



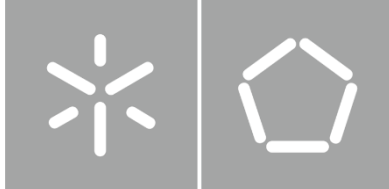
Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Otimização de um processo de produção de leite em pó

Beatriz Isabel Ponte Pascoal Botelho

Otimização de um processo de produção de leite em pó

UMinho | 2024 Beatriz Isabel Ponte Pascoal Botelho



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Beatriz Isabel Ponte Pascoal Botelho

**Otimização de um processo de produção de leite
em pó**

Dissertação de mestrado

Mestrado em Engenharia Química e Biológica

Trabalho efetuado sob orientação do

Professor José Maria Marques Oliveira

Direitos de Autor e Condições de Utilização do Trabalho por Terceiros

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial

CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Agradecimentos

O meu percurso académico e, em particular o desenvolvimento deste trabalho foram, por certo uma experiência transformadora e enriquecedora, que ficou marcada pela presença de pessoas fundamentais, às quais quero expressar o meu especial agradecimento.

À empresa que me acolheu e deu a oportunidade de desenvolver o meu projeto em ambiente empresarial, como sempre idealizei. Agradeço, em particular, à Dra. Tânia por ter aceite ser a minha orientadora e, por me ter acompanhado durante estes meses, tendo sido sempre paciente para esclarecer as minhas dúvidas.

Ao Professor José Maria Oliveira, por ser meu orientador nesta etapa desafiante. Muito obrigada, por todos os ensinamentos que transmitiu, pela dedicação, ajuda e, por me ter incentivado sempre a fazer melhor.

Aos membros do departamento da produção, com quem partilhei escritório, pelo acolhimento e por todos os ensinamentos que me transmitiram, sempre com uma boa disposição. Agradeço também aos operadores, pela simpatia e contributo no desenvolvimento da minha dissertação.

Ao departamento de qualidade, pela disponibilidade de em realizar a parte laboratorial deste trabalho. Um especial agradecimento às analistas por toda a sua paciência, disponibilidade, conselhos e momentos partilhados. Obrigada por terem sido uma grande companhia, ouvido as minhas angústias e, por nunca me terem deixado desmotivar.

Ao departamento de engenharia e manutenção, por todo o apoio imprescindível e incondicional prestado e, pelo lançamento de constantes e novos desafios. Agradeço especialmente ao Engenheiro Eduardo, por todos os conselhos, orientação e partilha de conhecimentos ao longo deste trabalho, no qual incentivou sempre o meu espírito crítico e analítico.

A todos os meus amigos que estiveram sempre presentes, por todos os conselhos que me deram e, acima de tudo, por terem sido o meu apoio nesta fase desafiante.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer aos meus pais e irmã, aos quais dedico este trabalho. Obrigado por terem sido o meu apoio e, por todo o esforço que fizeram para que pudesse chegar até aqui. Um agradecimento especial à minha irmã Sofia, por todo o carinho e por me ter mantido focada.

A todos vós, um muito obrigada!

Declaração de Integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

O leite em pó é um produto lácteo altamente valorizado devido às suas características, sendo utilizado tanto pelo consumidor final, como também como matéria-prima em várias indústrias alimentares. A remoção de água livre permite não só aumentar a durabilidade deste produto, como também simplifica a logística de transporte, através da redução do seu peso e volume. A minimização da perda de produto é vital para minorar o impacte ambiental, bem como a redução dos custos de produção, pelo que a garantia do sucesso de uma empresa advém da otimização do seu processo de produção. Neste sentido, este trabalho teve como principal objetivo a otimização de um processo de produção do leite em pó, através da minimização da perda de produto observada ao longo do processo.

De forma a cumprir com o objetivo delineado, foi utilizada a metodologia IVAA (Ir-Ver, Analisar, Atuar), que se baseia na ferramenta de melhoria contínua DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Deste modo, após uma primeira avaliação a cada etapa do processo de produção do leite em pó, foi traçado e implementado um plano de recolha de amostras nas etapas que evidenciaram maior perda de produto (padronização e evaporação). Na etapa de padronização detetou-se que, na linha de enchimento de um dos tanques de armazenamento de nata, durante o pré-enxaguamento, 21 % das amostras recolhidas eram compostas por nata. Mormente, na etapa de evaporação estes valores variam consoante o produto, obtendo-se, durante o arrasto final, no pior cenário, que as amostras continham 21 % de produto. Adicionalmente, foi observado que o problema não só estaria na concentração da amostra, mas no tempo de reação da válvula de controlo.

Após a identificação do problema, procedeu-se ao reconhecimento da causa raiz, tendo-se identificado que a principal razão advinha de falhas nas sondas de condutividade elétrica, responsáveis pelo desencadeamento do sinal para a válvula de controlo do sistema de drenagem. Deste modo, foi traçado um plano que corrigisse todas as falhas identificadas. O plano incluiu: a definição do sinal de saída das sondas de condutividade, dado que influencia a solução-padrão a utilizar durante o procedimento de verificação; a avaliação do *set-point* e da gama de trabalho estabelecida para estes equipamentos; a avaliação e caracterização da solução-padrão utilizada no procedimento de verificação; a determinação do critério de aceitação e, por fim; a análise e redefinição do procedimento de verificação das sondas de condutividade. Após a implementação destas medidas observou-se uma redução da CQO.

Palavras-Chave: IVAA; Leite em Pó; Perda de Produto; Solução-padrão; Sondas de Condutividade

Abstract

Milk powder is a highly valued dairy product due to its characteristics. This product is used by consumers and as raw material in some food industries. The removal of free water not only increases the durability of this product but also simplifies transportation logistics, by reducing its weight and volume. Minimizing product loss is vital to mitigate environmental impact and reduce production costs, ensuring the success of a company through the optimization of its production process. Thus, the present dissertation had the main objective of optimizing a milk powder's production process, by minimizing the product loss.

To fulfill the outlined objective, the IVAA (Go and See, Analyze, Act) methodology was employed. This tool is based on continuous improvement tools as the DMAIC methodology (which includes the phases Define, Measure, Analyze, Improve and Control). Thus, after an initial assessment of each stage of milk powder production process, a plan was outlined and implemented to collect samples at stages that showed higher product loss (standardization and evaporation). In the standardization stage, during final draw, it was detected that 21 % of the samples is cream (cream storage tank filling line). However, in the evaporation stage, these values depend on the product. In worst scenario, samples contained 21 % of product, during the pre-rinsing. Additionally, it was observed that the issue was not only in the sample concentration but also in the reaction time of the control valve.

After identifying the problem, the recognition of the root cause was carried out, identifying that the main reason was the faults in the conductivity probes. Thus, a plan was outlined to correct all identified flaws. The plan included: defining the output signal of the conductivity probes, as influences the standard solution to be used during the verification procedure; evaluating the set-point and working range established for this equipment; assessing and characterizing the standard solution used in the verification procedure; determining the acceptance criteria, and finally; analyzing and redefining the procedure for verifying the conductivity probes. After the implementation of these measures, a reduction in COD was observed.

Keywords: Conductivity Probes; IVAA; Milk Powder; Product Loss; Reference Solution

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xi
Lista de Símbolos e Siglas.....	xii
1 Introdução	1
1.1 Contexto e Motivação	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Organização da Dissertação	3
2 Enquadramento Teórico.....	4
2.1 O leite.....	4
2.1.1 A indústria de laticínios.....	5
2.1.2 O Leite em pó.....	6
2.1.3 Processo de produção de leite em pó.....	8
2.2 Controlo analítico na indústria de laticínios	10
2.2.1 Matéria Gorda	11
2.2.2 Sólidos Totais/Matéria Seca	12
2.3 Limpeza de Equipamentos na indústria de laticínios	13
2.3.1 Monitorização dos Efluentes gerados	15
2.4 Dinâmica e Controlo de Processos Industriais.....	17
2.4.1 Instrumentação	22
2.5 Metrologia na indústria de laticínios – alguns conceitos.....	26
2.5.1 Erros de Medição.....	26
2.5.2 Calibração e Verificação de Instrumentos	27
2.5.3 Critério de Aceitação.....	29
2.6 Condutividade elétrica do leite	29
2.7 Ferramentas de melhoria contínua utilizadas na resolução de problemas	33

