



Otimização de um processo produtivo

JOÃO DIOGO MONTEIRO FERREIRA

Outubro de 2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestrado em Engenharia Química

Ramo - Qualidade

Otimização de um processo produtivo

Orientador da Empresa: Eng.^o Patrício Torres

Orientadora do ISEP: Doutora Elisa Ramalho

Autor: João Diogo Ferreira - 1130540

Agradecimentos

Ao longo desta jornada muitas foram as pessoas que contribuíram para o sucesso deste projeto. A todas elas gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos. De uma maneira especial gostaria de salientar e agradecer:

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha mãe, à minha irmã e à Patrícia pelo imenso apoio dado durante esta etapa. Foram incansáveis, ajudaram de todas as formas possíveis e impossíveis. Ajudaram emocionalmente, psicologicamente e até academicamente.

Todos os meus amigos que me ajudaram a atravessar esta fase e me apoiaram.

Agradeço também à administração da RNM - Produtos Químicos, SA que possibilitou a concretização desta dissertação.

Tenho um agradecimento especial ao Eng. Patrício Torres que sempre fez tudo para que pudesse concluir o mestrado e pelo apoio e discussão de ideias para a realização desta dissertação.

À Doutora Elisa Ramalho que tentou de todas as formas que a tese “tivesse pernas para andar” e pela disponibilidade para a troca de ideias “fora de horas”.

Agradeço a todo o laboratório da RNM - Produtos Químicos, SA, que tantas vezes perguntaram como estava a correr o mestrado e por toda a colaboração para a realização deste trabalho.

Ao Eng. Pedro Duarte e Eng. Rafael Pereira pela informação prestada e pela disponibilidade para ajudar.

Agradeço ao Hugo e a todos os operadores de trabalho que me acompanharam ao longo destes últimos tempos e me ajudaram na integração na empresa.

A todos aqueles que estiveram presentes um muito obrigado!

Sumário

A presente dissertação, feita em ambiente empresarial na RNM – Produtos químicos, S.A., teve como objetivo numa primeira fase a diminuição do número de lavagens do reator industrial e numa segunda fase a otimização de uma produção de Detergente Teste.

Inicialmente recolheram-se dados sobre as matérias-primas que compunham os diferentes produtos produzidos na empresa e pela análise destes desenvolveu-se um seguimento de produções com vista a reduzir o número de lavagens do reator entre produções de diferentes produtos. Avaliando a compatibilidade das matérias-primas foi possível sugerir um seguimento de produções que permite que não sejam efetuadas lavagens entre eles ou que reduza o risco de contaminação dos produtos seguintes.

A segunda fase da dissertação iniciou com a produção do novo detergente á escala laboratorial, sem problemas associados, mas com a passagem para escala industrial surgiram alguns problemas relacionados com as propriedades do fluido, principalmente a viscosidade elevada, 33400 cP a 24,1°C.

A resolução do problema passou pelo aumento da temperatura de produção de Detergente Teste, fazendo passar água a 40°C na serpentina de aquecimento acoplada ao tanque agitado, diminuição da velocidade de agitação do reator passando de 50 rpm para 25 rpm, diminuição dos caudais de entrada das matérias-primas e prévio aquecimento até 40°C de uma das matérias-primas utilizadas na produção, sendo ela o Tensioativo aniónico 2 de forma a reduzir a sua viscosidade, 33400 cP a 24°C para 30660 cP.

Como proposta de melhoria apresentou-se a implementação de controladores de temperatura em cascata para monitorização e estabilização da temperatura de um fluido dentro do reator. Foi possível ainda fazer o dimensionamento de um agitador do tipo âncora, mais indicado para o tipo de fluido produzido que o atual agitador, tendo-se obtido, obedecendo a um escoamento em regime laminar, uma velocidade de agitação de 53 rpm, número de potência de 1,09 e de uma potência do motor do agitador de 4854 W.

Palavras chave: Processo, Detergência, Reator, Agitador

Abstract

This dissertation, carried out in a business environment at RNM - Produtos Química, S.A., aimed at reducing the number of washes in the industrial reactor in a first phase and in a second phase the optimization of a production of Test Detergent.

Initially, data were collected on the raw materials that made up the different products found in the company and, through the analysis of these products, a sequence of productions was carried out in order to reduce the number of reactor washes between productions of different products. Assessing the compatibility of raw materials, it was possible to suggest a sequence of production that allows no washing to be carried out between them or that reduces the risk of contamination of the products to follow.

The second phase of the dissertation started with the production of the new detergent on a laboratory scale, with no associated problems, but with the transition to industrial scale, some problems related to the properties of the fluid arose, mainly the high viscosity, 33400 cP at 24,1°C.

The problem was solved by increasing the production temperature of Test Detergent, by passing water at 40°C into the heated heating coil attached to the agitated tank, reducing the reactor stirring speed from 50 rpm to 25 rpm, decreasing the inlet flow rates of the raw materials and preheating to 40°C one of the raw materials used in production, being the anionic surfactant 2 in order to reduce its viscosity, 33400 cP at 24,1°C to 30660 cP.

As an improvement proposal, the implementation of cascade temperature controllers for monitoring and stabilizing the temperature of a fluid inside the reactor is presented. It was also possible to design an anchor-type agitator, more suitable for the type of fluid produced than the current agitator, obtaining, following a flow in laminar regime, a rotation speed of 53 rpm, number of power 1.09 and an agitator motor power of 4854 W.

Keywords: Process, Detergency, Reactor, Agitator

Índice

Agradecimentos	i
Sumário.....	iii
Abstract.....	v
Índice	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xi
Nomenclatura.....	xiii
1. Introdução	1
1.1. Tema e Objetivos.....	1
1.2. Apresentação da Empresa.....	1
1.3. Organização do Relatório.....	3
2. Estado da Arte.....	5
2.1. Indústria Química.....	5
2.1.1. Detergência	6
2.2. Tanques agitados.....	9
2.2.1. Reatores Fechados.....	9
2.2.2. Agitadores.....	11
2.3. Lean thinking.....	16
2.4. Ciclo PDCA.....	18
3. Processo Produtivo.....	21
3.1. Descrição do Processo.....	21
3.2. Pontos de Melhoria	24
3.2.1. Armazenagem de Matérias-Primas.....	24
3.2.2. Planeamento de Produção.....	26
4. Produção Detergente Teste.....	29
4.1. Instalação produtiva.....	30

4.2.	Formulação Detergente Teste.....	32
4.2.1.	Condições iniciais	33
4.2.2.	Otimização do processo produtivo	35
4.3.	Propostas de melhoria	42
4.3.1.	Controladores de temperatura	42
4.3.2.	Agitadores.....	43
4.3.3.	Tempo de Carga	45
5.	Conclusões.....	47
6.	Referências Bibliográficas	49
	Anexos	51
A.	Cálculo dimensões do agitador	51
B.	Cálculo altura do nível do fluido no interior do reator.....	52
C.	Cálculo do número de potência e da potência do agitador	53
D.	Cálculo do tempo de carga	54

Índice de Figuras

Figura 1. Volume de vendas da Indústria Química por áreas regionais (2010). .	6
Figura 2. Representação de uma micela.	8
Figura 3. Experiência de Reynolds com os diferentes tipos de regime.	11
Figura 4. Tanque agitado.....	12
Figura 5. Representação de um agitador do tipo âncora.	14
Figura 6. Ciclo PDCA [8]	19
Figura 7. Fluxograma do processo produtivo da RNM – Produtos Químicos, S.A	22
Figura 8. Layout do processo na RNM- Produtos Químicos, S.A, na Carreira.	23
Figura 9. Layout do processo na RNM- Produtos Químicos, S.A, em Landim.	25
Figura 10. Instalação utilizada para produção de Detergente Teste	30
Figura 11. Tensioativo aniónico 2 à superfície da mistura	34
Figura 12. Variação da viscosidade (cP) do Tensioativo aniónico 2 em função da temperatura (°C)	36
Figura 13. Determinação da viscosidade do Detergente Teste para a temperatura de 25,6°C.....	37
Figura 14. Variação da viscosidade em função da temperatura do Detergente Teste	41
Figura 15. Sistema de controlo da temperatura dentro do misturador	43
Figura 16. Esquema representativo de um agitador de âncora.....	44

Índice de Tabelas

Tabela 1. Propriedades da água.....	7
Tabela 2. Correlações existentes para diferentes tipos de agitadores para determinar o Número de Potência, N_p	16
Tabela 3. Composição dos produtos analisados num reator da RNM - Produtos químicos, S.A.....	26
Tabela 4. Formulação Detergente Teste	32
Tabela 5. Variação da viscosidade (cP) do Tensioativo aniónico 2 em função da temperatura (°C).	36
Tabela 6. Determinações da viscosidade do Detergente Teste para diferentes temperaturas.	38
Tabela 7. Ensaio agrupados por cores identificando as médias de viscosidade e temperatura calculadas.....	39
Tabela 8. Média das viscosidades e temperaturas apresentadas na tabela anterior.	40
Tabela 9. Relações geométricas apresentadas recomendadas para agitadores de âncora e helicoidal [18].	44
Tabela 10. Dimensões (m) do agitador de âncora.	44
Tabela 11. Relações geométricas apresentadas recomendadas para agitadores de âncora e helicoidal	51
Tabela 12. Dados acerca das matérias-primas para a produção do Detergente Teste.	54

Nomenclatura

C - distância entre a extremidade da pá e a parede do tanque (m)

CAE - Classificação Portuguesa de Atividades Económicas.

D - diâmetro do agitador (m)

ETBE - Éter etil-terc-butílico

EU-27 - União Europeia com 27 países

IBC - Contentor Intermédio de Mercadoria a Granel

Inox – Aço Inoxidável

N – Velocidade de Agitação (rps)

NAFTA - Acordo entre Estados Unidos, México e Canadá

PDCA - Plan, Do, Check, Act

PVC - Policloreto de Vinila

Re – Número de Reynolds

T - diâmetro interno do tanque (m)

V – Volume do Reator (m^3)

w - largura da pá (m)

Z - nível interno do fluido. (m)

ρ – Massa Volúmica (kg/m^3)

μ – Viscosidade do Fluido (Pa.s)

v_0 – Caudal de Entrada no Reator (m^3/s)

τ – Tempo de Residência (s)

1. Introdução

1.1. Tema e Objetivos

A dissertação desenvolvida foi realizada em ambiente empresarial na RNM - Produtos Químicos, SA. No âmbito do estudo do tema proposto pela empresa, a dissertação ocorreu entre novembro de 2019 e outubro 2020.

Inicialmente o trabalho consistiu na recolha das matérias-primas dos vários produtos seguida de análise dos dados e implementação de estratégias de forma a rentabilizar o tempo de ocupação do reator.

Num segundo momento particularizou-se a análise a testes de produção de um detergente específico (doravante chamado Detergente Teste), analisando:

- Tempos de entrada de produto no reator
- Temperaturas atingidas
- Tempo e velocidade de agitação

1.2. Apresentação da Empresa

A empresa surgiu em outubro de 1986, com a designação de “DROVILUSA”, com sede na Rua da Fábrica, Carreira, Famalicão. Nesta fase, a empresa era constituída por uma sociedade comercial por quotas, estando dividida em quotas iguais pelos seus sócios. Os detentores da empresa eram então: as Drogas Vigo, SL; e Rosa Cardoso Cunha Pereira Machado, Ricardo Jorge Pereira Machado e Nuno Filipe Pereira Machado.

Em 2006 foi criada a empresa de Transporte Químicos de modo a acompanhar o crescimento da empresa, com o objetivo de melhorar os serviços prestados.

As quotas das Drogas Vigo foram compradas em 2009, passando a pertencer aos sócios Ricardo Jorge Pereira Machado e Nuno Filipe Pereira Machado. Com esta alteração a empresa mudou a sua designação para RNM- Produtos Químicos, Lda. Em resultado desta mudança foi criado o Grupo RNM: RNM- Produtos Químicos, Lda e RNM- Transportes Químicos, Lda.

Em 2014 surge a RNM Logística, Lda, com o fim de ampliar as suas valências ao nível da armazenagem e importação/exportação dos seus produtos e matérias-primas.

A empresa T.C.C- Tuebingen Chemical Company, SA, foi adquirida em 2015 pelo Grupo RNM. Com esta aquisição o Grupo alargou a resposta a nível da distribuição de produtos químicos de especialidade, mais propriamente para a indústria têxtil.

Em 2015, a RNM- Produtos Químicos, Lda e RNM- Transporte Químicos, Lda passam a RNM- Produtos Químicos, S.A e RNM- Transporte Químicos, S.A, alterando seu estatuto jurídico.

Em 2016 foram adquiridas as empresas Quimitejo – Produtos químicos, SA e Flexaco – concentrados e aditivos Plásticos, Lda.

