Reynolds ( $Re$ ) e Froude ( $Fr$ ), vistos nas equações (15), (16) e (17) respectivamente.

$$N_{po} = \frac{P}{N^3.D^5.\rho} \quad (15)$$

$$Re = \frac{N.D^2.\rho}{\mu} = \frac{N.D^2}{\nu} \quad (16)$$

$$Fr = \frac{N^2.D}{g} \quad (17)$$

Com isso, a equação (14) pode ser reescrita como:

$$N_{po} = \Psi \left( Re, Fr, \frac{D}{T}, \frac{h}{D}, \frac{L}{D}, \frac{W}{D}, \frac{B}{T}, \frac{H}{T} \right) \quad (18)$$



O Número de Froude ( $Fr$ ) é uma medida que consiste da razão entre a força de inércia pela força gravitacional por unidade de área agindo no fluido. Esses tipos de forças são mais comumente vistos em tanques sem chicanas, onde, a partir de  $Re > 300$  essas forças se fazem presentes e contribuem para formação de vórtices na agitação (MCCABE; SMITH; HARRIOTT, 1993).

O Número de Potência ( $N_{po}$ ) pode ser entendido de maneira análoga ao fator de atrito e do coeficiente de perda de carga localizada.  $N_{po}$  é proporcional a razão da força de arraste agindo sobre unidade de área do impulsor e a tensão tangencial, representando o efeito do atrito em decorrência do nível de agitação do fluido e das características construtivas do tanque agitado (CREMASCO, 2018).

#### 3.4.1 Estudo do regime de escoamento e velocidades do impelidor

Com os números adimensionais encontrados, o próximo passo foi estudar o regime de escoamento em que cada impelidor proposto teria agitando-se um tipo de fluido específico. Lembrando-se que foi considerado as propriedades dos líquidos produzidos pela empresa como o Intercap IX20, Solupan SX20, Shampoo Concentrado e do Amaciante para Roupas.

Para este estudo, foi considerada uma faixa de velocidade do impelidor, medidas em RPM (rotação por minuto), de 10 a 150 RPM. Com o diâmetro dos impelidores propostos sendo o mesmo para todos e com as propriedades dos fluidos estudados calculou-se o Reynolds em função da velocidade de rotação e do tipo de fluido.

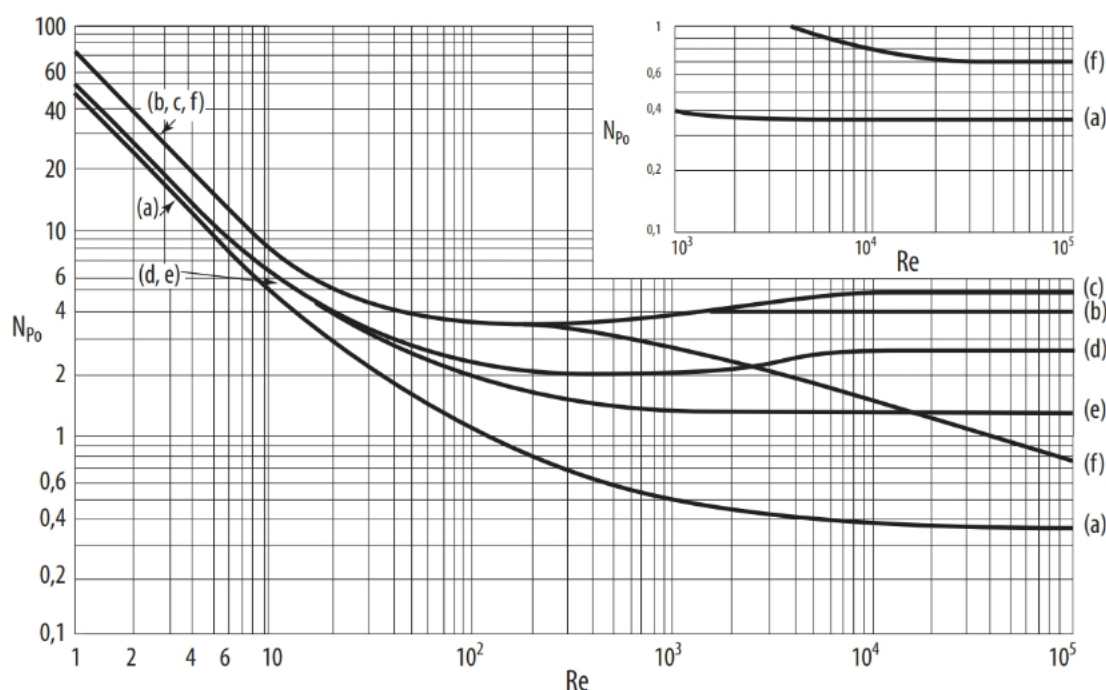
O número de Reynolds do impelidor ( $Re$ ) é usado para mensurar o regime de escoamento em um sistema de mistura, ele é calculado a partir do diâmetro ( $D$ ) e velocidade do impelidor ( $N$ ). Para baixos números de Reynolds ( $Re < 10$ ) o escoamento prevalece laminar e para  $Re > 3000$  o escoamento é turbulento. Tendo isso em vista e considerando-se a necessidade de um regime de escoamento e velocidade específica para cada caso, foi proposto faixas de velocidades recomendadas para se agitar cada fluido.

#### 3.4.2 Cálculo da potência requerida para a agitação.

Com as faixas de velocidade recomendadas para cada fluido, considerou-se uma velocidade que atenda todas ou a maioria das faixas recomendadas para os

fluidos estudados. Utilizando-se os valores de Reynolds obtidos para as velocidades recomendadas e com o gráfico fornecido por Treybal, visto na Figura 29, foi possível obter valores de número de potência ( $N_{po}$ ) para os diversos tipos de impelidores em função do número de Reynolds do impelidor para cada tipo de fluido a ser agitado.

**Figura 29** – Número de potência para vários tipos de impelidores em função do número de Reynolds do impelidor para fluidos newtonianos: (a) hélice naval; (b) pás retas; (c) pás retas e disco (turbina de Rushton),  $W/D = 0,2$ ; (d) pás encurvadas,  $W/D = 1/8$ ; (e) pás inclinadas com passo de  $45^\circ$  e  $W/D = 1/8$ ; (f) pás retas sem chicanas.