2.7.1	DMAIC.....	33
2.7.2	5W1H	34
2.7.3	Diagrama de Causa-efeito	34
2.7.4	“5 Porquês”	35
2.7.5	Diagrama de Gantt	37
2.7.6	<i>One Point Lesson</i> (OPL)	37
3	Caso de estudo	38
3.1	Processo de Produção do Leite em Pó.....	38
3.2	Efluentes Gerados e tratamento na ETARl	48
3.2.1	Linhas de Tratamento	50
3.2.2	Controlo Analítico	52
4	Metodologia Aplicada	53
4.1	IVAA (Ir-Ver, Analisar e Atuar).....	53
4.1.1	Fase Ir-Ver	54
4.1.2	Fase Analisar	57
4.1.3	Fase Atuar	58
4.2	Plano Amostragem	60
4.2.1	Etapa de Padronização	63
4.2.2	Etapa de Evaporação	64
5	Resultados e discussão.....	67
5.1	Identificação do Problema	67
5.1.1	<i>CQO</i> do Efluente Bruto.....	68
5.1.2	Caracterização das Amostras dos Arrastos	70
5.2	Identificação das Causas	74
5.2.1	Análise Causa-Efeito	75
5.2.1	Análise dos “5 Porquês”	75
5.3	Plano e Implementação das Ações Corretivas	80
5.3.1	Definição do Sinal das Sondas de Condutividade.....	81
5.3.2	Definição do <i>Set-Point</i> das Sondas de Condutividade.....	83
5.3.3	Gama de Trabalho das Sondas de Condutividade	85
5.3.4	Avaliação da solução-padrão utilizada.....	88
5.3.5	Definição do Critério de Aceitação	91

5.3.6	Análise do procedimento de verificação das sondas de condutividade.....	92
5.4	Melhoria do Processo de Produção.....	94
5.4.1	Validação do <i>Set-Point</i>	95
5.4.2	Alteração da Gama de Trabalho das Sondas de Condutividade	96
5.4.3	Alteração da Solução-Padrão utilizada na verificação	96
5.5	Padronização	99
5.5.1	Procedimento de Verificação das Sondas de Condutividade	99
5.5.2	Criação do Procedimento de Calibração das Sondas de Condutividade	99
5.5.3	Definição Plano de Realização de Arrastos	100
6	Considerações finais.....	101
6.1	Conclusões	101
6.2	Sugestões para trabalho futuro	102
	Referências Bibliográficas.....	104
	Anexos.....	108
	Anexo A – Fluxogramas analíticos	109
	Anexo B – Caracterização das amostras dos vários arrastos	111
	Anexo C – Calendarização das tarefas.....	113
	Anexo D – Lista das sondas de condutividade da fábrica e da respetiva marca/modelo	114
	Anexo E – Caracterização das amostras dos vários produtos intermédios e das soluções-padrão preparadas	115
	Anexo F – Procedimento de verificação das sondas de condutividade	117

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de blocos das principais unidades processuais do processo de produção do leite em pó.	9
Figura 2. Diagrama de um sistema com as variáveis <i>input</i> e <i>output</i> representadas.	19
Figura 3. Representação dos dois tipos de sistema: (A) sistema em malha aberta; (B) sistema em malha fechada.	19
Figura 4. Exemplo de um diagrama de causa-efeito.	35
Figura 5. Diagrama de fluxo da produção de leite em pó.	39
Figura 6. A. Pilha de pratos que compõe a desnatadeira, com os canais de distribuição representados; B. Corte transversal da pilha de pratos, com representação do processo de separação da matéria-gorda.	42
Figura 7. Corte transversal da desnatadeira, semelhante à utilizada no processo de desnate na empres	43
Figura 8. Trajeto da nata toma, após a sua separação do leite fresco.	44
Figura 9. Homogeneização da matéria gorda, através da movimentação do pistão.	46
Figura 10. Etapas do tratamento da fase líquida do efluente da empresa.	49
Figura 11. Plano de amostragem adotado na etapa de padronização, no Tanque 5000 e no Tanque 14.	62
Figura 12. Plano de amostragem para a etapa de padronização que se aplica identicamente desde o PA ao PD.	62
Figura 13. Identificação do local de recolha das amostras na etapa de padronização.	63
Figura 14. Identificação do local de recolha da amostra na etapa de evaporação.	65
Figura 15. Utilização da ferramenta 4W1H para enfoque do problema "contínua perda de produto". .	68
Figura 16. Valor mensal médio de <i>CQO</i> de amostras de efluente bruto.	69
Figura 17. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final ao Tanque 5000 (etapa de padronização), em percentagem, relativamente ao produto base (<i>PB</i>).	71
Figura 18. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final ao Tanque 14 (etapa de padronização), em percentagem, relativamente ao produto base (<i>PB</i>).	71
Figura 19. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final do produto A, em percentagem, relativamente ao produto base (<i>PB</i>) (etapa de evaporação).	72
Figura 20. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final do produto B, em percentagem, relativamente ao produto base (<i>PB</i>) (etapa de evaporação).	73
Figura 21. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final do produto C relativamente ao produto base (<i>PB</i>) (etapa de evaporação).	73

Figura 22. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final do produto D, em percentagem, relativamente ao produto base (<i>PB</i>) (etapa de evaporação).....	74
Figura 23. Diagrama de causa-efeito do problema da contínua perda de produto para a ETARI.....	76
Figura 24. Caracterização das soluções-padrão preparadas internamente, em percentagem, relativamente ao produto base (<i>PB</i>).	91
Figura 25. Caracterização dos arrastos realizados à linha de enchimento do tanque 14, após intervenção.	96
Figura A1. Fluxograma analítico para determinação da matéria seca de uma amostra.	109
Figura A2. Fluxograma analítico para determinação da matéria gorda de uma amostra.....	110
Figura A3. Diagrama de Gantt com a calendarização das tarefas.	113
Figura A4. Esquematisação do posicionamento da sonda de condutividade da marca JUMO no processo. (A) indica a marca que deverá estar alinhada com o sentido do fluxo (B).	118
Figura A5. Esquematisação do posicionamento da sonda de condutividade da marca Endress & Hauser no processo. As setas indicam a direção do fluxo.	118

Índice de Tabelas

Tabela 1. Composição do leite de vaca, em percentagem mássica, P	5
Tabela 2. Composição quantitativa dos vários tipos de leite em pó existentes	8
Tabela 3. Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5 CBO_7) de alguns produtos lácteos	17
Tabela 4. Concentração de alguns iões, C , presentes no leite de vaca que mais contribuem para a condutividade elétrica molar, λ	32
Tabela 5. Aplicação da ferramenta dos "5 Porquês", para identificação da causa raiz do problema enfocado	78
Tabela 6. Lista de ações definidas para as causas raiz identificadas na análise dos "5 Porquês"	81
Tabela 7. Definição do sinal de saída de cada sonda de condutividade, bem como da sua descrição .	82
Tabela 8. Definição do <i>set-point</i> das sondas de condutividade analógicas	84
Tabela 9. Gama de trabalho definida para as sondas de condutividade analógicas (σ)	87
Tabela 10. Condutividade elétrica (σ), e respetivo erro associado ($p=0,05$), característica dos vários produtos intermédios, a duas diferentes temperaturas 9 °C e 25 °C	88
Tabela 11. Solução-padrão utilizada na verificação das sondas de condutividade	90
Tabela 12. Lista das soluções-padrão sugeridas que deverão ser utilizadas na verificação das SCD ...	97
Tabela A1. Caracterização das amostras 1 e 2, recolhidas durante os AI e AF, na etapa de evaporação.....	111
Tabela A2. Caracterização das amostras 1 e 2, recolhidas durante os AI e AF, na etapa de padronização	112
Tabela A3. Listagem das sondas de condutividade da empresa alvo de estudo	114
Tabela A4. Valores obtidos da caracterização das amostras de nata	115
Tabela A5. Valores obtidos da caracterização das amostras de leite inteiro e da correspondente solução-padrão	115
Tabela A6. Valores obtidos da caracterização das amostras de leite pré-condensado e da correspondente solução-padrão	116
Tabela A7. Condutividade elétrica da água desmineralizada utilizada na preparação da solução-padrão	116