Em 2017 foi efetuada a fusão por incorporação da RNM – Logística, Lda na RNM – Produtos Químicos, SA.

Em 2019 foram adquiridas as empresas Inchemica – Indústria química de especialidades, S.A. e a LIMSA OLEOCHEMICALS, S.A.

Passou a pertencer mais recentemente ao Grupo RNM a empresa Rivaz Quimica, S.A. adquirida ainda em 2020.

O Grupo RNM assegura soluções integradas ao nível da produção, distribuição, logística e transporte de produtos químicos para os mais diversos setores da atividade, alcançando um espetro de opções transversais a todas as áreas industriais.

A empresa conta agora com novas instalações na Avenida das Searas, Landim, Vila Nova de Famalicão, com depósitos para armazenamento de produto a granel de todos os produtos mais utilizados, um armazém automático para material embalado e pronto a expedir, aumentando assim a capacidade de armazenamento e um espaço produtivo com um maior numero de reatores, permitindo desta forma um aumento significativo da produção.

O Grupo RNM é certificado pelas normas ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001.

1.3. Organização do Relatório

No capítulo 1 é feita uma pequena introdução onde é apresentado o tema proposto pela empresa, e é dada uma breve explicação do que foi efetuado ao longo do trabalho. São também apresentados os locais e um pouco da história da empresa e quais os mercados em que atuam.

No capítulo 2 é apresentado o estado da arte que apresenta brevemente indústria química, mais em particular a indústria da detergência. Aborda também temas como tanques agitados e os possíveis agitadores, acabando com temas como o *Lean Thinking* e o ciclo PDCA.

O capítulo 3 descreve o processo produtivo da empresa e apresenta potenciais melhorias.

O capítulo 4 aborda a produção do Detergente Teste, com os problemas e melhoramentos feitos. Termina com propostas de melhoria relativamente ao agitador e ao reator.

2. Estado da Arte

2.1. Indústria Química

A Indústria Química desenvolveu-se grandemente durante o século XX, no entanto, já em meados do século XIX verifica-se uma evolução significativa resultante dos progressos na investigação. Com o fim da 1ª Revolução Industrial e com o desenvolvimento da Indústria do Aço surgem os equipamentos complexos que a Indústria Química necessita e é também nesta fase que se obtém o capital necessário para os elevados investimentos inerentes [1].

Atualmente, esta indústria é um subsetor muito significativo no setor das Indústrias dos Processos.

A Indústria Química é responsável por um grande número de produtos prioritários para o bem-estar da população mundial, quer na sua utilização direta, quer na sua incorporação noutras atividades produtivas:

- Inorgânicos de base;

Em Portugal durante os últimos anos tem-se verificado a diminuição do número de unidades de produção de produtos inorgânicos de base, como ácido sulfúrico, ácido fosfórico e amoníaco [1].

- Petroquímicos;

O complexo de Sines iniciou a indústria petroquímica em Portugal há cerca 40 anos.

O complexo inclui hoje, para além da fábrica de etileno, unidades de produção de propileno, butadieno, ETBE (Éter etil-terc-butílico) e negro de fumo [2].

- Polímeros;

Em Portugal destaca-se a produção de polietileno de baixa e alta densidade no complexo de Sines, produção de PVC (policloreto de vinila) em Estarreja e produção de fibra acrílica no Lavradio [1].

- Especialidades Químicas;

Podemos incluir neste campo a indústria de formaldeído e resinas, produtos que têm a sua produção em Portugal muito reduzida [1].

- Químicos de consumo:

Pertencem a este grupo, produtos que estão ligados a empresas com produções tais como tintas, vernizes, detergentes, sabões, perfumes, etc.

Em 2010 a União Europeia foi a segunda área regional com mais vendas registadas na indústria química, sendo ultrapassada apenas pela China, como se pode verificar pela figura 1 [1].

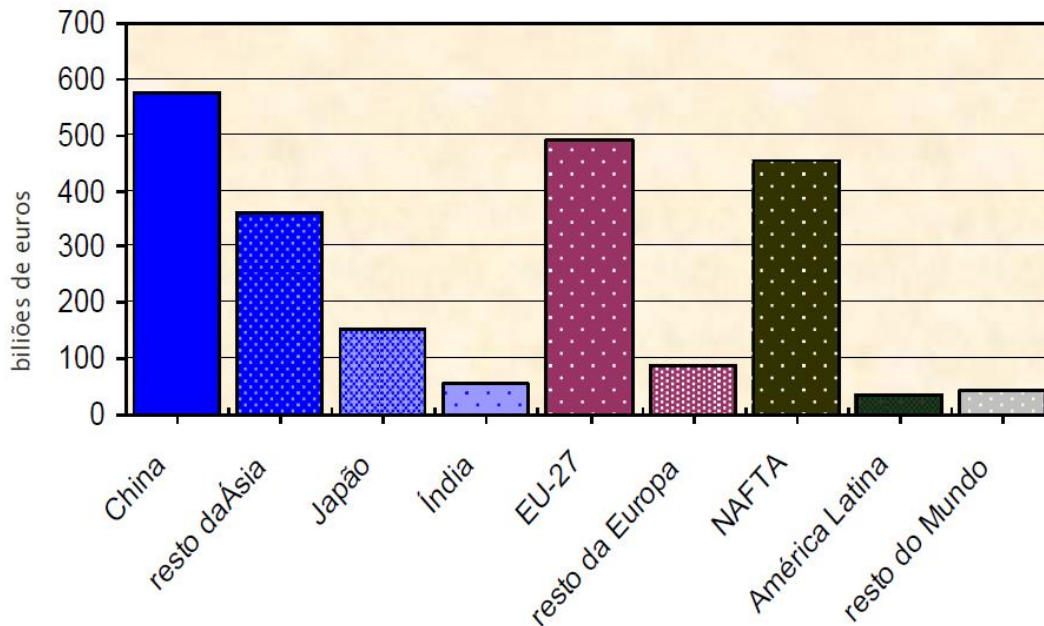


Figura 1. Volume de vendas da Indústria Química por áreas regionais (2010).

2.1.1. Detergência

Em 1980 surgiu o primeiro detergente sintético quando um químico alemão se apercebeu que pequenas moléculas ligadas ao álcool desempenhava a mesma função que o sabão. No entanto, apenas em 1916 com a supressão de gorduras animais, consequência da Primeira Guerra Mundial é que formulou o primeiro produto sintético capaz de substituir o sabão. Apenas em 1950 é que estes produtos sintéticos foram produzidos em larga escala, através de derivados de petróleo, substituindo as origens da gordura animal e vegetal que eram usadas até então na produção de sabão [3].

Estes produtos, os sabões e os detergentes, fazem parte do mesmo grupo de substâncias químicas, os tensoativos. Estes têm como principais características reduzirem a tensão superficial e a formação de espuma quando as soluções são agitadas. No entanto, a formação de espuma não é sinónimo de limpeza.

As principais matérias primas na produção de detergentes são: a água, os tensoativos e emulsionantes, ácido, base, corantes e essências.

- **Água**

A água é usada como a dissolução das restantes matérias primas. Na tabela 1 são apresentadas algumas das características desta matéria prima.

Tabela 1. Propriedades da água.

Estado físico	Líquido
Estrutura química	H_2O
Massa molecular	18 g / mol
Massa específica	1,0 g / cm ³
Viscosidade (20°C)	1,002 cP
Solubilidade em água	-

- **Tensioativos**

Esta matéria prima é a que confere a remoção da sujidade, o que é o mais desejado num detergente. Tal característica é possível devido à sua estrutura que contém uma parte hidrofílica e outra parte hidrofóbica. Isto faz com haja uma redução da tensão superficial da água, fazendo com que a sujidade possa ser retirada através de micelas. As micelas são gotículas onde fica aprisionada a gordura, porque a parte apolar fica em contacto com a gordura e a parte polar fica em contacto com a água, tal como se pode ver pela figura 2.



Figura 2. Representação de uma micela.

Esta matéria prima pode-se ainda dividir em quatro tipos. Os tensoativos aniónicos, onde se inclui os detergentes e sabões, os tensoativos catiónicos, os tensoativos não-aniónicos e os tensoativos anfóteros.

- Tensoativos Aniónicos

Este tipo de tensoativo quando dissolvido em água dissocia-se formando um ião negativo. Este ião negativo encontra-se na zona polar da molécula, que por norma contém átomos de oxigênio que atraem elétrons de carbonos e hidrogénios vizinhos. Consequentemente, a polaridade negativa aumenta. Isto significa que este tipo de tensoativos são muito solúveis em água, pela sua polaridade [4].

Os principais tensoativos aniónicos são o Lauril Dodecil Benzeno Sulfonato de Sódio ou Ácido Sulfónico, o Lauril Éter Sulfato de Sódio e o Lauril Sarcosinato de Sódio [5].

- Tensoativos Catiónicos

Este tipo de tensoativos, ao contrário dos tensoativos aniónicos, apresentam uma carga positiva na região polar da molécula.

O tensoativo catiónico tem como desvantagem existir em menor disponibilidade no mercado quando comparado com os tensoativos aniónicos. Outra desvantagem também, geralmente, estes dois tipos de tensoativos não são compatíveis.

Os tensioativos catiónicos mais comuns são Aminas Oxidas.

- Tensioativos Não-Iónicos

A designação de tensioativos não-iónicos surge do facto de este tipo de tensioativos não gerarem cargas, uma vez que não surgem da dissociação de sais como os dois mencionados anteriormente. Tem como vantagem de ser compatíveis com os outros tipos de tensioativos.

Alguns dos tensioativos catiónicos mais comuns encontram-se os Alquil Poliglicosídeos, os Nonilfenóis Etoxilados, o Álcool Gordo Etoxilado e a Dietanolamida de Ácido Gordo de Coco.

- Tensioativos Anfóteros

Os tensioativos anfóteros podem ser aniónicos ou catiónicos, conforme a solução em que estão inseridos. Isto significa que contém uma carga positiva e outra negativa, na mesma molécula. Na presença de uma base comportam-se aniónicos, já na presença de um ácido comportam-se como catiónicos. Por esta característica, estes tensioativos são compatíveis com os tensioativos aniónicos e catiónicos.

Tem como desvantagem ser um produto com um elevado custo.

2.2. Tanques agitados

Os reatores estão, normalmente, divididos em fechados, ou do tipo *batch*, e contínuos. A RNM – Produtos Químicos, S.A está equipada com reatores fechados com agitação. Nesta secção explica-se então o modo de funcionamento típico dos reatores fechados e dos tipos de agitadores.

2.2.1. Reatores Fechados

Este tipo de reatores consiste num tanque fechado que é cheio através de orifícios existentes no topo. É muito utilizado em operações a nível laboratorial e à escala piloto para testes de novos processos e na fabricação de produtos de difícil obtenção em operações contínuas (em pequena ou larga escala). Neste caso, deixa-se o reagente durante um longo período até se obter a conversão desejada. Por outro lado,

possui algumas desvantagens como os altos custos de operação, a variabilidade dos produtos de operação para operação e também a dificuldade de produção em larga escala, comparativamente á produção em contínuo [6].

Em termos de operação, os reatores fechados são normalmente utilizados isotermicamente a volume constante (diga-se, volume da mistura reacional e não do reator) para facilitar a interpretação de resultados. Apesar de serem tanques de constituição simples, por vezes necessitam de equipamento auxiliar como, por exemplo, camisas de aquecimento e de instrumentação de controlo [7].

Uma vez que a mistura reacional é carregada para o reator, agitada e deixada a reagir durante algum tempo, trata-se de uma operação em estado não estacionário pois a composição varia ao longo do tempo. No entanto, em qualquer ponto do reator, considera-se que a composição é uniforme num dado instante pois pressupõe-se agitação perfeita [4].

Para se dimensionar um reator normalmente utiliza-se uma equação de projeto que contemple alguns termos como as entradas e saídas no reator, a acumulação de moles ao longo do tempo e as velocidades de desaparecimento de reagentes ou de formação de produtos. Visto que não existem dados sobre a velocidade de reação para formação do Detergente Teste na literatura, um reator fechado pode ser dimensionado através da equação do tempo de residência.

O tempo de carga é resultado da divisão entre o volume do reator e o a caudal volumétrico de entrada dentro do reator, tal como se pode ver na equação 1.

$$\tau = \frac{V}{v_0} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

τ – Tempo de Carga (s)

V – Volume do Reator (m³)

v_0 – Caudal de Entrada no Reator (m³/s)

2.2.2. Aagitadores

Quase todas as operações nas indústrias químicas, envolvem a agitação do produto de forma a promover a mistura de líquidos, formação de dispersões, transferência de calor e uniformização de temperatura [8].

A agitação é uma operação de movimentação de matérias-primas em tanques - também chamados misturadores ou tanques agitados - que têm como função aumentar as taxas de transferência de massa e/ou de calor e diminuir os tempos de reação [8].