Fonte: Cremasco (2018) baseada em Treybal (1980).

Com o  $N_{po}$  encontrado para cada caso de agitação em função do tipo de impelidor e do tipo de fluido que está sendo agitado sob uma rotação específica, utilizou-se da equação (15) rearranjada para se determinar a potência requerida na agitação ( $P$ ), resultando na equação (19).

$$P = N_{po} \cdot N^3 \cdot D^5 \cdot \rho \quad (19)$$

No caso de um eixo do rotor contendo mais de um impelidor, e que suas distâncias sejam  $h \cong D$ , aplicou-se o fator de correção, calculando-se a potência total como na equação (20).

$$P_t = n.P \quad (20)$$

Onde  $n$  é o número de impelidores,  $P_t$  é a potência total e  $P$  a potência de cada impelidor.

Por fim, com a potência de agitação calculada para cada tipo de impelidor em função do fluido, foram feitas considerações e recomendações de utilização de tipos de motores com suas potências comerciais que melhor atenderiam os critérios de agitação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

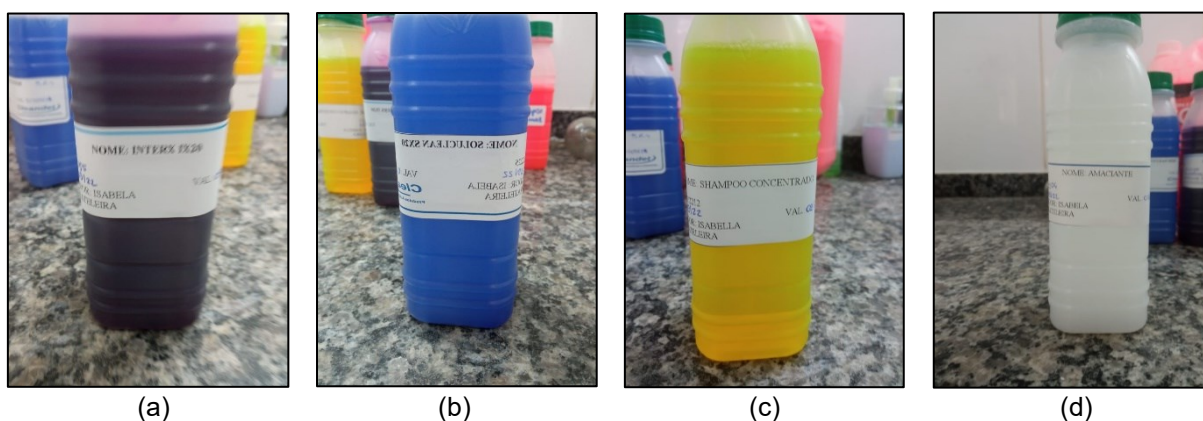
Nesta seção é apresentado os resultados e discussões obtidos a partir das metodologias empregadas citadas na seção anterior.

### 4.1 Propriedade dos líquidos estudados

Para uma melhor avaliação e dimensionamento dos tanques misturadores foi importante se conhecer os líquidos que são agitados. Primeiramente, se realizou uma análise descritiva qualitativa desses fluidos, a fim de se investigar seus aspectos físicos quando são comercializados. A partir disso, determinou-se as propriedades dos líquidos com os métodos vistos na seção de “Materiais e métodos”.

O Intercap IX20 é um líquido de pouco viscoso de coloração roxa, possui cheiro forte e é altamente ácido. O Solupan SX20 é um líquido de coloração azulada, turvo e moderadamente viscoso, possuindo alta alcalinidade. O Shampoo Concentrado é um líquido de coloração amarelada, de viscosidade e turbidez moderada, não muito ácido. Já o Amaciante é um líquido de coloração esbranquiçada turva, de pH neutro e altamente viscoso. Na Figura 30 é possível ver imagens das amostras destes líquidos.

**Figura 30** – Amostras utilizadas para o estudo de caso; (a) Intercap IX20; (b) Solupan SX20; (c) Shampoo Concentrado; (d) Amaciante.



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a análise qualitativa, utilizou-se o copo Ford para medir o tempo de escoamento de cada líquido. Utilizando-se da equação (1) para se converter o tempo de escoamento em termos de  $\text{mm}^2/\text{s}$ , obteve-se os seguintes resultados de viscosidade cinemática apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Viscosidades cinemáticas determinadas pelo método de medição do tempo de escoamento com o copo Ford.

Produto	Tempo (s)	Viscosidade Cinemática (mm <sup>2</sup> /s)
Intercap	13,6 ± 0,1	35,01 ± 0,38
Solupan	15,6 ± 0,1	42,70 ± 0,38
Shampoo	23,7 ± 0,1	73,85 ± 0,38
Amaciante	58,7 ± 0,1	208,46 ± 0,38

Fonte: Aatoria Própria (2022).

Os valores de densidade dos líquidos em g/mL foram obtidos por medições e aferimentos com o densímetro, esses dados são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Dados de densidades obtidos pelo densímetro.

Produto	Densidade (g/mL)
Intercap	1,05 ± 0,01
Solupan	1,09 ± 0,01
Shampoo	1,02 ± 0,01
Amaciante	1,02 ± 0,01

Fonte: Aatoria Própria (2022).

A partir dos dados obtidos de viscosidade cinemática e densidade, foram calculadas as viscosidades dinâmicas para cada fluido, segundo a relação apresentada na equação (2), sendo os resultados apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Viscosidades Dinâmicas para os fluidos estudados com base nos dados de viscosidade cinemática e densidade.

Produto	Viscosidade Dinâmica	
	Pa.s	cP
Intercap IX20	3,68 X 10 <sup>-2</sup>	36,756
Solupan SX20	4,65 X 10 <sup>-2</sup>	46,540
Shampoo Concentrado	7,53 X 10 <sup>-2</sup>	75,327
Amaciante	2,13 X 10 <sup>-1</sup>	212,629

Fonte: Aatoria Própria (2022).