Lista de Símbolos e Siglas

Siglas

A1	Amostra 1
A2	Amostra 2
AF	Arrasto Final
AI	Arrasto Inicial
BAP	Bomba Alta Pressão
BPF	Boas Práticas de Fabrico
CAF	<i>Cavitation Air Flow</i> (Bomba de Cavitação Submergível)
CIP	<i>Cleaning In Place</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve and Control</i> (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar)
EMM	Equipamento de Monitorização e Medição
ETARI	Estação Tratamento Águas Residuais Industriais
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)
IT	Instrução de Trabalho
IVAA	Ir-Ver, Analisar, Atuar
OPL	<i>One Point Lesson</i>
PA	Produto A
PB	Produto B
PC	Produto C
PD	Produto D
PRO	Pré-Requisito Operacional
SBR	<i>Sequential Batch Reactor</i> (Reator Descontínuo Sequential)
SCD	Sonda de Condutividade
STD	Estandardização em Linha/Padronização
STI	Sala de Tratamento Intermédio
UE	União Europeia
UHT	<i>Ultra High Temperature</i>
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia

Variáveis e constantes

A	Área da superfície do eletrodo
a_w	Atividade da água
C	Concentração

CA	Critério de aceitação
CBO , CBO_5 , CBO_7	Carência Bioquímica de Oxigênio, Carência Bioquímica de Oxigênio ao fim de 5 dias, Carência Bioquímica de Oxigênio ao fim de 7 dias
CQO	Carência Química de Oxigênio
F	Constante de Faraday
G	Condutância
I_a	Incerteza associada
I	Corrente elétrica
k	Constante da célula
L	Distância entre eletrodos
m	Declive da reta
MG	Matéria Gorda
MS	Matéria seca
p	Pressão absoluta
PB	Produto Base
R	Resistência
$r(t)$	Sinal de referência
SNG	Sólidos Não Gordos
ST	Sólidos Totais
SV_{30}	<i>Sludge Volume after 30 min</i> (Índice Volumétrico de lamas ao fim de 30 min)
t	tempo
T	Temperatura; Temperatura absoluta
X_n	Valor medido na n -ésima medição
$x(t)$	Variável de entrada/ excitação
Y_n	Valor real ou verdadeiro definido ou calculado
$y(t)$	Variável de saída/ resposta ou desempenho do sistema
e	Carga elementar do ião
z	Número de valência do ião

Variáveis com letras gregas

ε	Erro do equipamento
η	Viscosidade dinâmica
λ	Condutividade molar iônica
σ	Condutividade elétrica

Expressões em latim

<i>et al.</i>	<i>et alii</i> (e outros)
<i>per capita</i>	Por cada indivíduo

1 INTRODUÇÃO

O fabrico de leite em pó revelou ser uma estratégia muito eficaz na criação de produtos com valor acrescentado. A remoção de água livre destes produtos torna-os menos perecíveis aos microrganismos, pelo que a sua durabilidade aumenta. Adicionalmente, a logística de transporte deste género alimentício é simplificada, devido à diminuição do seu peso e volume [1].

Contudo, existem vários desafios inerentes ao processamento do leite em pó, nomeadamente, a manutenção da eficiência do processo de produção. Esta é alcançada através da redução de desperdícios, mas mantendo sempre a qualidade do produto como principal objetivo [1].

1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

O leite é dos alimentos mais completos que existe sendo, portanto, uma importante fonte de energia e nutrientes para milhões de pessoas em todo o mundo. O leite de vaca continua a ser o preferencial para consumo humano, representando 81 % de todo o leite que mundialmente é produzido [2]. É esperado que a população cresça nos próximos anos e, como tal, haja um maior consumo de laticínios. Assim, até 2031 prevê-se que globalmente ocorra um aumento do consumo anual de laticínios de 0,4 %, *per capita* [2].

Devido à sua composição, o leite é um alimento perecível, pelo que desde há muitos anos este é processado, dando origem a alimentos com maior durabilidade, como por exemplo o queijo, a manteiga e o leite fermentado. Nos primórdios, foram colocadas pequenas quantidades de leite ao sol, produzindo assim, os primeiros produtos lácteos secos [3]. A indústria dos laticínios continua a apresentar todos estes produtos, e, concomitantemente existe uma busca constante pela inovação e desenvolvimento de novos produtos, que vão ao encontro das necessidades do consumidor atual. Neste sentido, foram desenvolvidos e introduzidos no mercado novos produtos, como é o caso do leite condensado, de uma vasta gama de leite em pó e de leite UHT (*Ultra High Temperature*), de produtos lácteos sem lactose, gelados, fórmulas para bebés, entre outros. Particularmente, o leite em pó tanto é utilizado pelos

consumidores finais, como constitui uma importante matéria-prima para outras indústrias alimentares [3].

Para uma empresa, a minimização da perda de produto decorrente do processo produtivo é essencial, quer em termos ambientais, quer económicos. Durante o processamento do leite em pó, são gerados vários resíduos, nomeadamente, durante o processo de limpeza/higienização de toda a instalação e, até mesmo, devido a falhas dos equipamentos e/ou fugas existentes [4]. Adicionalmente, ainda podem ser gerados subprodutos, como o leitelho e o soro do leite, que quando não são devidamente tratados constituem, também, um problema ambiental. Assim, por norma, as indústrias dos laticínios têm uma estação de tratamento de águas residuais, na qual são tratados os efluentes gerados. Estes efluentes, resultantes do processo de produção, são constituídos por gorduras, proteínas, carboidratos e outros nutrientes, que quando não são devidamente tratados, antes da sua deposição no meio ambiente, podem tornar-se tóxicos e prejudiciais [4]. Para tal, é realizada uma monitorização periódica aos efluentes, antes e após o tratamento, na qual é monitorizada a Carência Química de Oxigénio (*CQO*) e a Carência Bioquímica de Oxigénio (*CBO*), entre outros. Estes parâmetros são reveladores da qualidade da água, no que concerne à quantidade de matéria orgânica presente. Devido a estas questões, as indústrias têm mostrado uma crescente preocupação e procurado soluções para a minimização de resíduos gerados, não só pelo impacte ambiental causado, como também pelas questões económicas subjacentes. Apenas neste contexto são salvaguardados o sucesso e a sobrevivência das empresas. Para tal, existem várias ferramentas de melhoria contínua, utilizadas tanto na identificação da causa raiz do problema, como também na elaboração de um plano de resolução/mitigação do problema enfocado [5].

Com vista à redução da perda de produto observada no decurso do processo produtivo de leite em pó, foi realizado o presente trabalho, numa empresa de laticínios dos Açores. Para tal, com recurso a ferramentas de melhoria contínua, foi identificada a causa raiz e, posteriormente, foi traçado um plano que visava a sua minimização. Esta empresa produz leite em pó com diferentes características e, em menor quantidade, manteiga doce e ácida, sem sal. Para a produção de manteiga é utilizada a nata excedente da padronização da matéria gorda.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como principal objetivo a otimização de um processo de produção do leite em pó, através da diminuição dos desperdícios verificados ao longo da linha de produção. Para tal, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Caracterização das perdas de produto, observadas ao longo da linha de produção;
2. Identificação das causas, para a ocorrência destas perdas;
3. Planificação e implementação de um conjunto de medidas que visassem a redução das perdas observadas.

De forma a cumprir com o objetivo definido, aplicou-se a metodologia IVAA (Ir-Ver, Analisar e Atuar). Esta metodologia de melhoria contínua foi desenvolvida pela empresa e tem como base a DMAIC.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se subdividida em seis capítulos, iniciando com a apresentação do tema do projeto desenvolvido e com a explanação dos objetivos específicos. No segundo capítulo é efetuada a revisão bibliográfica do tema que servirá de enquadramento teórico a todo o trabalho desenvolvido. Assim, são abordados temas como o controlo analítico de amostras, sistemas de limpeza de equipamentos, dinâmica e controlo de processos, sistemas de medição numa indústria, o conceito de condutividade elétrica e exposição de algumas ferramentas de melhoria contínua. No que concerne ao Capítulo 3, é apresentado o caso de estudo aprofundado neste trabalho, pelo que neste capítulo são descritos o processo de produção do leite em pó e a estação de tratamento de águas residuais da empresa. No quarto capítulo é exposta e aplicada a metodologia adotada no decurso deste projeto, bem como o plano de amostragem para a recolha de amostras. No Capítulo 5 são evidenciados e discutidos os principais resultados do trabalho desenvolvida. Por fim, a dissertação termina com o Capítulo 6, no qual são sintetizadas as principais conclusões do projeto e são apresentadas algumas recomendações futuras.

2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O leite em pó é produzido a partir da remoção da água que constitui o leite fresco. Tal como em qualquer indústria, a manutenção de um processo otimizado é vital para garantir a sua viabilidade económica, bem como minorar o impacto ambiental. Assim, existem várias ferramentas de melhoria contínua que tanto são utilizadas na definição de um determinado problema, como na identificação das suas causas.