Quando se trata da agitação de fluidos viscosos, como é o caso da indústria de produtos de higiene pessoal, este processo é determinante. Como a maioria das vezes, a viscosidade dos produtos deste tipo de indústria influencia o tempo e o gradiente de velocidade da agitação, então o fluxo é, inevitavelmente, laminar [9].

O fluxo laminar caracteriza-se por advir de velocidades baixas, ou seja, as várias camadas do fluido fazem-se atravessar entre si sem a formação de redemoinhos. Isto significa que apenas existem correntes paralelas ao fluxo do fluido, que resultam da difusão das moléculas, sendo o caudal fixo [10].

Em oposto existe ainda o regime turbulento que acontece quando há velocidades elevadas. Neste regime há formação de correntes de circulação, que formam redemoinhos. Isto origina uma transferência de fluido a uma escala maior. Consequentemente, há flutuações cíclicas do caudal, contudo, o caudal médio mantém-se constante.

Na figura 3 está representado a experiência de Reynolds em que foi verificada a existência dos diferentes tipos de regimes.

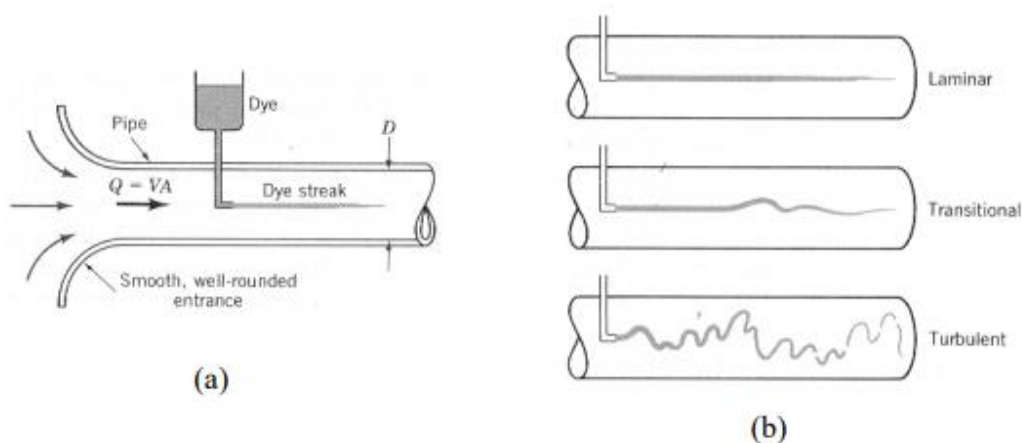


Figura 3. Experiência de Reynolds com os diferentes tipos de regime.

Na indústria existem vários tipos de sistemas mecânicos que agregam soluções de engenharia adequadas à mistura de fluidos:

- Misturador de linha

Utilizado num vasto número de processos da indústria, como por exemplo ajustar a viscosidade de óleos pesados com óleos leves e a adição de aditivos na produção de poliésteres.

- Agitador mecânico pneumático (acionamento por ar comprimido)

Não há risco de explosão pelo funcionamento a ar comprimido. Utilizado para produtos inflamáveis.

- Agitador convencional rotativo ou agitador convencional de tanques agitados

São os mais utilizados. Eficazes numa grande faixa de viscosidades [8].

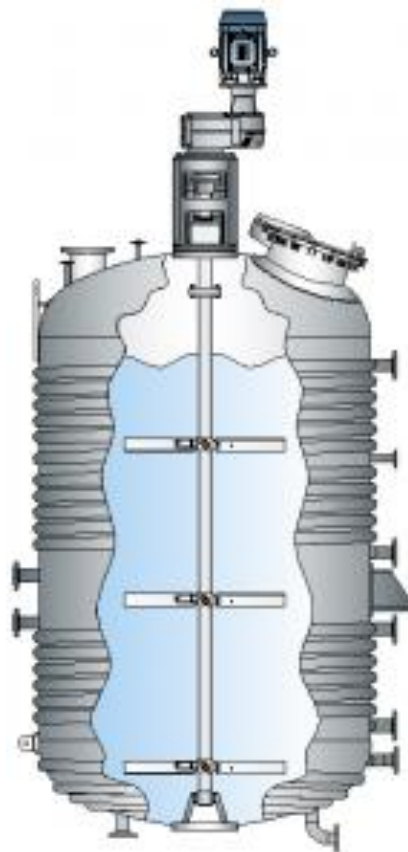


Figura 4. Tanque agitado

Para selecionar e dimensionar o tipo de agitador, pode recorrer-se a vários tipos de equações descritas na literatura. A viscosidade da mistura reacional é dos

parâmetros mais importantes para selecionar o tipo de agitador a utilizar. Aliado a este parâmetro, o regime de escoamento da mistura no interior do reator é também muito importante para a escolha do melhor tipo de agitador.

Para fluidos viscosos são normalmente utilizados agitadores de proximidade como os de âncora ou os de fita helicoidal com diâmetro elevado. Estes tipos de agitadores são usados quando se trata da agitação de fluidos difíceis de bombear. Geralmente, são usados quando se trabalha em regime laminar, uma vez que o transporte de movimento e massa são baixos.

- **Agitadores do Tipo Âncora**

Os agitadores do tipo âncora estão direcionados para produtos com viscosidade compreendida entre os 50 Pa.s até aos 500 Pa.s, No entanto podem também ser utilizados para produtos menos viscosos e cuja mistura reacional necessite de um regime de escoamento na zona laminar.

Normalmente funcionam com recurso a raspadores e provocam fluxo tangencial.

Quando funcionam com raspadores, a resistência convectiva interna diminui, fazendo com que a transferência de calor aumente. Isto porque os raspadores retiram o fluido que está junto às paredes exteriores, que está a uma maior temperatura e impulsiona o fluido com a temperatura menor para as paredes do tanque que é o local da transferência de calor.

A utilização de raspadores em agitadores de âncora tem a desvantagem de aumentar o consumo de energia que é consequência do atrito gerado entre o raspador e a parede do tanque. Ao mesmo tempo, essa utilização tem como vantagem o aumento da eficiência, uma vez que a agitação é mais homogênea [11].

- **Agitadores do Tipo Helicoidal**

Este tipo de agitador tem vários modelos, entre os quais, com fita simples, simples com parafuso, fita dupla ou fita quadrupla, sendo o de fita simples o mais comum.

O agitador do tipo helicoidal de fita simples, normalmente, é usado em fluidos com uma viscosidade compreendida entre os 10 e os 1000 Pa.s. Há a possibilidade de ser usado com fluxos ascendentes ou descendentes, o que permite um fluxo axial e tangencial, enquanto que o agitador do tipo de âncora apenas permite um fluxo tangencial, e por isso, este é considerado mais eficiente [9].

Para o seu dimensionamento várias correlações podem ser utilizadas, mas talvez a do número de potência seja das mais importantes. O consumo da energia por parte do agitador irá depender de parâmetros como:

1. Velocidade de agitação
2. Diâmetro do agitador
3. Formato do agitador
4. Propriedades físicas do fluido
5. Tamanho e geometria do tanque
6. Localização relativa do agitador no tanque
7. Presença ou ausência de defletores, o seu formato e localização

As relações geométricas que se podem estabelecer, tendo em conta as dimensões descritas na figura 5 podem ser:

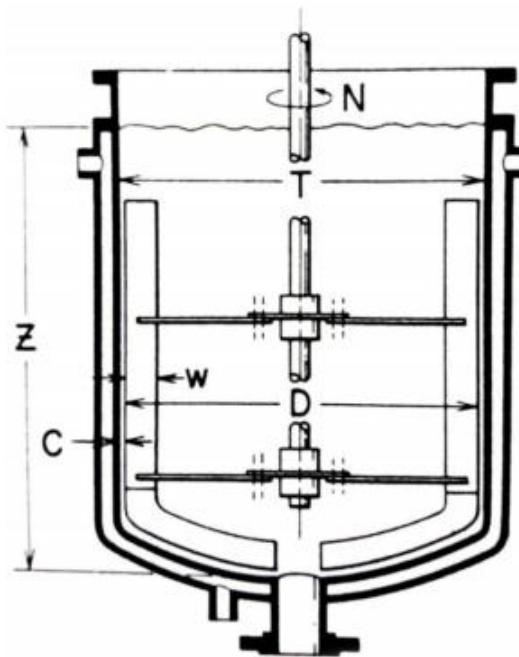


Figura 5. Representação de um agitador do tipo âncora.

- $w/D = 0,082$ (Valor normal de utilização) ou $w/D = [0,05 - 0,13]$ (gama normal de utilização)
- $C/D = 0,02$ (Valor normal de utilização) ou $C/D = [0,01 - 0,08]$

- $D/T = 0,96$
- $Z/T = [0,5 - 1,26]$

Sendo w a largura da pá, D o diâmetro do agitador, C a distância entre a extremidade da pá e a parede do tanque, T o diâmetro interno do tanque e Z o nível interno do fluido.

O Número de Reynolds, Re , representa então o regime de escoamento da mistura no interior do reator.

$$Re = \frac{N \cdot D^2 \rho}{\mu} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

Re – Número de Reynolds

N – Velocidade de Agitação (rps)

D – Diâmetro (m)

ρ – Massa Volúmica (kg/m^3)

μ – Viscosidade do Fluido (Pa.s)

Para valores de Número de Reynolds inferiores a 10 estamos perante um regime laminar, já para valores acima 10^4 estamos perante regime turbulento. Entre esta faixa considera-se que estamos em regime de transição. No entanto, há autores que consideram que o regime laminar pode ir até 300 [11].

Para determinar o número de potência, N_p , para diferentes tipos de agitadores são encontrados curvas na literatura, no entanto, estas curvas apenas são válidas para fluidos, *Newtonianos* e *Não Newtonianos*, para a geometria do tanque em que foram realizados os testes. Segundo a literatura há diferentes correlações estudadas tanto para o agitador do tipo âncora, como para o agitador do tipo helicoidal. Na tabela 2 é apresentado o resumo das diferentes correlações para cada tipo de agitador [11].

Tabela 2. Correlações existentes para diferentes tipos de agitadores para determinar o Número de Potência, N_p

Tipos de Agitadores	Correlação
Todos os tipos de agitadores	$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$
Âncora	$N_p = 82 \left(\frac{Nd^2 \rho}{\mu} \right)^{-0,93} \left(\frac{c}{T} \right)^{-0,25}$
Helicoidal	$N_p = 66 Re_a^{-1} \left(\frac{p}{D} \right)^{-0,73} (N_R) \left(\frac{h_h}{D} \right) \left(\frac{w}{D} \right)^{0,5} \left(\frac{c}{D} \right)^{-0,6}$
Âncora e Helicoidal	$N_p = \frac{17}{Re} \left(\frac{21 + D}{D} \right) \left(\frac{T}{c} \right)^{0,45}$
Âncora	$N_p = 8,5 \pi^3 \frac{\left(\frac{h}{D} \right) \left(\frac{w}{D} \right)}{(Re) \left(\frac{c}{T} \right)^{0,5}} n p$
Helicoidal	$N_p = \frac{150 h_h}{Re D} \sqrt{\frac{n}{\frac{p}{D} \left(\frac{c}{w} \right)^{0,67}}}$

2.3. Lean thinking

O Lean Thinking é um tratamento consecutivo de dados que auxilia na identificação e, posterior, eliminação de problemas nos processos da indústria, tendo como principal objetivo integrar a qualidade com a satisfação do cliente [12].

Este tipo de abordagem surgiu na Toyota, no seu sistema de produção de automóveis, criado por Taiichi Ohno [12].

Após o surgimento desta filosofia várias empresas, nos mais diversos tipos de negócio, têm aplicado os seus princípios e apesar das suas ressalvas quanto ao seu sucesso, estas mostram que têm organizações mais competitivas e lucrativas [12].

Para a implementação desta filosofia no sistema produtivo, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, identificaram os sete tipos de falhas existentes na produção [13]:

- **Excesso de Produção**

Quando há produção para stock surge um consumo desnecessário de recursos de materiais

Esperas

Muitas vezes há tempos em que pessoas ou equipamentos estão parados à espera de tomadas de decisão

- **Transporte e Movimentações**

A movimentação dos produtos não acrescenta valor ao processo. Por isso, este tipo de tarefas deve ser minimizado, ou seja, os movimentos dos materiais devem ser encurtados.

Desperdício de Próprio Processo

Operações executadas durante o processo e que não são essenciais ao mesmo.