Era de se esperar que o amaciante teria a maior viscosidade entre os líquidos estudados tendo em vista a observação qualitativa realizada previamente, seguido pelo Shampoo Concentrado que possui maior viscosidade em relação ao Intercap e

Solupan.

#### 4.2 Dimensões atuais dos tanques, chicanas e impelidores.

Seguindo o estudo dos misturadores, foi avaliado as proporções e dimensões atuais dos equipamentos da indústria visando a melhoraria do desempenho das operações de mistura e agitação.

Os três tanques presentes na indústria possuem o mesmo formato, com isso, tomou-se a medida de apenas um tanque para os cálculos. Foi então medida a altura externa, diâmetro ( $T$ ) e altura interna da parte cilíndrica ( $h_c$ ) do tanque com o auxílio de uma trena, sendo esses dados colocados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Dados de dimensões do tanque obtidas pela medição com a trena.

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

Fonte: Autoria Própria (2022).

Devido às limitações instrumentais não foi possível medir a altura do fundo ( $h_{FC}$ ) cônico com precisão utilizando-se a trena, no entanto, soube-se que os tanques possuem um volume interno total ( $V_T$ ) de 1500 litros, com isso e sabendo-se a altura da parte cilíndrica interna do tanque ( $h_c$ ), pode-se calcular o volume do fundo cônico a partir das equações 4 e 5. A tabela 6 apresenta os volumes das partes internas do tanque com seu volume total.

**Tabela 6** - Volumes das partes internas do tanque

Volume	Litros (L)	m <sup>3</sup>
Volume Total ( $V_T$ )	1500	1,50
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: Autoria Própria (2022).

Com as informações de volume, vistas na tabela acima, e das dimensões do tanque obtidas até agora, utilizou-se das equações 6 e 7 para a determinação da altura do fundo cônico ( $h_{FC}$ ). A tabela 7 apresenta os dados de altura do fundo cônico calculados com uma medida de altura corrigida.

**Tabela 7** - Dados de dimensão do fundo cônico do tanque.

Descrição	Medida (cm)
Altura do fundo cônico calculado ( $h_{Fc}$ )	$43 \pm 3,0$
Altura corrigida	40

Fonte: Aatoria Própria (2022).

Como o fundo do tanque não é perfeitamente cônico por possuir uma saída de líquido achatado na parte do fundo, considerou-se uma medida de correção como 40 cm. Assim, a altura total interna do tanque é de 170 cm.

Para medida de altura do nível de líquido ( $H$ ), foi informado pela empresa que normalmente preparam-se 1000 litros de produtos de alta demanda como o Intercap IX20 e o Solupan Sx20. Como a empresa trabalha sob demanda o nível de líquido pode ser menor em alguns casos de operação. Para efeito de cálculos de dimensionamento, foi considerado 1000 litros o volume de líquido a ser agitados ( $V_a$ ).

Para o cálculo, tomou-se o volume de líquido que é agitado subtraindo-se com o volume do fundo cônico, como na equação (8), resultando no volume preenchido na parte cilíndrica do tanque ( $V_p$ ). Com os dados obtidos até agora, pode-se calcular a altura do nível de líquido pelas equações (9) e (10), resultando-se na informação presente na tabela 8.

**Tabela 8** - Altura do nível de líquido para 1000 litros de líquido sendo agitado.

Descrição	Medida (cm)
Altura do nível de líquido ( $H$ )	$122 \pm 6,0$

Fonte: Aatoria Própria (2022).

Como visualizado na figura 21, apenas o Tanque 1 possui chicanas em seu interior. Foi então medida a largura dessas chicanas defletoras com o auxílio de uma trena e esta medida apresentada na tabela 9.

**Tabela 9** – Dados para as chicanas no Tanque 1.

Descrição	Medida (cm)
Largura das Chicanas ( $B$ )	$16 \pm 1,0$

Fonte: Aatoria Própria (2022).

Por fim, foi medida as dimensões dos impelidores que a empresa possui em seus misturadores. As medidas de dimensões estão disponíveis nas Tabelas 10 e 11.

**Tabela 10** - Dimensões das pás dos impelidores com formato de folha

Descrição	Medida (cm)
Altura	$33 \pm 1,0$
Diâmetro	$52 \pm 1,0$
Passo entre as pás	$29 \pm 1,0$

Fonte: Aatoria Própria (2022).

**Tabela 11** - Dimensões do impelidor do tipo pás em forma de grade.

Descrição	Medida (cm)
Altura	$90 \pm 1,0$
Diâmetro	$95 \pm 1,0$

Fonte: Aatoria Própria (2022).

A medida da distância dos impelidores com o fundo do tanque ( $h$ ) não foi possível ser medida devido às limitações físicas do instrumento de medição.

Com todas as dimensões devidamente mensuradas e calculadas, partiu-se para a avaliação das proporções atuais dos misturadores.

#### 4.3 Dados do motor

Como dito anteriormente, não pode ser obtido os dados de potência para o mesmo. Apesar disso, pode-se calcular a velocidade de rotação do eixo contando o tempo para cada 10 ciclos de rotação do eixo do impelidor. A Tabela 12 mostra a velocidade encontrada em RPS e RPM.

**Tabela 12** - Cálculo para determinação da velocidade de rotação do eixo do motor-redutor (em RPS e RPM).

Tentativa	Nº de ciclos de rotação	Tempo (s)
1, 4, 5 e 7	10	$9 \pm 1,0$
2 e 6	10	$8 \pm 1,0$
3	10	$7 \pm 1,0$
Média	10	8,43
RPS		1,19
RPM		71,19

Fonte: Aatoria Própria (2022).



Com isso, o motor está fornecendo uma rotação de aproximadamente 70 RPM para os eixos dos impelidores, lembrando que este motor está acoplado a uma caixa de redução, ou seja, ele está diminuindo a velocidade de rotação, mas aumentando o torque.