Neste capítulo, são apresentados alguns conceitos teóricos essenciais à compreensão do estudo desenvolvido. Deste modo, são abordados conceitos relacionados com o leite, o controlo analítico e sistemas de limpeza utilizados na indústria de laticínios, a dinâmica e controlo de processos industriais, condutividade elétrica do leite e, por fim, são expostas algumas ferramentas de melhoria contínua.

2.1 O LEITE

O leite é uma secreção branca produzida pelas glândulas mamárias dos mamíferos do sexo feminino. Existem mais de 4000 espécies de mamíferos, contudo, são consideradas como principais espécies de produção leiteira a vaca, a cabra, a ovelha e a búfala [3]. A sua principal função é satisfazer as necessidades fisiológicas e nutricionais dos neonatais. Desta forma, o leite constitui uma importante fonte de energia e confere proteção imunológica, sendo, por isso, considerado o alimento mais completo. Estas necessidades são específicas de cada espécie, o que condiciona a composição do leite. Adicionalmente, o leite apresenta uma constituição variável, de acordo com a fase de lactação, a alimentação e até com a raça do animal [6]. A fase de lactação compreende o período em que o animal fornece leite à cria, que no caso da vaca dura cerca de 300 dias. Durante este período, a produção de leite diminui, até atingir 15 % a 25 % do volume total. Nesta altura, a ordenha é interrompida e a vaca entra num período não lactante, que dura cerca de 60 dias. Após este período, inicia-se um novo ciclo de lactação [6]. Assim, da sua constituição faz parte a água, na sua maioria, e os sólidos totais,

nomeadamente as proteínas, a lactose, a matéria gorda, as vitaminas, particularmente a vitamina B12 e a vitamina D, e os minerais, entre os quais se destacam o cálcio e o fósforo e [7].

Na indústria de laticínios, a análise à composição do leite é frequentemente realizada através da quantificação dos sólidos não gordos, ou seja, aos sólidos totais são subtraídos os sólidos gordos (matéria gorda). Na Tabela 1 encontra-se sintetizada a constituição do leite de vaca.

Tabela 1. Composição do leite de vaca, em percentagem mássica, *P* (adaptado de Bylund *et al.*, 1995 [6])

Componente	Limites de variação (<i>P</i> /%)	Valor médio ($\bar{P}$ /%)
Água	85,5 a 89,5	87,5
Sólidos Totais:	10,5 a 14,5	13,0
Proteínas	2,9 a 5,0	3,4
Lactose	3,6 a 5,5	4,8
Matéria Gorda	2,5 a 6,0	3,9
Minerais	0,6 a 0,9	0,8

2.1.1 A INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

Devido ao seu valor nutricional, o ser humano inclui na sua dieta vários produtos lácteos, tais como leite pasteurizado ou fermentado, iogurte, queijo, manteiga, leite em pó, entre outros [2]. Em 2022, o maior consumidor de leite foi a Índia, tendo consumido 85 Mt, seguindo-se a UE (União Europeia) com 23,8 Mt. A nível mundial, a produção de leite e de produtos lácteos aumentou cerca de 1,1 %, em 2021, tendo-se verificado uma maior produção de leite de vaca (81 %), seguida pelo leite de búfala [8]. Adicionalmente, registou-se que o maior importador de produtos lácteos foi a República Popular da China, enquanto os principais exportadores foram a Nova Zelândia, os EUA e a UE. Assim, em 2021 registou-se, a nível mundial, importações na ordem das 10 Mt de laticínios, das quais se destacam o queijo, o leite em pó e o soro do leite em pó [2]. De acordo com a FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), é esperado que o consumo de leite aumente na próxima década, acompanhando, assim, o crescimento populacional previsto. O consumo de produtos lácteos processados varia consoante a região do mundo. Em particular, o queijo apresenta uma maior taxa de consumo na Europa e na América do

Norte, verificando-se até uma tendência de crescimento no seu consumo, para os próximos anos. Na Ásia, a manteiga não é apenas o produto lácteo mais consumido, como representa quase metade do consumo de produtos lácteos transformados. Por último, em África, o queijo e o leite em pó integral apresentam a maior percentagem dos produtos lácteos consumidos, sendo até esperado que o consumo do leite em pó desnatado aumente nesta região [2].

Contudo, Portugal não seguiu as previsões generalistas comunicadas pela FAO, no ano de 2021. Neste ano, Portugal foi responsável pela produção de 2 029 ML de leite, o que se traduziu numa redução de 0,5 %, em comparação com o ano transato. A produção do leite de vaca foi a que mais contribuiu para as estatísticas, contabilizando 1 928 ML (significando uma redução de 0,4 %, comparativamente a 2020). Este decréscimo foi justificado por uma conjuntura económica pouco atrativa para o setor de laticínios, tendo-se verificado um aumento dos custos de produção (energia, alimentos para animais, fertilizantes e fitofármacos), que não se refletiram, posteriormente, na cadeia de valor (o preço do leite, ao produtor, teve uma variação pouco significativa, de 0,8 %). Adicionalmente, verificou-se que em 2021 ocorreu uma redução de 8,2 % no consumo de leite, valor que superou o decréscimo da produção de leite, traduzindo-se no aumento do grau de autoaprovisionamento [9]. Desta forma, em 2021, contabilizou-se um aumento de 22,3 % nas exportações de leite e dos seus derivados, comparativamente ao mesmo período do ano transato. Todavia, apesar do decréscimo na produção de leite, o mesmo não se observou na produção dos seus derivados, tendo-se registado um aumento no volume de produção de queijo de vaca e de leite em pó. Mormente, em 2021 foram produzidas 38 kt de leite em pó, registando-se um aumento de 14,2 % [9].

2.1.2 O LEITE EM PÓ

Durante a Segunda Guerra Mundial, com o intuito de aumentar a durabilidade do leite e de assegurar o seu contínuo abastecimento às tropas combatentes, removeu-se a água que naturalmente o compõe, através de várias técnicas inovadoras à época. A diminuição da água livre em qualquer alimento torna-o menos perecível à atividade microbiana pelo que, em particular, a durabilidade do leite em pó acresce, geralmente, em 1 ano, comparativamente à do leite [10]. Adicionalmente, a logística de distribuição e de armazenamento é simplificada, através da redução do volume e do peso [11].

Nos alimentos, quando atingido o equilíbrio termodinâmico, a atividade da água (a_w) indica a interação da água com os restantes constituintes do alimento, sendo, portanto, uma medida direta do estado de associação dos componentes não aquosos à água. Um valor de a_w próximo de 1 indica uma elevada quantidade de água disponível, o que torna favorável a ocorrência de reações químicas e de processos biológicos, nomeadamente o desenvolvimento e proliferação de microrganismos no alimento [12]. Por conseguinte, a diminuição de a_w de um alimento, através da redução da água disponível, revelou ser uma estratégia inovadora, no século XX, na preservação e conservação de vários alimentos, em particular do leite. Todavia, a eliminação da água é realizada através de processos que requerem um tempo de retenção mais longo e uma temperatura de tratamento específica, o que poderá comprometer a qualidade nutricional deste alimento [13].

A remoção de água dos alimentos favorece o seu transporte, pois verifica-se uma redução de peso e de volume, o que se irá refletir na redução dos custos de embalagem e de expedição. Não obstante, é necessário ter em consideração que a remoção excessiva de água contribui para a degradação do alimento, pois existe uma camada monomolecular de água que reveste as superfícies internas e externas do leite em pó, que é responsável pelo aumento da estabilidade durante o armazenamento [14].

Segundo o Decreto-Lei n.º 62/2017, de 9 de junho, o “leite totalmente desidratado” é definido, como sendo: “o produto pulverulento obtido diretamente por eliminação da água do leite, do leite total ou parcialmente desnatado, da nata ou de uma mistura destes produtos e caracterizado por um teor de humidade igual ou inferior a 5 %, em massa, do produto acabado.” Assim, de acordo com a composição em matéria gorda do leite, que é utilizado na produção do leite em pó, obtém-se leite em pó que difere na sua constituição. Estes são classificados de acordo com o seu teor de gordura (Decreto-Lei n.º 62/2017, de 9 de junho):

- Leite em pó rico em matéria gorda: leite desidratado que contém, em massa, pelo menos 42 % de matéria gorda;
- Leite em pó gordo: leite desidratado que contém, em massa, pelo menos 26 % e menos de 42 % de matéria gorda;
- Leite em pó parcialmente desnatado: leite desidratado que contém, em massa, mais de 1,5 % e menos de 26 % de matéria gorda;

- Leite em pó magro: leite desidratado que contém, em massa, um máximo de 1,5 % de matéria gorda.