- **Stocks**

Material armazenado e que apresenta um custo acrescido à empresa, sendo, por isso, um dos maiores problemas nas empresas

- **Defeitos**

Quando ocorre um defeito, este necessita de ser corrigido, o que leva a um custo acrescido e aumento ao trabalho

- **Trabalho Desnecessário**

Ações que são desnecessárias para a finalização das tarefas

Para se poder aplicar os princípios-chave de valor, desperdício e fluxo num processo produtivo, é necessária uma abordagem estruturada racional de dados. Para isso, devem seguir-se os seguintes passos [14]:

- **Recolher dados**

Recolher informação sobre o processo atual. Procurar por desperdícios.

- **Analisar dados**

Analisar dados recolhidos e procurar por deficiências no processo em vigência

- **Pensar a mudança**

Identificar efeitos indesejáveis e determinar a sua causa raiz para encontrar o problema real.

- **Planear mudança**

Resolver os problemas do processo e redesenhar novo processo.

- **Concretizar mudança**

Testar e demonstrar que o valor está a fluir para o cliente do processo.

2.4. Ciclo PDCA

O ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act) surgiu com vista a atuar em processos de modo a obter uma melhoria contínua dos mesmos. Este ciclo foi utilizado pela primeira vez no Japão por W. Edwards Deming, no entanto, a sua origem é dos anos 30 utilizado por Walter Shewhart [13].

O ciclo PDCA é usado para resolução de problemas e a sua prevenção, de modo a ajudar nas tomadas de decisão dentro das empresas. Este método auxilia a atingir as metas desejadas. Para isso é necessário que haja uma recolha de dados, informações e que haja conhecimento acerca do processo e problemas [15].

Apesar deste ciclo funcionar conforme as metas a atingir, de modo a ajudar a entender melhor a sua estrutura dividiu-se essas metas em dois tipos [15]:

- **Metas para Manter:**

Estas são conhecidas como metas padrão, pois são especificadas pelo cliente interno ou externo conforme uma determinada norma ou limite de variação.

- **Metas para Melhorar:**

Já estes tipos de metas são de melhoria contínua, ou seja, é quando determinada especificação do cliente ainda não foi atingida e de modo a satisfazer o cliente é necessário melhorar a qualidade dos produtos continuamente.

Geralmente, se existem metas que precisam de ser melhoradas é porque há algum problema que necessita de ser resolvido.

O Ciclo PDCA está dividido em quatro etapas, sendo elas: planejar, fazer, verificar e agir. Na figura 2 está representado o ciclo PDCA [16].

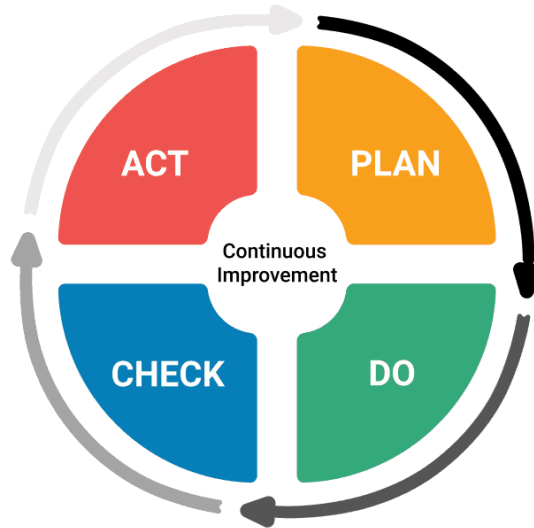


Figura 6. Ciclo PDCA [8]

✓ Plan (Planear):

Nesta etapa é definido o problema, tendo de ser detetadas todas as causas que possam estar na origem desse mesmo problema. Nesta fase são também definidas ações que possam auxiliar a resolvê-lo.

✓ Do (Fazer):

Neste período são implementadas as ações definidas antes. Além disso, são registados dados que estão de acordo com as ações implementadas.

✓ Check (Verificar):

Os dados que foram obtidos são então comparados com o que seria esperado. Neste ponto reflete-se ainda sobre quais os aspetos positivos e tenta-se entender as causas que podem estar na raiz dos problemas.

✓ Act (Agir):

Por fim, no caso de os resultados obtidos estarem de acordo com o pretendido, então elabora-se um procedimento que deverá ser mantido e auditado. Se não, devem-se definir novas medidas e reiniciar o ciclo. Nesta fase, podem ainda ser estabelecidas novas metas, de maneira a que haja uma melhoria contínua do processo [13].

3. Processo Produtivo

O presente capítulo irá descrever o estado inicial do processo, bem como, uma descrição do mesmo e possíveis pontos de melhoria.

3.1. Descrição do Processo

A matéria-prima pode ser recebida de duas formas, a granel ou em embalagens, havendo controlo da mesma aquando da sua receção. Quando as matérias-primas são recebidas em embalagens são colocadas no armazém. As matérias-primas a granel são enviadas para depósitos onde permanecem armazenadas. No entanto quando não existe nenhum depósito dedicado à matéria-prima a granel em questão então procede-se à sua colocação em IBC até à sua utilização.

As matérias-primas que são armazenadas em depósitos, podem ser usadas nas mesmas condições em que são recebidas ou podem ainda ser diluídas ainda antes da sua utilização.

A produção de novos produtos é realizada através da mistura de matérias-primas em embalagem, dos depósitos ou ainda dos dois tipos em simultâneo. Após a sua produção estes produtos são devidamente armazenados e colocados em armazém.

A expedição ocorre tanto de produtos que estão em depósitos a granel, bem como de produtos em embalagens, dependendo das necessidades dos clientes.

O fluxograma do processo produtivo da RNM-Produtos Químicos, SA, encontra-se na figura 7.

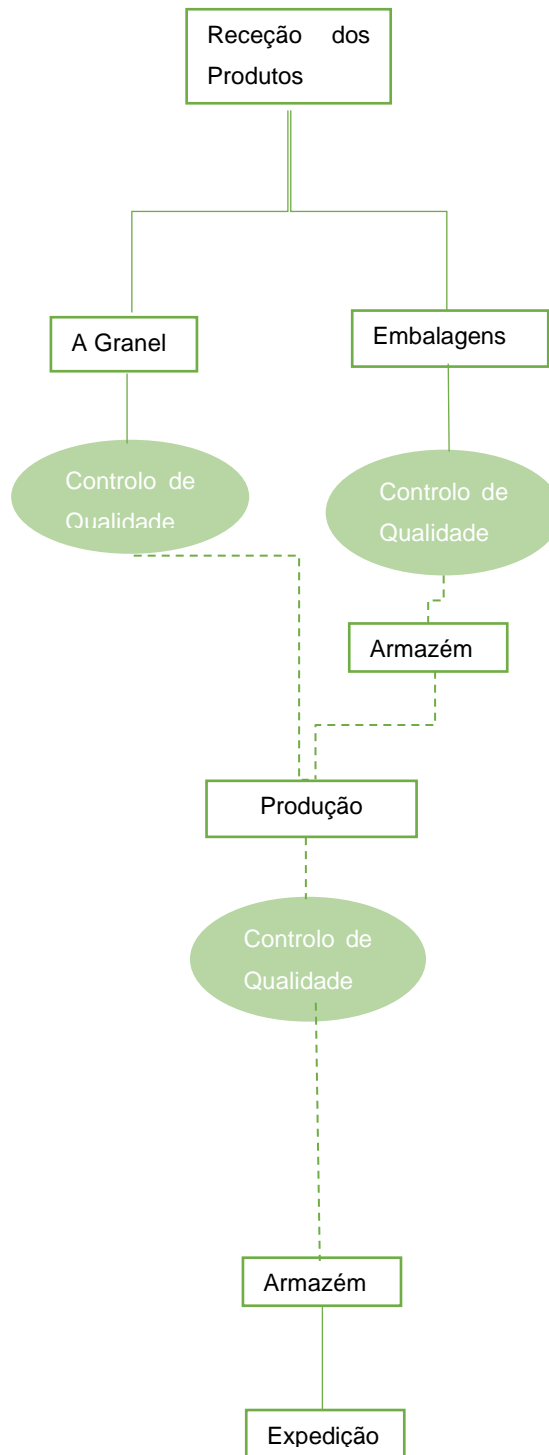


Figura 7. Fluxograma do processo produtivo da RNM – Produtos Químicos, S.A

Na figura 8 é apresentado o *layout* do processo com a identificação dos diferentes armazéns, bem como o local dos depósitos, reatores e respetiva tubagem de ligação entre estes.

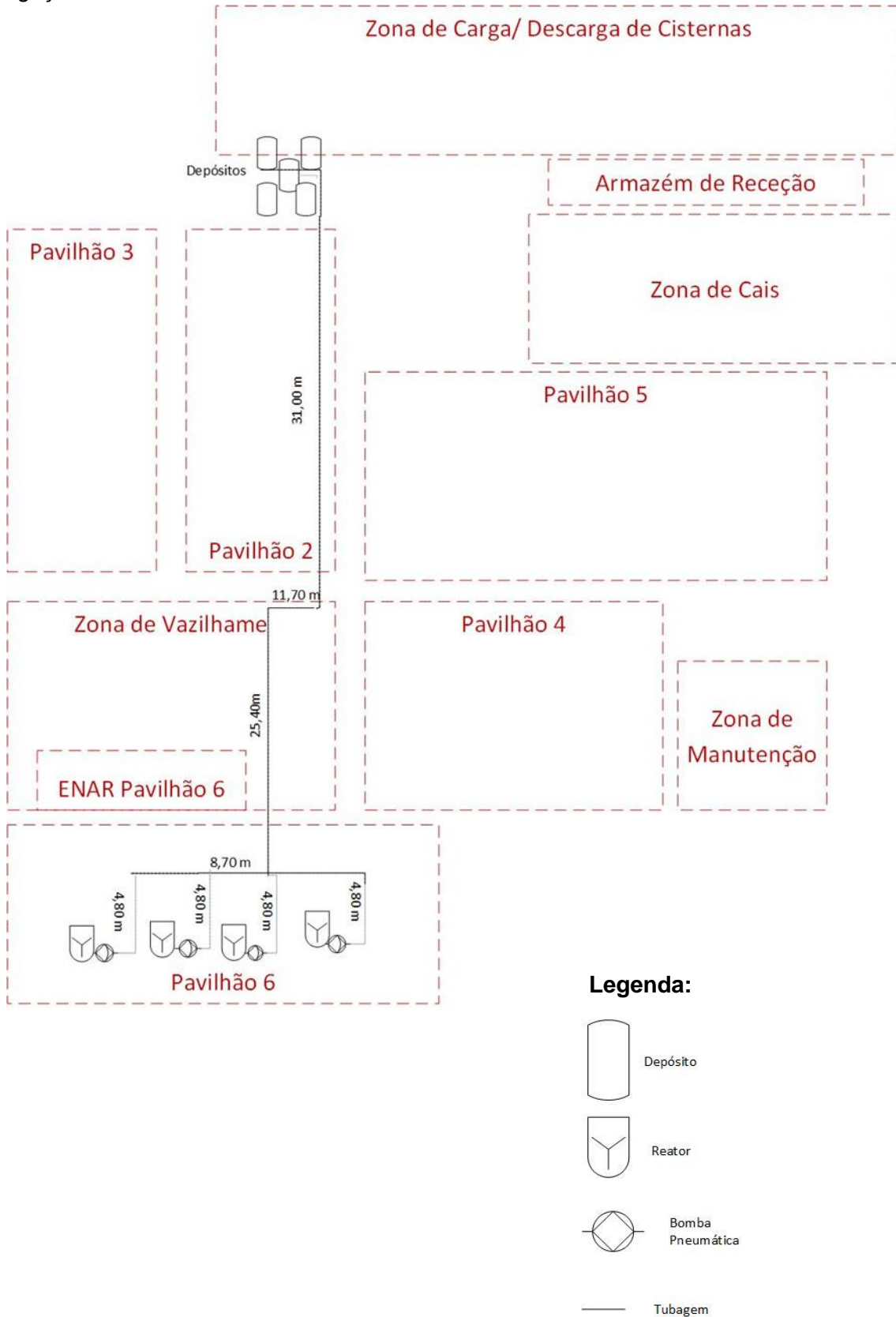


Figura 8. Layout do processo na RNM- Produtos Químicos, S.A, na Carreira.

3.2. Pontos de Melhoria

3.2.1. Armazenagem de Matérias-Primas

As matérias-primas recebidas em embalagens, após o controlo de qualidade, são colocadas no armazém de receção.

No entanto, como a maioria deste tipo de matérias-primas ainda é utilizado na produção de novos produtos faz com que tenha de haver o transporte com empilhadores desde o armazém de receção até ao local onde se encontram os reatores (Pavilhão 6). Isto implica consumo energético por parte do empilhador e consumo de tempo por parte do colaborador que manobra este mesmo empilhador.