#### 4.4 Razão de preenchimento ( $H/T$ )

A razão de preenchimento foi calculada considerando-se o diâmetro do tanque ( $T$ ) e a altura do nível de líquido ( $H$ ) calculada, como visto na equação (3), esse valor foi comparado com a razão ideal recomendada pela literatura de McCabe, Smith e Harriott (1993). A Tabela 13 apresenta o valor da razão de preenchimento ideal com o valor atual.

**Tabela 13** - Comparação da razão de preenchimento atual com a ideal.

Proporção	Ideal	Atual
$H/T$	1,0	1,06

Fonte: Autoria Própria (2022).

Como pode ser visto, a razão de preenchimento está dentro dos padrões recomendados pela literatura, o que sugere que o sistema de agitação está trabalhando dentro das condições de segurança recomendadas para seu funcionamento e consumindo uma quantidade ideal de potência na agitação. Além disso, o formato do seu fundo cônico tende a melhorar este fator, diminuindo o consumo de potência no bombeamento do líquido, como visto no trabalho de Foukrach e Ameur (2020).

#### 4.5 Chicanas defletoras

Chicanas defletoras assumem um papel fundamental em um sistema de agitação. Como visto na revisão bibliográfica deste trabalho, a função das chicanas é de impedir a formação de vórtice e o acúmulo de material sólido no fundo do tanque.

Apenas um tanque possui chicanas defletoras na empresa, sendo que este contém apenas duas chicanas em seu interior. Com o valor de largura das chicanas ( $B$ ) avaliou-se então sua proporção em relação ao diâmetro do tanque ( $T$ ) comparando-se com o proposto na literatura, vista na equação (11). Estes dados são vistos na Tabela 14.

**Tabela 14** - Comparação da razão entre Largura das Chicanas com o Diâmetro do tanque para o caso atual com o ideal.

Proporção	Ideal	Atual
$B/T$	0,10	0,14

Fonte: Autoria Própria (2022).

Como visto na tabela acima, percebe-se que a largura das chicanas está ligeiramente maior do que o recomendado, sendo 12 cm a largura ideal para as chicanas em um tanque de 115 cm de diâmetro.

Para os casos dos tanques 2 e 3 que não possuem chicanas. Como visto nas literaturas de McCabe, Smith e Harriott (1993) e nos estudos em CFD de Pukkella *et al* (2019), a ausência de chicanas defletoras em tanques de mistura contribuem para a formação de vórtices em seu interior, onde o fluxo tangencial é predominante, com isso, o nível de líquido aumenta, o consumo de potência é elevado e além disso, sólidos podem se acumular no fundo do tanque em uma região fora do vórtice, o que não contribui para uma mistura homogênea de todo o volume agitado. Tendo isso em vista, é fortemente recomendado a colocação de chicanas defletoras nesses tanques, sendo 4 chicanas verticais de 12 cm de largura uma opção ideal para este caso.

## 4.6 Impelidores

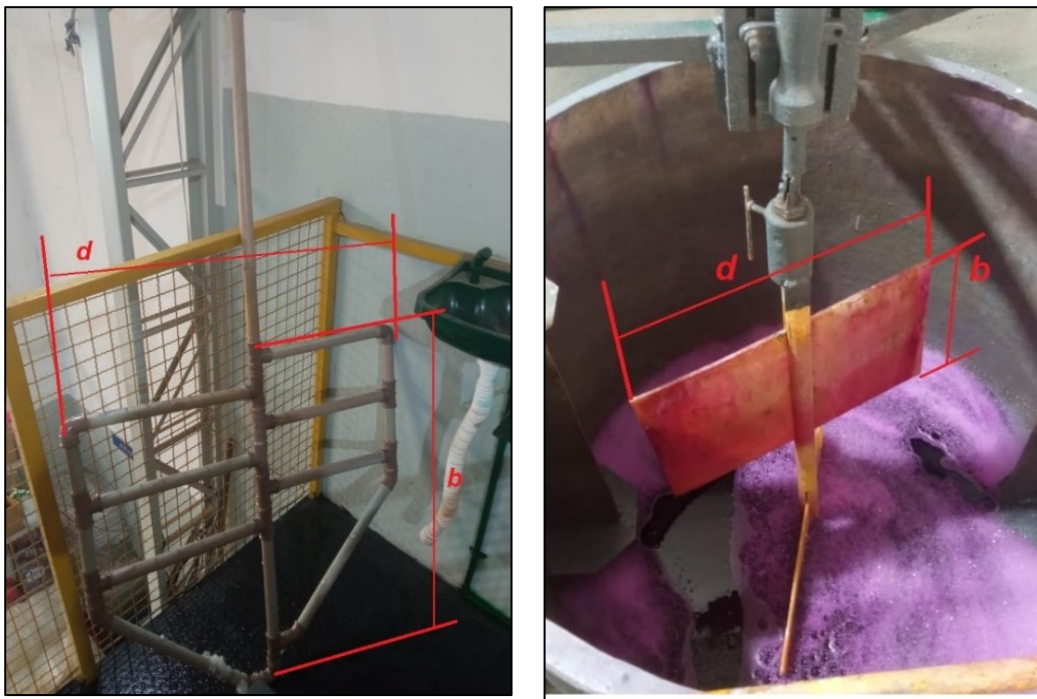
Avaliado as proporções dos tanques, seguiu-se para a avaliação das proporções dos impelidores que a empresa utiliza. Para isso, foram utilizadas as proporções ideais de impelidores recomendadas por Gerhartz (1988) visto e citado na literatura de Terron (2012) como uma das medidas de comparação para se explorar a causa do problema de mistura.