Tipicamente, o leite em pó apresenta um teor de humidade máximo de 5 % e, relativamente aos sólidos não gordos, é constituído, no mínimo, por 34 % de proteína [15]. A composição média do leite em pó varia de acordo com o tipo/finalidade deste produto (Tabela 2).

Tabela 2. Composição quantitativa dos vários tipos de leite em pó existentes (adaptado de Wang *et al.*, 2019 [16])

Constituintes/%	Leite em pó gordo	Leite em pó magro	Leite em pó parcialmente desnatado	Leite em pó rico em matéria gorda	Fórmula de leite para bebés
Humidade	2	3	3	2	3
Gordura	27	1	5	73	27
Lactose	38	51	48	13	54
Proteína	26	36	34	9	12

O leite em pó é um importante ingrediente utilizado em vários alimentos prontos a comer, estando muito presente nas refeições do quotidiano, nomeadamente nas fórmulas de leite para bebés, nos chocolates, na granola, em misturas de bebidas, em temperos, nas barras proteicas e em produtos de pastelaria [13].

2.1.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LEITE EM PÓ

O processo de produção do leite em pó consiste, essencialmente, na remoção quase total da água que naturalmente compõe o leite, sendo para isso consumidas várias utilidades, tais como vapor de água, água quente, água fria, eletricidade e ar comprimido, o que torna o processo produtivo economicamente dispendioso. Para além disso, torna-se um desafio manter as propriedades naturais do leite, nomeadamente a cor, o sabor, a solubilidade em água e o valor nutricional [17].

O processo produtivo do leite em pó pode ser dividido em 5 fases, que constam na Figura 1. Numa primeira fase ocorre a receção, controlo de qualidade e armazenamento da matéria-prima, à temperatura

de refrigeração (4 °C). Seguidamente, é realizado um pré-tratamento ao leite fresco, que consiste na padronização/separação da matéria gorda, seguida de pasteurização. Esta etapa é essencial, dado que nela é acertada a concentração de matéria gorda do produto final, de acordo com as especificações do cliente. Para além disso, verifica-se que a variação da composição de matéria gorda contribui para a modificação das características sensoriais do produto e, conseqüentemente, compromete a eficiência dos processos subsequentes [18]. De modo a reduzir o consumo de utilidades, nomeadamente de energia, a pasteurização é normalmente realizada em etapas onde já seria realizado um aquecimento do leite [19]. Dado que o leite se encontra a uma temperatura superior à de refrigeração é necessária, conseqüentemente, menos energia para que este atinja a temperatura de pasteurização definida.

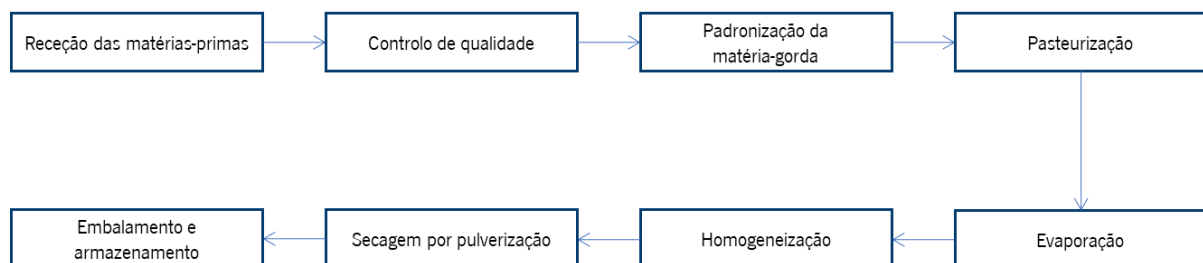


Figura 1. Diagrama de blocos das principais unidades processuais do processo de produção do leite em pó.

Numa terceira fase ocorre a concentração do leite em 50 % de conteúdo sólido, por meio de processos de evaporação, de modo que este atinja a viscosidade desejada na fase seguinte, e, conseqüentemente, se verifique uma redução do consumo de energia, necessária na etapa de secagem. Esta etapa ocorre, por norma, sob condições de vácuo, a temperaturas que podem variar entre os 40 °C e os 70 °C. Para tal, são utilizados permutadores de carcaça-e-tubos (*falling film evaporators*), aos quais é acoplado um compressor térmico e mecânico de vapor [19]. De forma a uniformizar os glóbulos de gordura na emulsão, bem como a evitar que ocorram bloqueios durante a secagem, é realizada a homogeneização do leite pré-condensado, que se obtém após a evaporação da água.

Na quarta fase ocorre a secagem do leite, a qual é realizada, usualmente, por pulverização (*spray drying*), devido às baixas temperaturas empregues e tempos de residência. É nesta fase que ocorre efetivamente a produção do leite em pó. Durante este processo, são realizadas três fases subsequentes: a atomização do produto, a evaporação da humidade e a separação de partículas do ar de exaustão. É importante que o leite esteja concentrado, pois esta etapa é energeticamente dispendiosa e, quanto mais

bem-sucedida for a etapa de evaporação/concentração, menor custo terá o processo. Nesta etapa, o teor de água do leite é reduzido para valores entre 3 % e 7 %.

Por fim, na vez produzido o leite em pó, este é embalado e armazenado em local seco e fresco e ao abrigo da luz solar [6].

2.2 CONTROLO ANALÍTICO NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

Na indústria dos laticínios, é usual analisar o leite através da sua composição em água, em sólidos não gordos (*SVG*) e em sólidos totais (*ST*). Os principais constituintes do leite, que se incluem nos *ST*, são a matéria gorda, as proteínas, a lactose e os minerais. Adicionalmente, o termo *SVG* é utilizado para referenciar os sólidos que compõem o leite, com a exceção da matéria gorda.

A composição química do leite é ligeiramente alterada quando este é submetido, essencialmente, a processos térmicos e a ambientes com elevada exposição solar, sendo a β -lactoglobulina a proteína termicamente mais sensível. Contudo, modificações nas condições de equilíbrio de pH, de teor proteico e na concentração de sais, também provocam a desnaturação das proteínas que compõem o leite [6]. Assim, a pasteurização é responsável pela desnaturação de 5 % a 15 % das proteínas do leite, sendo mais evidente em produtos com um fator de concentração mais elevado, isto é, quando são sujeitos a processos de remoção de água [12]. A submissão do leite a temperaturas superiores a 100 °C, fomenta, ainda, a reação entre a lactose e as proteínas, resultando na alteração da cor, para tons mais acastanhados. Esta reação é conhecida por reação de Maillard e ocorre entre os grupos amino, dos aminoácidos, e os grupos aldeído dos hidratos de carbono do leite. Adicionalmente, a matéria gorda é também um elemento termicamente sensível, dado que o aumento da temperatura promove a libertação da gordura livre, levando os glóbulos de gordura a colidirem entre si e, por fim, a sedimentarem, formando incrustações. Estas reações são irreversíveis e contribuem para a alteração da composição química e nutricional do leite [6]. Relativamente às vitaminas e minerais que constituem o leite, não se verificam alterações significativas com o aumento da temperatura [6]. Complementarmente, durante o armazenamento, a matéria gorda e as proteínas também podem sofrer reações químicas, nomeadamente oxidação e lipólise. Estas reações são responsáveis por alterações no sabor característico dos produtos lácteos. Ademais, as propriedades físico-químicas do leite fresco diferem de acordo com a

raça, o estado de lactação, a alimentação, as mudanças sazonais, a frequência e sistema de ordenha utilizado, a saúde, a idade e a genética do animal [14].