Por isso, como proposta de melhoria seria passível alterar o local de armazenagem das matérias-primas para um local mais próximo dos reatores (Pavilhão 7), de modo a diminuir o tempo despendido pelo colaborador que manobra o empilhador. Haveria também uma diminuição do consumo energético, uma vez que estaríamos a diminuir o caminho entre a matéria-prima e o local de produção.

Já as matérias-primas que são recebidas a granel são colocadas em depósitos. Estas são usadas na produção conforme são recebidas, ou diluídas. No entanto, para a sua utilização é necessário bombeá-las desde os depósitos, que se encontram no cais de carga/descarga, até aos reatores, que estão no pavilhão 6.

Neste caso, a proposta seria modificar o *layout* da empresa de modo a encurtar a distância entre os depósitos e os reatores, e também, a diminuir o consumo energético que é feito pelas bombas.

Nenhuma das situações foi testada nas instalações da RNM na Carreira.

Na construção das novas instalações em Landim a proximidade entre os depósitos e os reatores e a localização das restantes matérias-primas é maior tal como se pode ver pela figura 9 onde está representado o *layout* das novas instalações.

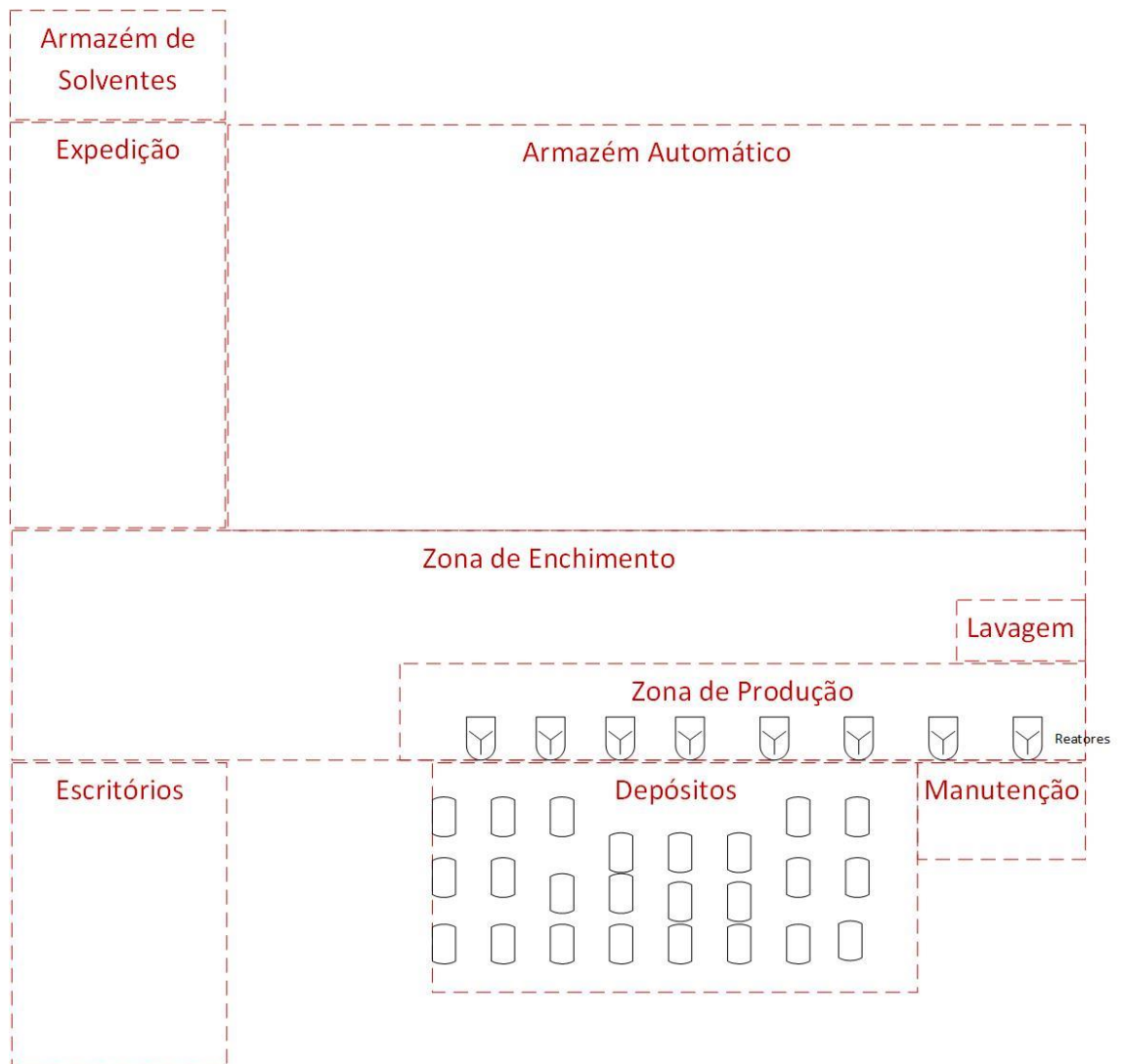


Figura 9. Layout do processo na RNM- Produtos Químicos, S.A, em Landim.

Uma melhoria que também foi feita nas novas instalações foi o aumento do número de depósitos de modo a colmatar o tempo despendido bem como os IBC utilizados nas matérias-primas que eram recebidas a granel e que não tinham nenhum depósito dedicado.

3.2.2. Planeamento de Produção

O planeamento é feito tendo em conta as encomendas em carteira às quais urge dar resposta e o cumprimento dos stocks mínimos definidos.

No planeamento tem de se ter em conta o tempo de preparação da produção, a produção em si mesma, o tempo de enchimento das embalagens e por fim a lavagem do reator.

No caso de produções sucessiva de produtos de igual base a lavagem do reator entre as produções pode ser suprimida com evidentes ganhos de tempo.

As vantagens estendem-se à diminuição do gasto de água usada na lavagem.

Foi feito um estudo às produções que são produzidas com mais frequência de forma a organizar um esquema de produção que permita encadear produções cujas matérias-primas são coincidentes, com variações nas concentrações, ou então com base igual.

Na tabela 3 estão representadas as composições dos produtos analisados.

Tabela 3. Composição dos produtos analisados num reator da RNM - Produtos químicos, S.A.

Produto	Operação	Composição (%)
Produto A	Matéria-prima W	22,5
	Matéria-prima V	57,5
	Matéria-prima H	9
	Matéria-prima J	11
Produto B	Matéria-prima W	34,3
	Matéria-prima I	0,7
	Matéria-prima N	65,0
Produto C	Matéria-prima W	57,1
	Matéria-prima A	10,0
	Matéria-prima C	19,4
	Matéria-prima D	13,5
Produto D	Matéria-prima W	42,8
	Matéria-prima E	0,3
	Matéria-prima A2	5,7
	Matéria-prima C	51,2

Produto E	Matéria-prima W	20,8
	Matéria-prima V	72,0
	Matéria-prima B	2,0
	Matéria-prima F	1,0
	Matéria-prima G	1,4
	Matéria-prima L	1,6
	Matéria-prima P	1,2
Produto F	Matéria-prima W	23,2
	Matéria-prima V	72,0
	Produto H	4,8
Produto G	Matéria-prima W	34,2
	Matéria-prima V	38,0
	Matéria-prima M	23,0
	Produto H	4,8
Produto H	Matéria-prima W	34,5
	Matéria-prima B	8,3
	Matéria-prima F	16,7
	Matéria-prima G	5,8
	Matéria-prima L	6,7
	Matéria-prima P	5,0
	Matéria-prima O	4,2
	Matéria-prima U	8,8
	Matéria-prima Q	5,0
	Matéria-prima R	5,0
Produto I	Matéria-prima W	43,1
	Matéria-prima P	0,0
	Matéria-prima V	10,0
	Matéria-prima F	1,9
	Matéria-prima N	34,0
	Matéria-prima S	1,0
	Matéria-prima T	10,0
Produto L	Matéria-prima W	48,5
	Matéria-prima P	0,5
	Matéria-prima V	17
	Matéria-prima H	3
	Matéria-prima N	31
Produto M	Matéria-prima W	39,19
	Matéria-prima P	0,01
	Matéria-prima V	18,0
	Matéria-prima F	2,4
	Matéria-prima N	40,4

Pela análise da tabela conseguimos verificar que parte dos produtos produzidos têm como base a matéria-prima V, sendo eles o Produto A, Produto E, Produto F e Produto G.

O Produto H serve de matéria-prima para a produção do Produto F e do Produto G, e o Produto G apenas apresenta uma matéria-prima a mais que o Produto F, sendo ela a matéria-prima M. Após esta análise consegue-se um seguimento de produções que evitam lavagens entre mudança de produtos, sendo ela a produção do Produto H, seguindo-se o Produto F e o Produto G. A este seguimento de produções, porque tem de base a mesma matéria-prima, pode acrescentar-se a produção do Produto A ainda que exija lavagem do reator porque as restantes matérias-primas diferem.

É possível ainda outra combinação de produções se se analisar a matéria prima N, que está presente na produção do Produto B, Produto I, Produto L e Produto M, sendo que é necessário lavagem entre produtos mas há menor risco de contaminação já que o produto base entre eles é o mesmo.

4. Produção Detergente Teste

Uma das áreas de negócio da RNM é a detergência. Nesta área surgiu o desafio de se desenvolver um detergente concentrado, com a particularidade de ser um produto bastante viscoso e diferente de todos os outros produzidos até à atualidade na empresa. Estudaram-se as possibilidades de formulação e mais aprofundadamente a otimização condições necessárias para o produzir.

A produção do Detergente Teste consiste numa mistura homogénea de várias matérias-primas comuns na detergência: água desmineralizada, soda cáustica, Tensioativo aniónico 1, Tensioativo aniónico 2 e Tensioativo não iónico.

- Soda Cáustica

A soda cáustica ou hidróxido de sódio é uma base forte utilizada em várias indústrias como a do papel e detergência. Tem como principal objetivo na produção do Detergente Teste, a neutralização do pH do produto final.

- Tensioativo aniónico 1

Amplamente utilizado na formulação de detergentes, o produto é um tensoativo aniónico que atua para gerar espumas. Provoca alguma irritabilidade à pele, uma vez que o mesmo tende a remover, inclusive a oleosidade natural da pele.

- Tensioativo aniónico 2

O Tensioativo aniónico 2 é um tensoativo aniónico cuja estrutura confere alta solubilidade, poder de detergência e espumante sendo desta forma utilizado como principal detergente em formulações de shampoo, sabonetes líquidos, banhos de espuma e cremes dentais, além de possuir um baixo custo.

- Tensioativo não iónico

É utilizado como espessante e espumante e apresenta uma função de estabilizante de espuma (torna a espuma mais estável, mais densa e com grande

número de bolhas pequenas), sobre-engordurante e solubilizante de essências na formulação. O produto provoca um ligeiro sobre-engorduramento evitando a sensação da pele ressequida, provocado por outros tensoativos [9].

4.1. Instalação produtiva

Para este novo projeto foi definido que se iriam utilizar os meios disponíveis pela empresa, evitando a aquisição de novo material.

Na figura 10 seguinte está representado um esquema da instalação utilizada no fabrico do Detergente Teste.

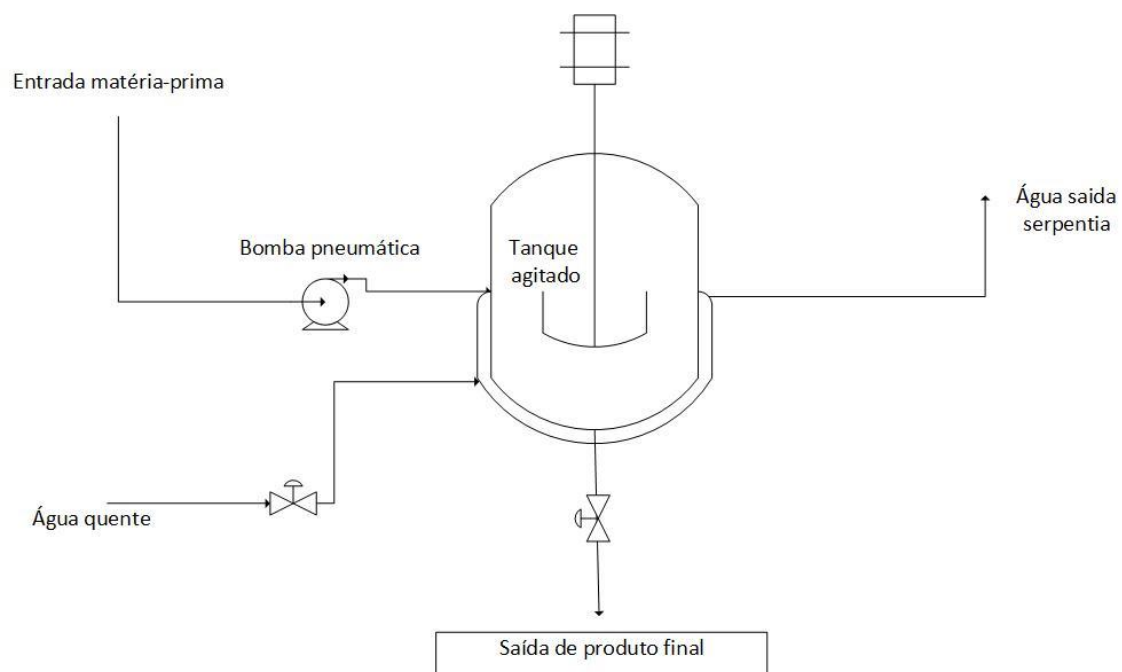


Figura 10. Instalação utilizada para produção de Detergente Teste

Nos testes utilizou-se um reator fechado em aço inox com diâmetro interno e altura de 1,5 metros e 2 metros, respetivamente, o que perfaz um volume de 3m^3 . Este reator está ainda equipado com um agitador de turbina com pás inclinadas, com um motor Eberhard Bauer D-7300 Esslingen com a potência máxima de 5,5 kW, e também com uma serpentina no exterior do mesmo.