### 4.6.1 Avaliação das proporções atuais dos impelidores

Foi calculado as proporções atuais dos impelidores utilizando-se as dimensões mostradas na Figura 31 para cada impelidor. A partir dos valores de proporção sugeridos pela literatura, como mostra Figura 32, calculou-se as dimensões ideais para estes impelidores tomando-se o diâmetro do tanque ( $T = 115 \text{ cm}$ ) como um valor fixo. A tabela 15 apresenta os valores de dimensões e proporções atuais dos impelidores com base nos dados vistos nas tabelas comparando-se com os valores

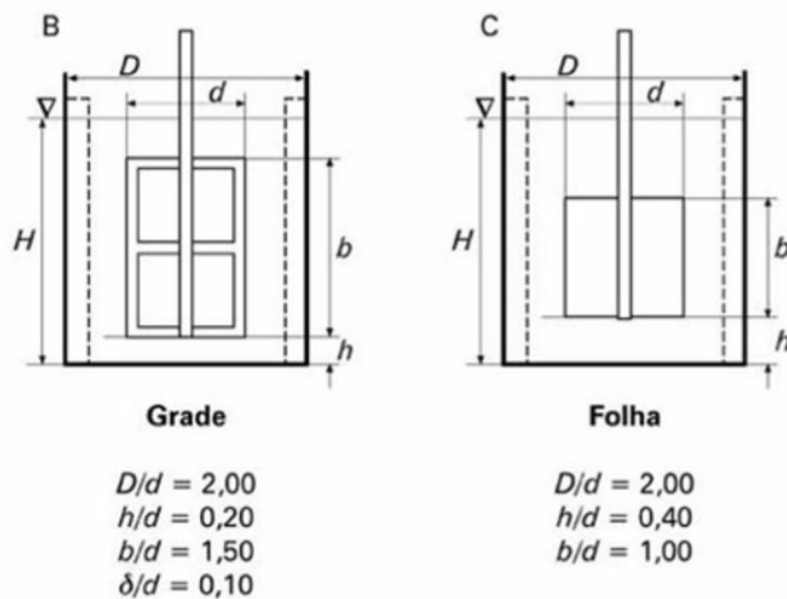
ideais. Avaliado os desvios com o recomendado, foi então calculada as dimensões corretas para estes impelidores.

**Figura 31** – Medidas e proporções tomadas para os impelidores da empresa.



Fonte: Autoria Própria.

**Figura 32** – Proporções padrões recomendadas por Gerhartz (1988), com base na Figura 25, para pás em forma de grade e em forma de folha (neste trabalho considerou-se  $D = T$ ).



Fonte: Gerhartz (1988), adaptado por Terron (2012).

**Tabela 15** - Comparação entre dimensões (em cm) e proporções atuais e ideias para os Impelidores do tipo grade e do tipo folha.

Dimensão	Impelidor			
	Grade		Folha	
	Valor (cm)		Valor (cm)	
	Ideal	Atual	Ideal	Atual
$T$	115,00	115,00	115,00	115,00
$d$	57,50	95,00	57,50	52,00
$b$	86,25	90,00	57,50	33,00
$h$	11,50	-	23,00	-
Proporção	Ideal	Atual	Ideal	Atual
$T/d$	2,00	1,21	2,00	2,21
$h/d$	0,20	-	0,40	-
$b/d$	1,50	0,95	1,00	0,63

Fonte: Autoria Própria

Como pode ser visto na tabela acima, as proporções de ambos os tipos de impelidores disponíveis na empresa estão fora do padrão recomendado. Para o impelidor em forma de grade seu diâmetro ( $d$ ) está muito acima do recomendado, sendo essa proporção ( $T/d$ ) um tanto próximas com a proporção dos impelidores em forma de âncora ( $T/d = 1,02$ ), onde suas pás tem um diâmetro aproximado com o diâmetro do tanque e servindo como um raspador das paredes do tanque. Além disso, as proporções de diâmetro e altura das pás ( $b/d$ ) também apresentam um desvio com o ideal. Não ficou claro se o objetivo deste impelidor era seguir um formato parecido com dos tipo âncora ou grade. Em todo caso, é recomendado seguir as proporções sugeridas na literatura e pelos fabricantes para um bom processo de mistura.

Para o impelidor de pás em forma de folha, suas proporções ficaram ligeiramente fora do padrão, sendo a altura das pás ( $b$ ) uma dimensão com um desvio significativo, apresentando uma altura menor que o recomendado para o caso ideal.

Como mencionado na obtenção dados de dimensões do tanque, não foi possível trazer informações a respeito da distância dos impelidores com o fundo do tanque ( $h$ ), com isso, não foi possível avaliar as proporções atuais com o diâmetro das pás, no entanto, as medidas ideais são apresentadas na tabela 15 juntamente com os outros dados sugeridos para cada impelidor.

#### 4.6.2 Avaliação e Proposta de novos tipos de Impelidores

Nesta etapa, avaliou-se os tipos de impelidores utilizados pela empresa e se estão de acordo com o recomendado pela literatura e pelos fabricantes, em função das propriedades dos líquidos que são agitados.

Para a avaliação do tipo de impelidor utilizou-se das informações de viscosidade dinâmica de alguns líquidos que são preparados nos misturadores da empresa, estas informações estão contidas nas Tabelas 2 e 4. Como os misturadores agitam mais de um tipo de fluido, então, nota-se que a faixa de viscosidade dos fluidos em agitação é de 36,76 a 212,63 cP.

A partir das informações contidas nas Figura 26 e Figura 27 da seção metodológica, pode-se dizer que as melhores escolhas de impelidores para os misturadores da empresa, segundo as propriedades dos líquidos estudados (36,76 a 212,63 cP) são os do tipo turbina e hélice marinha.

Os impelidores do tipo pás em forma de grade e os em forma de folha, que são atualmente utilizados, foram projetados para se agitar fluidos com viscosidade acima de 500 cP (segundo a Figura 26). Com isso, e como visto no referencial teórico, estes tipos de impelidores podem requerer um tempo maior de mistura e podem não diluir bem certos componentes sólidos que são adicionados em meio ao processo devido a sua lenta agitação, além disso, seu perfil de escoamento predominante é o tangencial, que nesse caso, pode não bombear bem o fluido dentro do tanque, o que poderia estar acarretando na má mistura e mau homogeneização dos produtos.