A indústria de laticínios garante a qualidade e segurança dos seus produtos, através do controlo analítico, no qual são monitorizadas as características físicas, químicas e microbiológicas do leite e dos seus derivados. Historicamente, o pagamento do leite é realizado, maioritariamente, atendendo ao teor de matéria gorda (*MG*) que o compõe. Neste sentido foram várias as pressões para o desenvolvimento de métodos analíticos fidedignos capazes de a quantificar [3]. Adicionalmente, é comum analisar o leite, bem como os seus derivados, quanto ao seu teor de sólidos totais (*ST*), através de métodos gravimétricos. A análise ao teor de *ST* consiste na monitorização da massa do material residual, após a amostra ser submetida a processos de evaporação, seguida de secagem, a temperatura controlada [20]. Não obstante, existem várias técnicas de análise específicas para determinar o teor proteico, de vitaminas e de minerais, como por exemplo HPLC (*High-Performance Liquid Chromatography*), ICP (*Inductively Coupled Plasma*), entre outras [14]. Uma vez que estas têm um custo mais elevado, a frequência da sua realização é inferior, comparativamente à monitorização do teor de *ST*, e de *MG*, e nem todos os laboratórios estão preparados para a realizar.

2.2.1 MATÉRIA GORDA

O leite é um exemplo de emulsão, na qual os glóbulos de gordura estão suspensos em grandes quantidades de água. O diâmetro médio dos glóbulos de gordura é de 3 μm a 4 μm , e existem cerca de 15 mil milhões, por cada mL de leite. A gordura do leite é composta, predominantemente, por triglicéridos, seguindo-se os di e monoglicéridos, ácidos gordos, esteróis e carotenoides (responsáveis pela coloração amarelada) e vitaminas (A, D, E e K), entre outros componentes, com menor significância. Os glóbulos de gordura pertencem ao grupo químico dos ésteres, sendo compostos por álcoois e ácidos gordos [6].

No século XIX, com o desenvolvimento das cooperativas de laticínios, a remuneração do leite passou a ser realizada atendendo à concentração de matéria gorda. Desta forma, tornou-se inevitável o desenvolvimento de métodos capazes de quantificar este constituinte. Primeiramente, surgiu o método de Soxhlet, em 1879, sendo ainda hoje um método de referência. Este método consiste na colocação de

uma amostra, previamente pesada de produto sob um filtro de papel espesso, no qual ocorre uma extração contínua com éter etílico [3]. Este é um processo moroso, podendo demorar até 24 h. Após a evaporação do éter, o resíduo de gordura permanece no frasco e, recorrendo ao método gravimétrico, é calculada a percentagem mássica de matéria gorda que compõe o produto [3]. Contudo, o método de Soxhlet não é o mais indicado para líquidos, em particular o leite e, por isso, foram desenvolvidos vários métodos de extração mais indicados para a quantificação da matéria gorda destes produtos. Neste sentido, em 1885 Röse criou um método novo, que depois foi modificado, em 1892, por Gottlieb, ficando conhecido como o método Röse-Gottlieb. Atualmente, este é ainda um método de referência e muito utilizado na determinação da matéria gorda do leite, bem como dos seus derivados. Neste método, a gordura livre é extraída do leite, através da quebra das ligações existentes na emulsão entre os glóbulos de gordura e a água. Para tal, é realizado um tratamento com NH_4OH e etanol. O método Röse-Gottlieb, apesar de ser mais desenvolvido e específico que o de Soxhlet, consiste ainda numa análise lenta, que demora cerca de 8 h, pelo que, em 1922, Timothy Mojonner desenvolveu equipamentos e utensílios capazes de acelerar e de simplificar este processo analítico [3].

Atualmente, a matéria gorda é determinada de acordo com o método de referência descrito na norma ISO 23318:2022, que se baseia no princípio de Röse-Gottlieb. A determinação da matéria gorda, extraída de uma amostra, é realizada por determinação gravimétrica. Contudo, segundo o método de referência, primeiramente, ocorre uma dissolução entre os complexos lipídeo-proteína. Esta é provocada pela combinação de calor como o tratamento da amostra com uma solução de etanol e amoníaco. Seguidamente, a extração da gordura ocorre com éter dietílico e éter de petróleo e, por fim, a remoção dos solventes é realizada por evaporação [21].

2.2.2 SÓLIDOS TOTAIS/MATÉRIA SECA

Por norma, o termo Sólidos Totais (*ST*) é utilizado para a matéria-prima, ou seja, para o leite inteiro, enquanto a Matéria Seca (*MS*) ou conteúdo total é utilizado para produtos compostos, que derivam da matéria-prima. Contudo, é utilizado o mesmo método analítico para determinação dos sólidos totais e matéria seca.

Segundo as normas internacionais, como a ISO 6731:2010 e a ISO 6734:2010, a determinação da Matéria Seca de uma amostra consiste na pesagem da fração mássica residual, após exposição da amostra a processos térmicos específicos. Estas normas fundamentam-se num método gravimétrico, ou seja, é calculada a diferença mássica, em percentagem, da amostra antes e após a remoção da água. Desta forma, todo o conteúdo que não evapora constitui a Matéria Seca da amostra [20]. O método analítico utilizado na determinação dos sólidos totais consiste na pré-secagem do produto na presença de areia sob um banho-maria ou uma placa de aquecimento, à qual se segue a secagem final, até estabilização do peso da amostra, numa estufa à temperatura entre 103 °C e 105 °C. Os resultados são expressos em percentagem mássica, segundo a Equação 1 [22] [23]. Aqui, m_0 representa a massa da cápsula, m_1 refere-se à massa da cápsula com amostra antes da pré-secagem, e m_2 representa a massa da cápsula com a amostra após secagem.

$$ST/\% = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Contudo, este método apresenta algumas dificuldades que poderão condicionar os resultados, como por exemplo: a não homogeneidade da amostra, conduzindo a um valor não verídico; é um método que carece de muito tempo, pelo que a obtenção de resultados rápidos não é possível, e; a mínima perda de produto durante a análise invalida logo os resultados. Mormente, este é um método, no qual a manipulação das amostras apenas deverá ser efetuada sob condições controladas de temperatura e de humidade [20].

2.3 LIMPEZA DE EQUIPAMENTOS NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

Nas indústrias alimentares, em particular na indústria de laticínios, a limpeza e higienização dos equipamentos e das linhas de produção é, quase sempre, realizada com recurso à técnica de limpeza CIP (*Cleaning in Place*). Esta é uma técnica concebida para remover as impurezas/resíduos resultantes do processo de produção, de forma a impedir o crescimento microbiano, sem ser necessário a desmontagem dos equipamentos [24].

Tipicamente, o sistema CIP é faseado e utiliza água quente, uma solução alcalina (por exemplo, hidróxido de sódio) e uma solução ácida (por exemplo, ácido nítrico). A solução alcalina utilizada visa a remoção da matéria orgânica (matéria gorda e proteína), enquanto o ácido nítrico, devido às suas propriedades de oxidante forte, é utilizado na remoção da matéria inorgânica (fosfato de cálcio e outros sais). Em alguns casos, no final do processo de CIP, ainda pode ser utilizada uma solução extra desinfetante. Esta solução é utilizada com o intuito de inativar os microrganismos que ainda permaneçam nos equipamentos [25]. Os ciclos de CIP são empregues automaticamente, após cada ciclo de produção, de acordo com um programa, no qual se encontra pré-definido o tempo/temperatura empregues na técnica. Adicionalmente, a concentração do agente de limpeza utilizado, bem como o grau de turbulência da solução e as características da superfície a ser limpa, são dos fatores mais determinantes para a eficácia do CIP. Desta forma, os sistemas CIP apresentam uma eficácia variável no que concerne à eliminação de microrganismos que se aderem e desenvolvem nas superfícies, sendo imprescindível a sua otimização e adaptação às instalações da fábrica [25]. Em particular, os tempos de residência das soluções e de enxaguamento, bem como as temperaturas das soluções utilizadas, são otimizadas e adaptadas para as diferentes condições e características de funcionamento observadas nas fábricas. Não deve ser descurada a constante monitorização e avaliação da eficácia do sistema CIP [6].