Para a colocação do produto no reator foi utilizada uma bomba de deslocamento positivo pneumática de duplo diafragma com membranas em PTFE de 2'' e caudal nominal de 25m³/h.

O reator está colocado ligeiramente acima do chão de modo a que seja possível a remoção do produto, para embalagem, utilizando apenas a gravidade, sem requerer equipamentos adicionais.

4.2. Formulação Detergente Teste

A formulação do Detergente Teste é apresentada na tabela 4:

Tabela 4. Formulação Detergente Teste

Componente	Percentagem (%)
Água desmineralizada	40
Soda Cáustica 50% (m/m)	1 - < 5
Tensioativo aniónico 1	30 - < 45
Tensioativo aniónico 2	10 - < 30
Tensioativo não iónico	1 - < 5

A primeira produção à escala industrial foi efetuada seguindo o procedimento abaixo apresentado:

- 1) Adicionar água desmineralizada.
- 2) Adicionar a soda cáustica líquida 50% (numa primeira fase colocar-se-á 95% da soda 50% teórica)
- 3) Adicionar o Tensioativo aniónico 1
- 4) Quando a temperatura for inferior a 50°C adicionar Tensioativo aniónico 2
- 5) Adicionar o Tensioativo não aniónico
- 6) Colocar a recircular a caudal de 12,5m³/h
- 7) Quando homogéneo tirar amostra e mediar o pH. Se necessário acertar o pH (com soda 50% porque estará com pH ácido. A cada kg adicionado agitar e tirar amostra)

4.2.1. Condições iniciais

Inicialmente foi feita uma simulação da mistura à escala laboratorial. Nesta escala não foram obtidos problemas de produção, obtendo-se um produto viscoso, mas homogéneo na sua totalidade.

Na primeira produção efetuada á escala industrial a água e a soda cáustica foram colocadas no reator através do programa que gerencia a automação de depósitos e os restantes, armazenados em IBC, colocados no tanque com o auxílio de uma bomba pneumática.

Foram detetados vários problemas desde a colocação do produto no reator até à remoção do produto finalizado do tanque:

- A viscosidade do Tensioativo aniónico 1 é alta (2000 cP a 20°C), passando pela bomba pneumática incorpora ar, aumentando o volume do produto no reator.
- O mesmo problema do Tensioativo aniónico 1 acontece com Tensioativo aniónico 2.
- O Tensioativo aniónico 2 depois de colocado no reator fica á superfície da mistura água desmineralizada, soda caustica 50%, Tensioativo aniónico 1, por apresentar uma densidade mais baixa
- À temperatura ambiente o produto fica consideravelmente mais viscoso, sendo muito difícil a sua homogeneização com os equipamentos disponíveis.
- O acerto de pH tornou-se muito difícil pela dificuldade de homogeneização da solução dentro do reator, tornando o processo muito demorado.
- Devido ao tempo elevado da produção (quase 24h) o produto incorporou ar aumentando o volume, dificultando a tiragem do mesmo para os IBC com o peso definido.

A figura 11 mostra a produção de Detergente teste em duas fases com o Tensioativo aniónico 2 á superfície.



Figura 11. Tensioativo aniónico 2 á superfície da mistura

Estes problemas não foram obtidos em laboratório uma vez que não existiu agitação mecânica, mas sim agitação manual. Além disso a colocação dos produtos em laboratório não foi através de uma bomba pneumática, mas através de adição manual de produto, fazendo com que não houvesse introdução de ar, não aumentando o volume da mistura. Em laboratório a mistura deu-se de forma mais eficaz e rápida, aproveitando o calor gerado pela reação da soda cáustica 50% com o Tensioativo aniónico 1. Desta forma a mistura foi feita a uma viscosidade inferior que à escala industrial.

4.2.2. Otimização do processo produtivo

Tendo em conta todos os problemas obtidos na primeira produção, foi prioritária a resolução do aumento do volume do produto. Ao retirar-se o produto para IBC verificou-se que para igual peso os IBC apresentavam volumes diferentes.

Desta forma foi intervencionado o caudal de entrada dos produtos de forma a que cada impulso a bomba coloque o menor ar possível na mistura.

O teste em que foi obtido o melhor resultado foi a um caudal volumétrico de 1,7 m³/h de Tensioativo aniónico 1, 0,3 m³/h de Tensioativo aniónico 2 e 1,8 m³/h de Tensioativo não iónico. Estas medições foram feitas visualmente após entrada do produto no reator.

Estas alterações efetuadas verificaram-se ainda assim insuficientes para a melhoria substancial do processo produtivo.

Partiu-se então para a redução da velocidade de agitação, tendo sido necessário a instalação de um redutor à velocidade mínima de agitação, passando de 50 rpm para 25 rpm, pois a velocidade mínima do agitador, pré-instalação do redutor, provocava um efeito de vortéx acumulando ar no produto e mais uma vez verificava-se um aumento do volume.

Uma vez concluída a produção tem-se a remoção do produto do reator, processo feito através da força de gravidade, sem necessidade de utilização de bomba, o que neste caso se verifica uma vantagem. O IBC é colocado de baixo do reator e faz-se a trasfega do reator para o contentor através da válvula de fundo do reator. Verificou-se que o produto estando em contacto com o ar e caindo sobre o produto já retirado incorporava ar, levando como se referiu à alteração do volume na embalagem final de expedição. Neste caso apenas foi necessário a utilização de uma mangueira colocada no bocal de saída do reator e mergulhá-la no produto já retirado, diminuindo assim a área de contacto produto/ar.

Numa produção de Detergente Teste no tanque agitado o excesso de viscosidade e binário exigido ao motorredutor originou a cedência dos planetários do redutor, deixando assim de agitar o produto.

Após otimização dos processos mecânicos e com vista na resolução do problema do agitador, procedeu-se à alteração das temperaturas do processo produtivo de forma a baixar a viscosidade do produto.

Fez-se um estudo à viscosidade do Tensioativo aniónico 2 em função da temperatura e foram obtidos os resultados da tabela apresentada na tabela 5.

Tabela 5. Variação da viscosidade (cP) do Tensioativo aniónico 2 em função da temperatura (°C).

Temperatura (°C)	Viscosidade (cP)
24,1	33400
31,2	32580
36,2	31680
41,2	30660

Estas medições foram efetuadas num viscosímetro Brookfield Synchro-Lectric.

De seguida efetuou-se a representação gráfica dos valores obtidos, como mostra a figura 12.

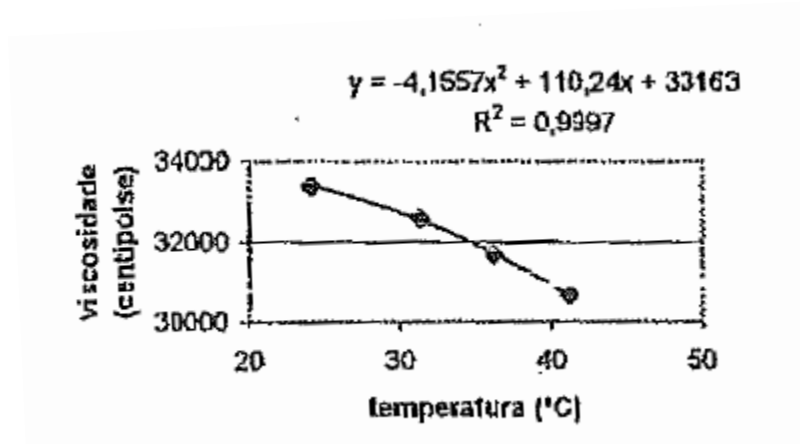


Figura 12. Variação da viscosidade (cP) do Tensioativo aniónico 2 em função da temperatura (°C)

Foi decidido desta forma colocar a matéria-prima Tensioativo aniónico 2 na estufa estabilizada a 40°C (acima de 40°C, durante um longo período, esta matéria-prima hidrolisa).

De forma a tentar perceber a influencia da temperatura na viscosidade do produto final, fizeram-se medições laboratoriais para achar a correlação entre a viscosidade e a temperatura

As medições foram efetuadas num viscosímetro Anton Paar ViscoQC 100.

Na figura 13 está representado um exemplo de uma medição feita no viscosímetro disponível no laboratório do Detergente Teste a 25°C.



Figura 13. Determinação da viscosidade do Detergente Teste para a temperatura de 25,6°C

Foram feitas medições de viscosidade desde aproximadamente 25°C até 37°C. A tabela 6 apresenta os resultados obtidos para as diferentes medições.

Tabela 6. Determinações da viscosidade do Detergente Teste para diferentes temperaturas.

Viscosidade (Pa.s)	Viscosidade (cP)	Temperatura (°C)
6,9640	6964,0	24,8
6,7350	6735,0	25,0
4,7870	4787,0	25,2
5,3960	5396,0	25,5
3,9710	3971,0	25,6
5,2700	5270,0	25,7
3,4220	3422,0	26,2
5,1200	5120,0	26,4
3,8280	3828,0	26,6
2,9500	2950,0	27,4
3,3450	3345,0	27,6
3,3590	3359,0	27,9
2,8480	2848,0	27,9
2,2830	2283,0	28,4
1,9210	1921,0	29,1
1,7290	1729,0	29,4
1,3100	1310,0	30,7
1,2080	1208,0	31,7
0,9857	985,7	32,1
0,8357	835,7	33,9
0,7840	784,0	34,1
0,6774	677,4	35,0
0,6795	679,5	36,0
0,6318	631,8	36,9

Pela observação dos resultados percebe-se que para alguns valores de temperatura idênticos há variações das viscosidades.

Para resolver este problema resolveu-se identificar os resultados das temperaturas lidas semelhantes e fazer a média destes valores, ou seja, os valores representados a cinzento na tabela fizeram média entre si, assim como os roxos, azuis, verde escuro e claro laranja e amarelo. Ensaios identificados a cores na tabela 7.

Tabela 7. Ensaios agrupados por cores identificando as médias de viscosidade e temperatura calculadas.

Viscosidade (Pa.s)	Viscosidade (cP)	Temperatura (°C)
6,9640	6964,0	24,8
6,7350	6735,0	25,0
4,7870	4787,0	25,2
5,3960	5396,0	25,5
3,9710	3971,0	25,6
5,2700	5270,0	25,7
3,4220	3422,0	26,2
5,1200	5120,0	26,4
3,8280	3828,0	26,6
2,9500	2950,0	27,4
3,3450	3345,0	27,6
3,3590	3359,0	27,9
2,8480	2848,0	27,9
2,2830	2283,0	28,4
1,9210	1921,0	29,1
1,7290	1729,0	29,4
1,3100	1310,0	30,7
1,2080	1208,0	31,7
0,9857	985,7	32,1
0,8357	835,7	33,9
0,7840	784,0	34,1
0,6774	677,4	35,0
0,6795	679,5	36,0
0,6318	631,8	36,9

Na tabela 8 estão representadas as médias obtidas para as diferentes temperaturas e viscosidades.

Tabela 8. Média das viscosidades e temperaturas apresentadas na tabela anterior.

Viscosidade Média (Pa.s)	Viscosidade Média (cP)	Temperatura média (°C)
6,7350	6735,0	25,0
5,1200	5120,0	25,7
3,3890	3389,0	27,0
3,0965	3096,5	27,9
1,8250	1825,0	29,3
1,3100	1310,0	30,7
1,0969	1096,9	31,9
0,8099	809,9	34,0
0,6774	677,4	35,0
0,6795	679,5	36,0
0,6318	631,8	36,9

Pela análise dos valores médios de viscosidade verifica-se que a 36,0 °C a viscosidade média aumenta, em vez de seguir a tendência de diminuição, no entanto, não foi possível repetir o ensaio, considerando-se por isso, um erro de medição.