Alguns modelos mais específicos desses tipos de impelidores que são recomendados são; os do tipo turbinas de 6 pás inclinadas em 45° (Figura 6), que possuem um fluxo de escoamento axial, que auxilia na suspensão e dissolução de sólidos e matérias primas em forma de pó; as turbinas de Rushton de 6 pás (Figura 4), que conferem uma agitação com alto cisalhamento, contribuindo assim para a boa dissolução de sólidos difíceis de se dissolver; e por fim as hélices marinhas tradicionais (Figura 7), que conferem uma agitação com um perfil laminar que é ideal para fluidos que geram muita espuma em sua agitação.

A partir dos modelos escolhidos, seguiu-se para o dimensionamento de suas dimensões ideais em relação às proporções do tanque. Para isso, foi utilizado as proporções ideais para os três tipos de impelidores recomendados com as informações contidas na Tabela 1. Com isso, obteve-se as dimensões dos impelidores

em relação a um tanque de 115 cm de diâmetro, como segue na Tabela 16.

**Tabela 16** – Dimensões em centímetros (cm) para os impelidores recomendados

Dimensões	Turbina de 6 lâminas inclinadas em 45°	Turbina de Rushton	Hélice marinha
<i>D</i>	40	40	40
<i>W</i>	5	8	-
<i>L</i>	10	10	-
<i>h</i>	40	40	60

Fonte: Autoria Própria.

Os cálculos para o diâmetro dos impelidores resultaram em um valor de 38,33 cm, no entanto, tendo em vista as medidas de impelidores comerciais e fornecidas por fabricantes, adotou-se o valor de 40 cm de diâmetro.

#### 4.7 Cálculo de potência consumida e dimensionamento de motor

Com a necessidade de uma melhoria nas condições de agitação, tendo em vista que os aspectos de durabilidade e qualidade dos equipamentos não estarem apropriados, foi necessário se dimensionar um sistema onde se tenha um consumo de potência na faixa do recomendado para futuros casos onde a empresa invista em melhorias dos seus impelidores.

Considerando o caso em que a empresa adote os impelidores recomendados neste trabalho, foi verificado o tipo de escoamento que melhor atenderia o processo de mistura para cada produto e com isso, calculou-se a potência consumida para a agitação utilizando-se de diagramas de número de potência ( $N_{po}$ ) em função do Reynolds para cada produto.

Considerou-se para os cálculos, as dimensões dos impelidores propostos tendo em vista que futuramente possam ser utilizados estes tipos de impelidores com essas proporções.

##### 4.7.1 Verificação do Reynolds e proposta de velocidades

Para o cálculo do consumo de potência ( $P$ ) foi necessário avaliar as faixas de perfis de escoamento através do número de Reynolds ( $Re$ ), para isso, variou-se a velocidade de rotação ( $N$ ) do impelidor. Com o intuito de selecionar a melhor faixa de velocidade para se agitar cada fluido, utilizou-se a medida de 40 cm de diâmetro ( $D$ ) para o impelidor. Com esses dados e utilizando a equação (16) com os dados de

viscosidade cinemática ( $\nu$ ) dos líquidos da Tabela 2 (convertido em unidades de  $\text{cm}^2/\text{min}$ ) foi possível calcular o número de Reynolds em função da velocidade do impelidor e variando-se o tipo de líquido agitado. Essas informações podem ser vistas na Tabela 17.

**Tabela 17** - Número de Reynolds em função da velocidade do motor para diferentes tipos de líquidos a serem agitados.

RPM	<b>Intercap</b> $\nu = 21,05 \frac{\text{cm}^2}{\text{min}}$	<b>Solupan</b> $\nu = 25,68 \frac{\text{cm}^2}{\text{min}}$	<b>Shampoo</b> $\nu = 44,41 \frac{\text{cm}^2}{\text{min}}$	<b>Amaciante</b> $\nu = 125,35 \frac{\text{cm}^2}{\text{min}}$
10	760	623	360	128
20	1520	1246	721	255
30	2280	1870	1081	383
40	3040	2493	1441	511
50	3801	3116	1801	638
60	4561	3739	2162	766
70	5321	4362	2522	893
80	6081	4985	2882	1021
90	6841	5609	3243	1149
100	7601	6232	3603	1276
110	8361	6855	3963	1404
120	9121	7478	4324	1532
130	9881	8101	4684	1659
140	10641	8724	5044	1787
150	11402	9348	5404	1915

Fonte: Autoria Própria

A partir dos dados apresentados, pode-se perceber que para líquidos mais viscosos, como o amaciante, o escoamento é menos turbulento em relação a líquidos menos viscosos. Para McCabe, Smith e Harriott (1993) a turbulência em sistemas de agitação começa a partir de  $Re > 3000$ . Com isso e considerando-se o diagrama de Treybal (1980) para a determinação do número de potência (visto na Figura 29 da sessão metodológica), pode-se observar algumas velocidades recomendadas para cada tipo de fluido a ser agitado considerando suas propriedades.

O Intercap atinge o regime turbulento de escoamento a partir de 40 RPM, no entanto, recomenda-se cuidado para este caso, já que o líquido sob alta velocidade de agitação pelo impelidor faz com que haja a presença de bolhas no processo de mistura, pois trata-se de um líquido que contém tensoativos. Sendo assim, uma faixa

de velocidade recomendada para o impelidor que não interfira no processo e que não consuma muita energia seria de 40 a 70 RPM.

Na produção do Solupan é adicionado silicato de sódio alcalino, que é um álcali em forma de pó, neste caso, a presença do escoamento turbulento juntamente com velocidades de rotação não muito exageradas do impelidor podem contribuir para a dissolução desse sólido, sendo assim, a faixa de 60 a 80 RPM pode ser ideal para este caso.

Já para o Shampoo, em sua produção é adicionado um espessante a base de amido que possui forma de um pó branco. Assim como no caso do Solupan, a presença de turbulência pode contribuir na dissolução de sólidos, sendo a faixa de 70 a 90 RPM apropriada para se agitar este líquido.

O amaciante é um dos líquidos mais viscosos produzidos pela empresa, seu escoamento é predominantemente laminar podendo também atingir o regime transiente com altas velocidades do impelidor. Contudo, em seu processo também é adicionado espessante sólido em sua composição, com isso a faixa do escoamento transiente é recomendada. A velocidade do impelidor entre 60 a 80 RPM é apropriada para este caso.