Por norma, o sistema CIP é faseado em 5 etapas, com tempos de enxaguamento e circulação exclusivos ao comprimento da tubagem e às características do equipamento a ser limpo. Contudo, o sistema de automação do CIP poderá basear-se em técnicas de medição da concentração do meio para controlo da limpeza. Assim, o sistema CIP tem início com um pré-enxaguamento, no qual ocorre um arrasto, por forma a remover o máximo de sujidade não incrustada. A água que normalmente é utilizada no enxaguamento encontra-se à temperatura ambiente, todavia, em situações de limpeza mais difíceis pode ser utilizada água quente. Segue-se a lavagem com uma solução alcalina, capaz de remover a matéria orgânica residente nas instalações. Para tal, são utilizadas soluções a uma temperatura variável entre os 70 °C e os 80 °C, que entram em recirculação devido aos elevados tempos de residência necessários. Após a lavagem com a solução alcalina, é realizado um pós-enxaguamento, à temperatura ambiente. Esta pré-lavagem permite a não contaminação da solução ácida, que é reutilizada em ciclos posteriores. A 4.^a etapa consiste na aplicação da solução ácida, a qual poderá estar à temperatura ambiente ou a temperaturas variáveis entre os 55 °C e os 80 °C. Esta etapa apresenta um duplo objetivo,

o de neutralizar e remover os resíduos da solução alcalina, que poderiam formar películas nos equipamentos (não removíveis pelo enxaguamento de água) e a remoção de depósitos minerais existentes nas instalações. Por fim, o ciclo de CIP termina com um pós-enxaguamento, com água [25]. Dependendo das características da fábrica poderá ser utilizada água da rede pública ou água desmineralizada. Desta forma, após a conclusão de cada ciclo CIP, as linhas de produção ficam preenchidas com água, até que se dê início a um novo ciclo de produção. Nesta altura, ao ser introduzido o produto lácteo nas linhas, ocorre um arrasto, saindo a mistura (água com produto lácteo) no sistema de drenagem. Esta mistura pode ser recolhida num tanque separado, para posterior processamento diferencial [6].

2.3.1 MONITORIZAÇÃO DOS EFLUENTES GERADOS

A indústria dos laticínios utiliza uma quantidade elevada de água, quer durante o processo de produção, quer nos procedimentos de limpeza necessários (CIP), pelo que é gerada uma quantidade significativa de efluentes [4]. Por esta razão, é considerada uma das indústrias mais poluidoras, sendo necessário a adoção de várias medidas que revertam a situação. As águas residuais, resultantes do processo de produção, necessitam de tratamentos antes de serem descartadas nos cursos hídricos, uma vez que os resíduos lácteos, quando em elevadas concentrações, são tóxicos para a vida aquática, nomeadamente, para algumas espécies de algas e peixes. Assim, quando sujeitas a estas condições, algumas bactérias e algas revelam uma taxa de crescimento elevada, o que resulta num consumo descontrolado de oxigénio. Devido ao crescimento desequilibrado, forma-se uma camada densa de algas suspensa, que impede a penetração da luz solar, colocando em risco a vida subaquática [4]. A variação do volume de águas residuais geradas depende de vários fatores, como da dimensão da fábrica, da tecnologia utilizada, da eficácia e complexidade do sistema CIP, das boas práticas de fabrico (BPF), quando precariamente empregues, entre outros. Por outro lado, a aplicação correta e eficiente das BPF é capaz de diminuir o volume de efluentes gerado. Atualmente, considera-se que é gerado 1 m³ de efluente por cada tonelada de leite produzido [4].

Os efluentes gerados na indústria de laticínios são, maioritariamente, constituídos por compostos orgânicos (proteínas, matéria gorda e lactose), dos quais cerca de 1/3 é material dissolvido, 1/3 encontra-se na forma coloidal e os restantes 1/3 são substâncias suspensão; em menor quantidade,

estão presentes compostos inorgânicos (minerais que compõem os produtos lácteos) [6]. Estes efluentes provêm, essencialmente: das águas de enxaguamento às linhas de produção e equipamentos envolvidos, que estão em contacto direto com o produto lácteo, bem como outros efluentes do CIP; do soro de leite, prensagens e outros subprodutos; de derrames de leite, provocados pelo mau funcionamento dos equipamentos e, até mesmo de erros operacionais [4]. Adicionalmente, durante o processamento do leite, a água que é utilizada no arrefecimento, bem como a resultante dos condensados formados no processo de evaporação do leite e/ou do soro do leite é, normalmente, incluída nos resíduos resultantes do processo. Embora esta água formada a partir da secagem do leite e do soro contenha substâncias voláteis e algumas gotículas de produto lácteo, a concentração de poluentes presente é muito baixa. Por esta razão, após um pré-tratamento mínimo, esta água pode ser reutilizada nas instalações, desde que não entre em contacto direto como produto [4]. Por norma, a quantidade de substâncias orgânicas presentes nos efluentes é determinada sob a forma de:

- Carência Bioquímica de Oxigénio (*CBO*)
- Carência Química de Oxigénio (*CQO*)
- Carbono Orgânico Total (*TOC*)

A Carência Bioquímica de Oxigénio é um indicador que mede as substâncias biologicamente degradáveis nas águas residuais, por microrganismos aeróbios. É uma medida de oxigénio consumido pelos microrganismos, durante um período de 5 d (*CBO₅*) ou de 7 d (*CBO₇*), no qual ocorre decomposição dos agentes poluentes orgânicos presentes nas águas residuais, a 20 °C. A variação dos valores de *CBO* de uma amostra de águas residuais varia de acordo com a composição dos resíduos presentes, do programa de produção implementado e do funcionamento e construção da unidade industrial [6]. Na Tabela 3 encontram-se alguns valores médios típicos de *CBO₅* e de *CBO₇* para os vários produtos lácteos.

A Tabela 3 evidencia que a concentração de *CBO* aumenta com o aumento da matéria gorda presente no efluente, revelando que a presença desta é um problema na eficiência das estações de tratamento, sendo necessárias etapas adicionais para a remoção destes compostos orgânicos. Por outro lado, a Carência Química de Oxigénio indica a quantidade de poluente, presente no efluente, passível de ser oxidada, por um oxidante químico. Para este fim, é usual utilizar ácidos fortes, a temperaturas

elevadas (capazes de assegurar a oxidação completa), como por exemplo dicromato de potássio ou permanganato de potássio. A quantidade de oxidante consumida, durante a reação, indica o teor de substâncias orgânicas presentes no efluente e é convertida na quantidade correspondente de oxigénio [6]. Por norma, as indústrias dos laticínios apresentam uma *CQO* que varia entre 3,7 g/L e 4,02 g/L [4].

Por fim, o Carbono Orgânico Total é outro indicador da quantidade de matéria orgânica presente na amostra. Este parâmetro indica a concentração de dióxido de carbono produzida durante a combustão da amostra [6].

Tabela 3. Carência Bioquímica de Oxigénio (*CBO₅* *CBO₇*) de alguns produtos lácteos (adaptado de Bylund *et al.*, 1995 [6])

Produto	<i>CBO₅</i> /(g/L)	<i>CBO₇</i> /(g/L)
Nata (40 % gordura)	400	450
Leite Gordo (4 % gordura)	120	135
Leite magro (0,05 % gordura)	70	80
Soro de leite (0,05 % gordura)	40	45
Soro de leite concentrado (60 % água dispersa)	400	450

Os compostos inorgânicos que compõem os efluentes são provenientes dos sais presentes nos produtos lácteos. Geralmente, a presença destes sais não é de relevo, pelo que, os atuais processos de tratamento de efluentes, se concentram apenas na redução de azoto, dos sais de fósforo e dos metais pesados. Estes sais são os mais preocupantes, dado que, em concentrações elevadas, constituem o alimento de vários organismos (por exemplo, algas), representando um problema ambiental [6]. Os efluentes gerados pela indústria de laticínios contêm cobre, cerca de 10,04 mg/kg e zinco, cerca de 82,41 mg/kg [4].

2.4 DINÂMICA E CONTROLO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Recentemente, a indústria de laticínios tem vivenciado várias mudanças, das quais se destacam a sua expansão e o aumento na produção. Uma das principais razões apontadas, entre os estados membros da União Europeia, foi a abolição de quotas existentes para a produção de leite, em 2015 [26].