Sabendo já que a diferença de temperatura faz variar, consideravelmente a viscosidade deste produto verificou-se a correlação da temperatura em função da viscosidade do Detergente Teste, representada na figura 14.

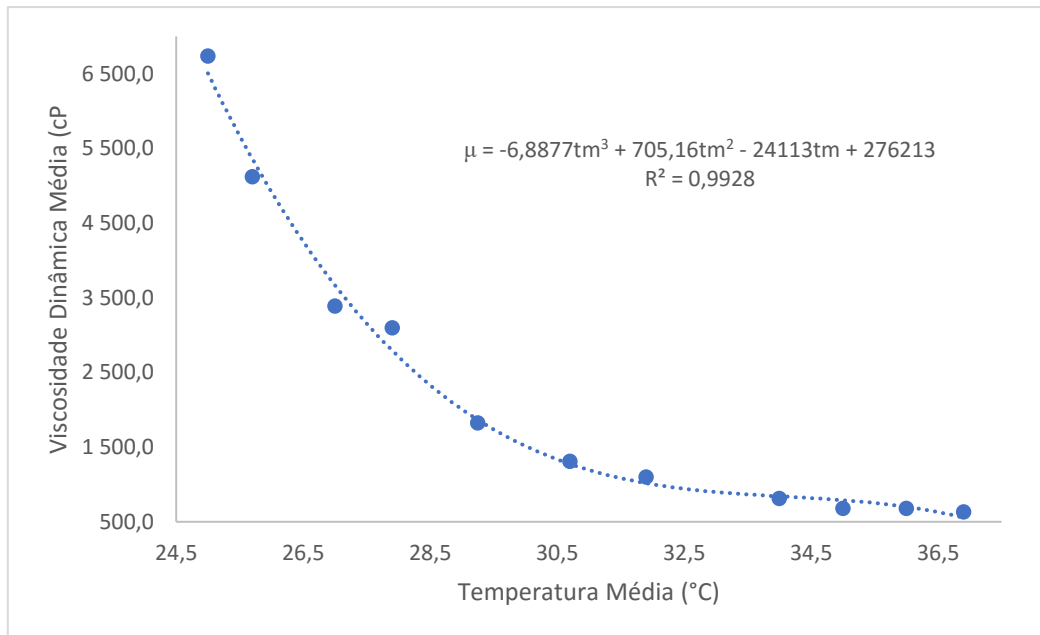


Figura 14. Variação da viscosidade em função da temperatura do Detergente Teste

Verificando que a temperatura tem uma influência sobre o produto final significativa resolve-se então, durante a colocação do Tensioativo aniónico 2 no reator ligar a caldeira disponível na empresa, que utiliza como fluido de aquecimento a água, a 40°C, pois a temperaturas superiores o Tensioativo aniónico 2 hidrolisa. Esta temperatura não é monitorizada em nenhum ponto do circuito fechado da caldeira. O controlo da temperatura dentro do reator é feito através de amostras retiradas ao longo do tempo da produção, havendo variações de temperatura indesejadas.

O último passo da produção de Detergente Teste é a neutralização do pH, utilizando soda cáustica 50%. Este processo apresentou vários constrangimentos pela dificuldade de homogeneização do produto final. Decidiu-se então acertar o pH antes da colocação do Tensioativo aniónico 2 e do Tensioativo não iónico, o que apresentou resultados positivos já que o pH destes últimos está dentro da gama de aceitação do produto final Detergente Teste (entre 7 e 9).

No final das otimizações foi definido então um novo procedimento de produção:

- 1) Colocar previamente o Tensioativo aniónico 2 na estufa a 40°C
- 2) Ligar agitador a 25 rpm
- 3) Adicionar água desmineralizada.
- 4) Adicionar a soda cáustica líquida 50% (numa primeira fase colocar-se-á 95% da soda 50% teórica)

- 5) Quando homogéneo tirar amostra e medir o pH. Se pH abaixo de 7 necessário acertar o pH com adição de soda (Com soda cáustica 50%. A cada kg adicionado agitar e tirar amostra.)
- 6) Adicionar o Tensioativo aniónico 1 a um caudal de 1,7 m³/h.
- 7) Quando a temperatura for inferior a 50°C adicionar Tensioativo aniónico 2 a um caudal de 0,3 m³/h.
- 8) Adicionar Tensioativo não iónico a um caudal de 1,8 m³/h.
- 9) Colocar a recircular.

4.3. Propostas de melhoria

4.3.1. Controladores de temperatura

Sendo a temperatura uma das variáveis críticas deste processo produtivo, seria uma mais valia a implementação de um sistema de controlo por cascata, onde é feita a medição da temperatura da mistura dos reagentes (no interior do reator) e do caudal de água quente alimentada à serpentina do reator, sendo que a temperatura a que ocorre a mistura é a variável controlada. O sistema atuará no caudal de vapor alimentado à serpentina do equipamento. A estratégia de controlo em cascata tem como característica a medida duma segunda variável que tem a característica de indicar a ocorrência da perturbação importante. Neste sistema de controlo existe a utilização de dois controladores, ligados de modo a que a saída do controlo respeitante à variável de controlo principal seja o *set point* do controlador ligado à segunda variável, assim, dois controladores por retroação estão combinados de modo a aumentar o desempenho do sistema de controlo [17].

Na figura 15 seguinte está representado esse mesmo sistema de controlo em cascata:

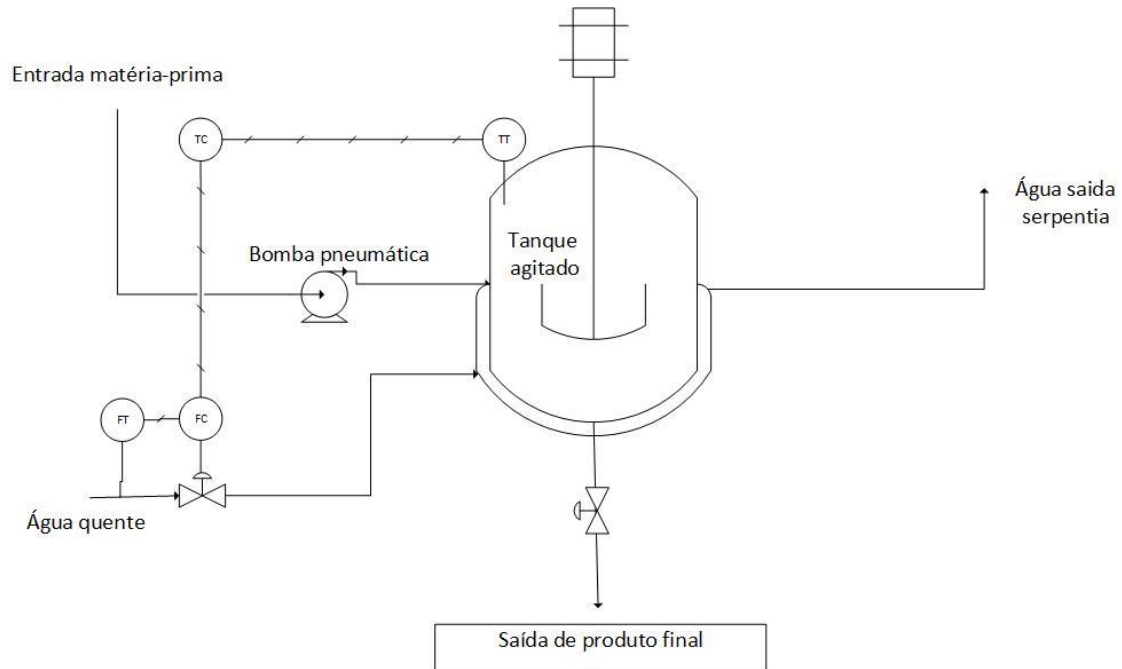


Figura 15. Sistema de controlo da temperatura dentro do misturador

4.3.2. Agitadores

Tendo em vista a melhoria da agitação e homogeneização do Detergente Teste durante a sua produção, foi escolhido o agitador de âncora para uma possível alteração ao sistema de agitação por se adequar mais a produtos de viscosidades elevadas.

Para o dimensionamento do agitador partiu-se das dimensões conhecidas do agitador: Diâmetro interno (T) = 1,5 m e da altura máxima do fluido ($Z_{\text{máx}}$) = 2 m.

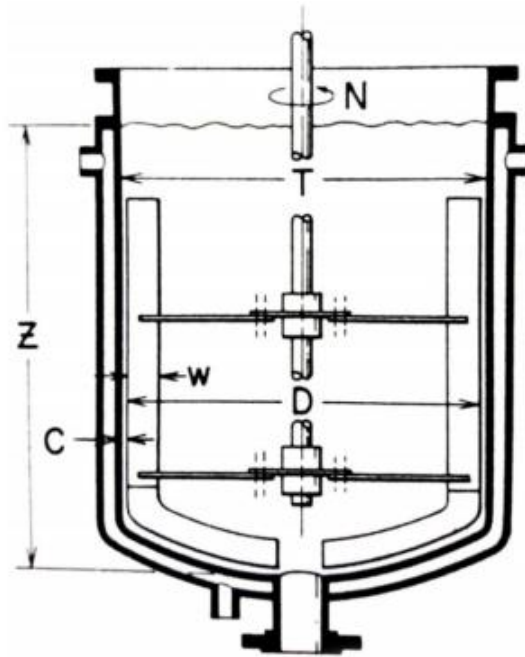


Figura 16. Esquema representativo de um agitador de âncora

A figura 16 serve de auxílio para aos cálculos efetuados.

Na tabela 9 estão representadas as considerações efetuadas para os cálculos das dimensões do agitador. As relações geométricas apresentadas são recomendadas para agitadores de ancora e helicoidal.

Tabela 9. Relações geométricas apresentadas recomendadas para agitadores de âncora e helicoidal [18].

Relações Geométricas	Âncora e Helicoidal
w/D	0,082
c/D	0,02
D/T	0,96

Através dos cálculos efetuados no anexo A são apresentados na tabela 10 os resultados obtidos.

Tabela 10. Dimensões (m) do agitador de âncora.

Parâmetro	Dimensão (m)
D	1,44
c	0,03
w	0,12

Outro parâmetro a ter em atenção é a altura do fluido dentro do tanque, uma vez que não deve ultrapassar o intervalo $Z/T = [0,5 - 1,26]$. Se se utilizasse a capacidade máxima do tanque, ($Z_{\text{máx}} = 2\text{m}$) ultrapassava-se o intervalo, pois obteríamos um resultado de 1,33. Desta forma é necessário calcular a altura que o fluido pode atingir dentro do reator. Como se pode verificar no anexo B o fluido não deve ultrapassar 1,89 m.

Para se chegar à velocidade de agitação, ao número de potência e à potência necessária do motor deve-se considerar um regime laminar de forma a que o produto incorpore o menor volume de ar possível. Logo assume-se um número Reynolds, Re , igual a 300 [11]. Para este cálculo teve-se em consideração a temperatura de 25°C , considerando que a produção é feita à temperatura ambiente. Na impossibilidade de aquecimento do reator dimensionou-se o agitador para 25°C , tendo como ressalva que este tipo de agitador funciona também a temperaturas superiores e viscosidades inferiores. Utilizando um densímetro Anton Paar DM500, mediu-se a densidade do Detergente Teste a 25°C tendo-se obtido um valor de $1,034\text{g/cm}^3$. Utilizou-se ainda a viscosidade média a 25°C obtida através da correlação estudada na figura 9. Podem verificar-se os cálculos no anexo C.

Os resultados obtidos para a produção deste produto obedecendo a um regime laminar foram de uma velocidade de agitação de 53 rpm, número de potência de 1,09 e de uma potência do motor do agitador de 4854 W. Analisando os resultados obtidos não será necessário substituir o motor do agitador, pois este já tem potência suficiente para suprir esta necessidade.

Um outro agitador bastante utilizado em produtos de viscosidade elevada é o agitador de fitas helicoidais, mas tal não foi possível dimensionar pela falta de informação disponível.

4.3.3. Tempo de Carga

Outra característica muito importante no dimensionamento de um reator é o seu volume. No entanto, para este cálculo são necessários, além da produção pretendida, dados acerca da velocidade da reação e como não existem dados na literatura acerca

deste fator para o Detergente Teste, então não foi possível determinar qual o volume do reator.

Mas para a produção do Detergente Teste foi utilizado um reator já existente na empresa, com um volume conhecido. Além disso, tal como referido acima, aquando dos testes determinaram-se quais os caudais de entrada ideais para cada matéria-prima de forma a que não houvesse um grande aumento do volume do fluido no interior do reator pela incorporação de ar.

Com estes dados foi possível determinar o tempo de carga para o processamento do Detergente Teste no interior do reator, tendo-se obtido um valor de, aproximadamente, 57 minutos. O cálculo deste valor encontra-se no Anexo D.