Tendo em vista as diferentes faixas de velocidades necessárias para se atender os critérios de mistura e agitação, é recomendado que a empresa invista em um inversor de frequência colocado entre o motor e a fonte de alimentação. Este inversor além de proporcionar melhores condições de agitação do fluido, controlaria o consumo de energia do motor.

#### 4.7.2 Cálculo da potência consumida para a agitação

Para o cálculo da potência requerida na agitação, considerou-se uma velocidade de rotação em comum que atenderia todas as faixas de velocidade recomendadas, sendo este 70 RPM.

Com os dados de número de Reynolds, vistos na tabela 17, para cada fluido sob 70 RPM de velocidade do impelidor, pode-se conferir valores de número de potência ( $N_{po}$ ) em cada curva de tipo de impelidor utilizando-se o diagrama de Treybal (1980) na Figura 29. Os dados de  $N_{po}$  em função do fluido e do tipo de impelidor segue-se na tabela 18.



**Tabela 18** - Número de potência em relação ao número de Reynolds do escoamento sob 70 RPM de velocidade do impelidor para diferentes tipos de fluidos em função do tipo de impelidor, segundo o diagrama de Treybal (1980) na Figura 29.

Impelidor	Número de potência ( $N_{po}$ )			
	Intercap	Solupan	Shampoo	Amaciante
Turbina 45°	1,3	1,3	1,3	1,35
Hélice	0,46	0,48	0,49	0,55
Rushton	5,2	5	4,9	4,5

Fonte: Aatoria Própria

Com os dados de número de potência ( $N_{po}$ ), densidade dos fluidos ( $\rho$ ), rotação ( $N$ ) e diâmetro do impelidor ( $D$ ), e utilizando-se da equação (19), pode-se calcular o consumo de potência necessário ( $P$ ) para se agitar cada fluido em função do tipo de impelidor, sendo essa, a potência útil de operação. considerando o caso onde haja um eixo com dois impelidores agitando-se o fluido no tanque, utilizou-se de um fator de correção, segundo a equação (20), multiplicando a potência ( $P$ ) obtida por 2. Com isso, os dados obtidos podem ser vistos na tabela 19 a seguir.

**Tabela 19** - Potências consumidas na agitação de cada fluido em função do tipo de impelidor a 70 RPM.

Impelidor	Potência ( $\text{kg.m}^2/\text{s}^3 = \text{Watts}$ )			
	Intercap	Solupan	Shampoo	Amaciante
Turbina 45°	44,39	46,08	43,12	44,78
Hélice	15,71	17,02	16,25	18,24
Rushton	177,57	177,24	162,54	149,27

Fonte: Aatoria Própria

Segundo os dados da tabela acima, pode se observar que o impelidor do tipo Rushton é o que mais consome energia em sua agitação. A energia consumida para se agitar o Intercap é a mais alta em relação a agitação de outros fluidos utilizando este impelidor.

No caso da turbina de tipo Hélice ela irá oferecer menor consumo de energia já que não prove um efeito de cisalhamento na agitação e não contribui para a dissolução e suspensão de sólidos, sendo mais recomendado para misturas apenas de líquidos, como no preparo do Intercap.

O impelidor do tipo turbina inclinada em 45° foram que apresentaram resultado não muito alto de consumo de energia para sua agitação comparando-se com o desempenho dos outros impelidores. Este impelidor irá prover tanto o efeito de

bombeamento visto nos impelidores do tipo hélice e também contribuirá com uma parcela de cisalhamento não muito significativa, como vista nos impelidores do tipo Rushton. Se fosse escolher apenas um tipo de impelidor ideal de imediato, este tipo de impelidor seria uma boa opção tendo em vista seu funcionamento e energia consumida na agitação.

A fim de se selecionar um motor comercial, converteu-se os dados da Tabela 19 em cavalo-vapor, já que muitos fabricantes de motores comercializam este equipamento com esta unidade de medida. Os dados de potência em cv (cavalo-vapor) são vistos na tabela 20.

**Tabela 20** - Dados de potência consumida na agitação em unidades de cavalo-vapor (cv).

Impelidor	Potência (cv)			
	Intercap	Solupan	Shampoo	Amaciante
Turbina 45°	0,06	0,06	0,06	0,06
Hélice	0,02	0,02	0,02	0,02
Rushton	0,24	0,24	0,22	0,20

Fonte: Autoria Própria

Além da potência útil utilizada e considerando-se a energia dissipada pelo sistema de polias e correias que são utilizados para rotacionar os eixos dos impelidores é recomendado um motor de 0,5 cv de potência, isso para o caso de se utilizar um único tanque de mistura.

Segundo a Tabela 12, a velocidade de rotação que é distribuída para os impelidores através do motor atualmente utilizado é de aproximadamente é de 70 RPM, o que está dentro da faixa recomendada para a agitação dos fluidos, no entanto, não é conhecida a potência do motor, com isso, não é possível dizer se o motor que a empresa possui terá a potência necessária para realizar o nível de agitação requerido, com isso é recomendado avaliar primeiramente a potência deste motor por meio de instrumentos de medição apropriados antes de se avaliar a substituição deste.

Como a empresa contém um sistema de polias e correias, tem-se a possibilidade de usar o mesmo motor para se agitar vários tanques, com isso, em casos de se utilizar o motor para mais de um tanque, é recomendado usar um motor com 1,5 cv de potência, que irá prover a potência necessária para ser utilizado em mais de uma operação de mistura ao mesmo tempo. Além dessas recomendações de motores é também apropriado se utilizar um inversor de frequência tendo em vista que ele irá controlar a velocidade juntamente com a potência consumida.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da metodologia empregada e dos resultados e discussões apresentados, pode-se concluir que foi possível avaliar as dimensões dos tanques e dos equipamentos que compõem o sistema de mistura da empresa in-loco. Assim, por meio das heurísticas da literatura, foi possível verificar o atendimento das proporções recomendadas para os tanques de mistura.

Segundo os resultados, o nível de líquido está dentro do recomendado e segue a proporção de 1:1 com o diâmetro do tanque, sendo o volume 1000 litros produzido ideal para este tanque.