Este dado ainda não foi possível validar, uma vez que, após a determinação deste parâmetro ainda não foi feita novamente a produção do Detergente Teste.

5. Conclusões

O trabalho realizado inclui um levantamento do processo produtivo em que foram recolhidos dados de produção, como matérias-primas de cada produto. Com este levantamento e recolha de dados foi possível determinar alguns pontos de melhoria. Mais tarde, foi proposto à empresa produzir um concentrado de detergente (Detergente Teste). Nesta matéria foi feito um levantamento dos problemas obtidos durante a produção do Detergente Teste seguindo-se a otimização do processo produtivo. Foram feitas ainda propostas de melhoria, ou de alteração às condições de produção.

Tal como foi referido foi realizado um levantamento do processo da empresa e um dos pontos fulcrais foi a análise às produções feitas no reator, uma vez que de momento, estas produções são realizadas conforme os pedidos de cliente. No entanto, foi possível organizar as produções de forma a evitar lavagens desnecessárias entre produtos. Isto é possível porque há produções que feitas de forma sucessiva, não há contaminação pelo produto anteriormente produzido, por apresentar os mesmos compostos. Pode ainda acrescentar-se no seguimento destas produções outros produtos que tenham a mesma base que os anteriores, ainda que matérias-primas diferentes, obrigando a uma lavagem, mas reduzindo o risco de contaminação. Chegaram-se a duas sequências de produção que devem ser seguidas em caso de possibilidade, sendo elas: Produto H > Produto F > Produto G > Produto A e a Produto B > Produto I > Produto L > Produto M.

Outro tema estudado foi a produção do Detergente Teste, e neste foram notados alguns problemas técnicos, tais como, a incorporação de ar no produto, a viscosidade do Tensioativo aniónico 2 e do Detergente Teste serem demasiado elevadas, 33400 cP a 24,1°C e 6735cP a 25°C, respetivamente.

Para resolução dos problemas obtidos foi otimizado o processo produtivo, chegando-se a um novo procedimento produtivo:

- 1) Colocar previamente o Tensioativo aniónico 2 na estufa a 40°C
- 2) Ligar agitador a 25 rpm
- 3) Adicionar água desmineralizada.
- 4) Adicionar a soda cáustica líquida 50% (numa primeira fase colocar-se-á 95% da soda 50% teórica)

- 5) Quando homogéneo tirar amostra e medir o pH. Se pH abaixo de 7 necessário acertar o pH com adição de soda (Com soda cáustica 50%. A cada kg adicionado agitar e tirar amostra.)
- 6) Adicionar o Tensioativo aniónico 1 a um caudal de 1,7 m³/h.
- 7) Quando a temperatura for inferior a 50°C adicionar Tensioativo aniónico 2 a um caudal de 0,3 m³/h.
- 8) Adicionar Tensioativo não iónico a um caudal de 1,8 m³/h.
- 9) Colocar a recircular.

Como propostas de melhoria à produção do Detergente Teste foi sugerido a colocação de controladores de temperatura em cascata no reator de forma a estabilizar a temperatura do fluido dentro do tanque a 40°C, temperatura máxima que o tensioativo aniónico 2 pode suportar sem hidrolisar, e diminuir a viscosidade do fluido.

De forma a melhorar a eficiência de agitação sugeriu-se a troca de agitador por um do tipo âncora, por ser recomendado para agitação de produtos de alta viscosidade como é o caso do Detergente Teste, com 6735 cP a 25°C.

A otimização do agitador foi apresentada para a temperatura de 25°C, na impossibilidade da estabilização da temperatura a um valor superior. Sendo que este agitador pode também funcionar para viscosidades mais baixas.

Os resultados obtidos para a produção deste produto obedecendo a um regime laminar foram de uma velocidade de agitação de 53 rpm, número de potência de 1,09 e de uma potência do motor do agitador de 4854 W. Conclui-se então que o motor que já pertence à instalação atual do reator, com 5500 W de potência de motor, é suficiente para a produção do Detergente Teste na condição de temperatura de 25°C.

6. Referências Bibliográficas

- [1] http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/59531/1/document_51626_1.pdf
[26/04/2020]
- [2] Azevedo, Sebastião, Indústria Química: Identidade, relevância e futuro, 87, p. 20-22, Maio/Junho 2005
- [3] Moraes, Thaís Sousa, Descrição do Processo Artesanal e Avaliação Físico-Química de Detergente Líquido Produzido em Uma Fábrica no Anjo da Guarda - MA, Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Curso de Química Industrial, São Luís, 2017
- [4] Soares, Anderson Shimenes Lacerda, Estudo dos Parâmetros e Controle de Qualidade no Processo Produtivo de Detergente Líquido Domissanitário, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Curso de Engenharia Química, novembro de 2017
- [5] Júnior, Alrivan Gomes do Rêgo, Estudo e Caracterização de uma Nova Formulação de detergente: Efeito da Concentração de Sal no Ponto de Turvação., Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pró-Reitoria de Graduação, Centro de Engenharias, Departamento de Engenharia e Tecnologia, Curso de Engenharia Química, 2019
- [6] H. S. Fogler, "Conversão e Dimensionamento de Reatores," em Elementos de Engenharia das Reações Químicas, Quarta Edição, Edição Portuguesa, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009, pp. 8-10.
- [7] O. Levenspiel, Ideal Reactors for a Single Reaction, em Chemical Reaction Engineering, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., 1999, pp. 90-95
- [8] Nery, Leonardo, Concepção e dimensionamento de um eixo para um tanque agitado industrial, Universidade federal do Ceará, centro de tecnologia, Departamento de engenharia mecânica, 2017.
- [9] Gavarito, Ana Milena Torres, Determinação Experimental do Consumo de Potência Para Impelidores de Âncora e Helicoidal Usando Fluidos Pseudoplásticos de Alta Viscosidade, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, 2013
- [10] Esteves, Teresa Sena, Apontamentos da cadeira Sistemas de Transportes de Fluidos, Licenciatura em Engenharia Química, DEQ, ISEP, 2014-2015

- [11] Simões, Daniel de Souza, Determinação Experimental do Número de Potência de Agitadores de Proximidade para Líquidos de Alta Viscosidade, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, 2017
- [12] Buzzi, Deize, Plytiuk, Crislayne, Pensamento enxuto e sistemas de saúde: um estudo da aplicabilidade de conceitos e ferramentas lean em contexto hospitalar, Qualidade Emergente, 2, p: 18-38, 2011
- [13] Martins, Ricardo, Melhoria do processo produtivo no departamento de tratamentos térmicos do F. Ramada, ISEP, Mestrado em Engenharia Mecânica, 2012
- [14] Melton, T. THE BENEFITS OF LEAN MANUFACTURING What Lean Thinking has to Offer the Process Industries, Chemical Engineering Research and Design, 83(A6): 662–673, Trans IChemE, Part A, June 2005
- [15] Simões, Leider, Ribeiro. M. O CICLO PDCA COMO FERRAMENTA DA QUALIDADE TOTAL, Unisalesiano de Lins
- [16] <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/gestao-empresarial/ciclo-pdca-a-metodologia-perfeita-para-o-seu-projeto/> [21/04/2020]
- [17] Freitas, Maria Madalena, Apontamentos da cadeira Controlo de Processos e Automação, Mestrado em Engenharia Química, Ramo de Qualidade, DEQ, ISEP, 2018-2019
- [18] PAUL, E. L.; ATIEMO-ONBENG, V. A.; KRESTA, S. M.; Handbook of industrial mixing: science and practice. New Jersey: Wiley Interscience, 2004

Anexos

A. Cálculo dimensões do agitador

Para o cálculo das dimensões do reator foi necessário considerar algumas relações geométricas que são recomendadas para os agitadores de âncora e helicoidal, tal como se pode ver na tabela 11.

Tabela 11. Relações geométricas apresentadas recomendadas para agitadores de âncora e helicoidal

Relações Geométricas	Âncora e Helicoidal
w/D	0,082
c/D	0,02
D/T	0,96

- T (diâmetro do reator) = 1,5 m

$$\frac{D}{T} = 0,96 \quad (=) \quad D = 0,96 * 1,5 = 1,44$$

$$\frac{c}{D} = 0,02 \quad (=) \quad c = 0,02 * 1,44 = 0,03$$

$$\frac{w}{D} = 0,082 \quad (=) \quad w = 0,082 * 1,44 = 0,12$$

B. Cálculo altura do nível do fluido no interior do reator

Determinação da altura máxima do fluido no interior do tanque obedecendo ao intervalo definido para Z/T:

- $Z/T = [0,5 - 1,26]$
- A altura máxima dentro do reator $Z_{\text{máx}}=2 \text{ m}$

$$\frac{Z}{T} = \frac{2}{1,5} = 1,33 > 1,26$$

Então, calcula-se a altura máxima que o fluido pode apresentar aceiteada pela relação geométrica:

$$\frac{Z}{T} = 1,26 (=) Z = 1,26 * 1,5 = 1,89 \text{ m}$$

C. Cálculo do número de potência e da potência do agitador

- Temperatura média (t_m) = 25°C
- $\mu = -6,8877t_m^3 + 705,16t_m^2 - 24113t_m + 276213$ (figura 9)

Através da correlação da figura 9 calcula-se a viscosidade a 25°C

$$\mu = -6,8877 * 25^3 + 705,16 * 25^2 - 24113 * 25 + 276213 (=)$$

$$\mu = 6323 \text{ cP} = 6,323 \text{ Pa.s}$$

Para chegar à velocidade de agitação a 25°C em regime laminar deve-se considerar o Número de Reynolds igual a 300

- $Re = 300$
- $\rho = 1,034 \text{ g/cm}^3 = 1034 \text{ kg/m}^3$, a 25°C

$$Re = \frac{N * \rho * D^2}{\mu} (=) N = \frac{Re * \mu}{\rho * D^2} (=) N = \frac{300 * 6,323}{1034 * 1,44^2} (=) N = 0,88 \text{ rps} = 53 \text{ rpm}$$

Cálculo do número de potência, N_p [11]:

$$N_p = 82 * Re^{-0,93} * \left(\frac{C}{T}\right)^{-0,25} = 82 * 300^{-0,93} * \left(\frac{0,03}{1,5}\right)^{-0,25} = 1,09$$

Cálculo da Potência, P :

$$N_p = \frac{P}{\rho * N^3 * D^5} (=) P = N_p * \rho * N^3 * D^5 = 1,09 * 1034 * 0,88^2 * 1,44^5 = 4851 \text{ W}$$

D. Cálculo do tempo de carga

Para o cálculo do tempo de carga teve-se em conta as percentagem, o caudal de entrada e a densidade das matérias-primas utilizadas na produção do detergente teste, que são apresentadas na tabela 12.

Tabela 12. Dados acerca das matérias-primas para a produção do Detergente Teste.

Produtos	Percentagens (%)	Caudal (kg/s)	Densidade (kg/m ³)
Tensioativo aniónico 2	10 - <30	0,1000	1080
Tensioativo aniónico 1	30 - <45	0,5000	1049
Tensioativo não iónico	1 - <5	0,5000	980
Água desmineralizada	40	1,287	1000
Soda cáustica	1 - <5	4,217	1514

Exemplo de Cálculo do Caudal Volumétrico de Entrada:

$$\text{Caudal Volumétrico} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{\text{Caudal Mássico} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)}{\text{Densidade} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

Cálculo do Caudal Volumétrico do Tensioativo aniónico 1

$$\text{Caudal Volumétrico do Tensioativo Aniónico 1} = \frac{0,1000}{1080} = 9,259 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Após a determinação de todos os caudais volumétricos, foi calculado um caudal volumétrico médio de entrada de matéria-prima, tal como se pode ver a seguir:

Caudal Médio de Entrada

$$\begin{aligned} &= (\text{Percentagem do Tensioativo aniónico 1} \\ &\times \text{Caudal Volumétrico do Tensioativo aniónico 1}) \\ &+ (\text{Percentagem do Tensioativo aniónico 2} \\ &\times \text{Caudal Volumétrico do Tensioativo aniónico 2}) \\ &+ (\text{Percentagem do Tensioativo não iónico} \\ &\times \text{Caudal Volumétrico Tensioativo não iónico}) \\ &+ (\text{Percentagem da Água desmineralizada} \\ &\times \text{Caudal Volumétrico da Água desmineralizada}) \\ &+ (\text{Percentagem de Soda caústica} \\ &\times \text{Caudal Volumétrico da Soda Caústica}) = 8,899 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Cálculo do tempo de carga do Detergente Teste ao reator, tendo em conta que o volume útil do reator é 3 m³.

$$\tau = \frac{v}{v_0} = \frac{3,000}{8,899 \times 10^{-4}} \times \frac{1}{60} \approx 57 \text{ min}$$