Em relação as chicanas defletoras, é altamente recomendado a colocação de chicanas com as proporções e medidas propostas neste trabalho, tendo em vista que este equipamento em um tanque anula o efeito do vórtice.

A partir das proporções de impelidores presentes na literatura e com base nos seus fabricantes, foi possível verificar que os impelidores da empresa não apresentam as proporções ideais segundo o projeto desses impelidores na literatura. A partir disso, foi proposto as medidas recomendadas para eles, no entanto, a utilização destes tipos de impelidores não é usual segundo as propriedades dos líquidos estudados.

Com base nas propriedades dos fluidos, foi possível se estimar três tipos de impelidores apropriados, que possam oferecer melhores desempenhos de mistura, sendo eles os impelidores do tipo turbina de pás inclinadas em 45°, a turbina de Rushton e o impelidor do tipo hélice.

A partir dos três impelidores recomendados, estudou-se o escoamento para cada impelidor agitando-se diferentes tipos de fluidos, com isso foi possível verificar uma faixa de rotação apropriada para cada impelidor em função do número de Reynolds do fluido agitado.

Considerando uma rotação que atenda todas as faixas de operação, calculou-se então o consumo de energia na agitação para cada um dos impelidores propostos a 70 RPM de velocidade. Com isso, é recomendado que seja utilizado um motor de 0,5 cv para os casos de agitação de um único tanque por vez, ou um motor de 1,5 cv para os casos em que vá ser utilizado o motor em mais de uma operação de mistura nos outros tanques.

## REFERÊNCIAS

ABIPLA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PRODUTOS DE LIMPEZA). Vendas de produtos de limpeza crescem 8,4% em 2021 e Brasil assume a 5ª posição no ranking global. **Notícias ABIPLA**, 23 maio 2022. Disponível em: <https://abipla.org.br/vendas-de-produtos-de-limpeza-crescem-84-em-2021-e-brasil-assume-a-5a-posicao-no-ranking-global/>. Acessado em: 13 nov. 2022.

BARBOSA, J. E. **Dimensionamento do eixo do impelidor em sistemas de agitação e mistura para processos industriais**. Campinas, São Paulo, 2004. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Química, Campinas 2004.

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>. Acessado em: 13 nov. 2022.

CAETANO, M J. L. **Propriedades de pigmentos e de corantes**. CTB Borracha. 2019.

CHEREMISINOFF, N. P. **Handbook of Chemical Processing Equipment**. Elsevier, 2000.

CREMASCO, M. A. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos e outros trabalhos**. Editora Blucher, 2018. E-book. ISBN 9788521208563. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208563/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

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: 14 nov. 2022.

FELIPE, L.; DIAS, S. Surfactantes sintéticos e biossurfactantes: vantagens e desvantagens. **Química Nova da Escola**, v. 39, n. 03, p. 228-236, 2017.

FORNY, L.; MARABI, A.; PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder technology**, v. 206, n. 1-2, p. 72-78, 2011.

FOUKRACH, M.; AMEUR, H. Effect of baffles shape on the flow patterns and power consumption in stirred vessels. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 11, p. 1-11, 2019.

FOUKRACH, M.; AMEUR, H. Investigation of the flow patterns and power requirements in agitated systems: effects of the design of baffles and vessel base. **International Journal of Chemical Reactor Engineering**, v. 18, n. 9, 2020.

GERHARTZ, W. **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry**. 5. ed. Vol. B2:

unit operations I. Weinheim, VCH, 1988.

KUSHIDA, M. M. **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). Acessado em: 14 nov. 2022.

MACHADO, F. **Tensoativos.** 2016. Disponível em:

<https://formuladesabaoartesanal.com/tensoativos/>. Acessado em: 14 nov. 2022.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Unit operations of chemical engineering.** 5th Edition. New York: McGraw-hill, 1993.

NIENOW, A. W.; EDWARDS, M. F.; HARNBY, N. **Mixing in the process industries.** 2. ed. Butterworth-Heinemann, 1997.

PUKKELLA, A. K. *et al.* Improved mixing of solid suspensions in stirred tanks with interface baffles: CFD simulation and experimental validation. **Chemical Engineering Journal**, v. 358, p. 621-633, 2019.

QUÍMICA E DERIVADOS. As metas para o futuro do setor de produtos de limpeza:

ABIPLA. **Revista Química e Derivados.** Editora QD. 11 jan. 2022. Disponível em:

<https://www.quimica.com.br/as-metas-para-o-futuro-do-setor-de-produtos-de-limpeza-abipla/>. Acessado em: 13 nov. 2022.

SEO, L. **Entendendo os surfactantes:** abordagem teórica. 11 nov. 2017. Disponível em: <https://www.meucabelonatural.com.br/blog/post/entendendo-os-surfactantes-abordagem-teorica>. Acessado em: 14 nov. 2022.

SMULDERS, E. *et al.* **Laundry detergents.** 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: 14 de nov. de 2022.

STPP. "Wha tis liquid detergente made of?". **STTP Group.** 27 mai. 2021. Disponível em: <https://stppgroup.com/what-is-liquid-detergent/>. Acessado em: 14 nov. 2022.

TADINI, C. C. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos.** Grupo GEN, 2015.

E-book. ISBN 978-85-216-3034-0. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#!/books/978-85-216-3034-0/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

TERRON, L. R. **Operações Unitárias para Químicos, Farmacêuticos e**

**Engenheiros.** Grupo GEN, 2012. E-book. ISBN 978-85-216-2174-4. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#!/books/978-85-216-2174-4/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

TREYBAL. R. E. **Mass-transfer operation.** 3. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1980.

UHL, V. W.; GRAY, J.B. **Mixing**: Theory And Practice. v. 1, Academic Press, New York, 1966.

WILLIAM, G. Material de Limpeza – Guia Definitivo e Completo. **Higiclear**. 27 fev. 2021. Disponível em: <https://www.higiclear.com/artigos/material-de-limpeza/>. Acessado em: 13 nov. 2021.