Com o aumento do volume de leite a ser processado foi essencial tornar vários dos processos automatizados, integrando na indústria dos laticínios uma rede complexa de atividades. Assim, em cada linha do processo são vários os fenómenos físico-químicos que coexistem e têm de se combinar com a automação [27]. Na automação, todas as ações necessárias ao controlo de um processo, de forma eficiente, são executadas por um sistema de controlo, que tem por base as instruções programadas e pré-definidas. O controlo automático distingue-se por reduzir tanto quanto possível a ação humana nas várias atividades técnicas. Desta forma, existe uma redução no custo da mão de obra, o que permite o crescimento da empresa e contribui para uma melhoria na qualidade de vida dos trabalhadores, uma vez que diminui os riscos de trabalho, ao mesmo tempo que permite a redução do horário laboral [28]. Adicionalmente, a mecanização desta indústria conduziu ao aumento do número de operações executadas, pelo que foi necessário instalar sistemas de válvulas mais complexos e vários motores e sensores, que têm de trabalhar em conjunto. O controlo destes sistemas, evoluiu passando a ser realizado à distância, isto é, as válvulas, que anteriormente eram controladas manualmente, foram substituídas por válvulas elétricas e pneumáticas; os interruptores para ativação de válvulas, bombas, agitadores, entre outros, foram montados em painéis de controlo; os transmissores foram instalados de forma a transmitirem leituras do processo (pressão, nível, temperatura, pH, fluxo, condutividade elétrica, entre outros) [6]. Numa indústria, onde existe o conhecimento aprofundado dos produtos, do processo e dos equipamentos envolvidos, a utilização correta da automação permite o aumento da segurança, pelo facto do processo de controlo ser operado e monitorizado de uma forma padronizada e; a redução e controlo das perturbações ao sistema. Adicionalmente, existe maior qualidade do produto, uma vez que todas as etapas do processo são operadas de forma uniformizada, o que garante a padronização da qualidade do produto final. Além disso, verifica-se uma diminuição de perdas durante o processo de produção e, concomitantemente, uma minimização do consumo de utilidades, soluções de limpeza e perda de produto [6].

Define-se um sistema, T , como sendo a combinação de vários componentes, que se conectam entre si e atuam num conjunto, de forma a realizar uma determinada tarefa. Um sistema apenas consegue realizar uma determinada tarefa se excitado por um sinal de entrada adequado. Na Figura 2 encontra-se representado o conceito de sistema.



Figura 2. Diagrama de um sistema com as variáveis *input* e *output* representadas.

Num sistema, a variável de saída, $y(t)$, se denomina por resposta ou desempenho do sistema e, simbolicamente, está relacionada com a variável de entrada $x(t)$, segundo a Equação 2 [28].

$$y(t) = T x(t) \quad \text{Equação 2}$$

Adicionalmente, um dado sistema T que se encontra sob controlo, perante um sinal desajustado $[y(t)]$ é desencadeado um sinal adequado $[x(t)]$, de modo a minimizar a perturbação. Neste caso, o sinal de entrada é denominado por sinal de controlo, o que permite concluir que o controlo de um sistema passa pela definição do sinal $x(t)$. Existem dois tipos de sistema de controlo, os sistemas de malha aberta (representado na Figura 3 A) e os sistemas de malha fechada (Figura 3 B).

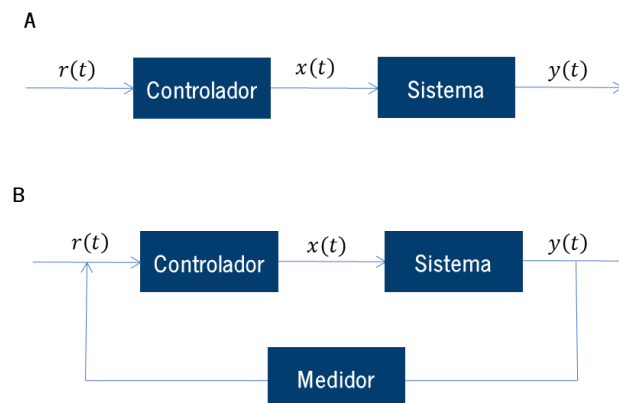


Figura 3. Representação dos dois tipos de sistema: (A) sistema em malha aberta; (B) sistema em malha fechada.

No primeiro caso, estes sistemas são caracterizados por apresentarem uma entrada $x(t)$ que não depende da saída $y(t)$, isto é, $x(t)$ não é uma função de $y(t)$. Por outro lado, nos sistemas em malha fechada, a entrada, $x(t)$, depende da saída, $y(t)$, isto é, $x(t)$ é em função de $y(t)$ [28]. Nos sistemas de controlo, o sinal $x(t)$ representa a saída de um novo componente, o controlador, que é excitado por um sinal externo $r(t)$, denominado por sinal de referência. Este sinal de referência controla

a saída, $y(t)$ do sistema de acordo com o definido. Assim, nos sistemas de controlo, é de extrema importância a adoção de um controlador adequado ao sinal de saída definido. Particularmente, nos sistemas em malha aberta, o controlador é excitado apenas pelo sinal de referência $r(t)$ e é projetado para que o sinal de saída, $x(t)$, seja o sinal de entrada indicado para sistema sob controlo, que desencadeará a resposta desejada, $y(t)$. Por outro lado, num sistema em malha fechada, o controlador é excitado tanto pelo sinal de referência, $r(t)$, como pelo sinal de saída $y(t)$. Desta forma, o sinal de controlo depende de ambos os sinais [28]. Por fim, os sistemas de controlo visam a supressão de perturbações externas, manter a estabilidade do processo e otimizar o seu desempenho.

Em dinâmica e controlo de sistemas, as variáveis de medida são enviadas, eletronicamente, a um controlador, no qual existe um valor de referência (*set-point*). O controlador compara o valor medido com o *set-point* definido e adota medidas corretivas adequadas, calculando o valor de saída do controlador e transmitindo-o como um sinal eletrónico à válvula de controlo. Neste sentido, a definição de um correto valor de *set-point* é essencial, no que concerne à diminuição do desperdício numa indústria. Em contexto industrial, normalmente, trabalha-se com um intervalo de *set-point*, limitado por um valor máximo e mínimo, ao invés de um valor fixo [29]. O início e fim de cada ciclo de produção, a ocorrência de perturbações, bem como a transição para a produção de outros produtos constituem exemplos de sistemas dinâmicos, dado que estes processos apresentam comportamentos não-estacionários. Assim, o principal objetivo é o controlo destes processos, isto é, manter as condições operacionais dentro dos limites definidos. Desta forma é assegurada a qualidade do produto e os padrões ambientais e económicos impostos. Industrialmente, os controladores mais utilizados são os controladores com ação Proporcional, Integral e Derivativa (controladores PID), como forma de minimizar e eliminar erros. Estes controladores antecipam a tendência futura do erro, desencadeando uma ação de controlo proporcional à taxa de variação do erro [29].

Um controlador que se insere num sistema automático desempenha as seguintes tarefas:

- Controlo Digital;
- Controlo Analógico;
- Monitorização do processo;
- Gestão de informações.

No controlo digital, os equipamentos trabalham apenas com sinais digitais, o que significa que apenas lhes é possível dois estados, ligado/desligado (por exemplo, abertura/fecho de uma válvula). Assim, podem ser definidos diferentes níveis de automação, como: o controlo à distância, a partir de um painel de controlo (este nível é apenas uma extensão do controlo manual, não devendo, portanto, ser incluído num sistema automático); o controlo em grupo, no qual um conjunto de operações são controladas em simultâneo (por exemplo, um conjunto de válvulas sob um tanque); o controlo de funções, como é o caso da abertura ou fecho das linhas de produção ou o controlo da agitação num determinado tanque; e; o controlo em sequência, no qual ocorre a execução de várias tarefas sequencialmente e segundo uma determinada ordem (por exemplo, sistema CIP, seleção de rotas que os vários produtos devem seguir) [6].

Em oposição, no controlo analógico, os sinais, provenientes de uma unidade de controlo, são analógicos. Este tipo de controlo varia continuamente com o tempo e é utilizado, por exemplo, para controlar o vapor de água que é enviado para um pasteurizador. Para tal, é utilizado, por norma, um controlo por antecipação (controlo por *feedback*), no qual o sinal proveniente do transmissor de temperatura de pasteurização, é enviado para a unidade de controlo. Particularmente, na indústria dos laticínios, o controlo analógico é muito utilizado, devido à sua simplicidade e ao baixo número de circuitos analógicos necessários. Este tipo de controlo pode ser utilizado em pasteurizadores, em sistemas de pesagens (com adaptação para diferentes produtos, através da introdução de receitas), no controlo do caudal de bombeamento e na padronização da matéria gorda ou da matéria seca. Complementarmente, podem ser utilizados os dois sistemas de controlo, o analógico e o digital. Por exemplo, um sistema analógico pode ser utilizado para controlo da temperatura num pasteurizador, enquanto é integrado um sensor digital que monitoriza a temperatura. Neste caso, o sensor reage de imediato perante a quebra de temperatura, abaixo do valor de *set-point* definido e um sinal é, então, transmitido para a unidade de controlo e o fluxo do pasteurizador é alterado [6].

A monitorização do sistema consiste no controlo dos vários estados do processo e caso ocorra alguma falha é acionado um alarme. Para tal, é utilizado o controlo por antecipação, no qual os sinais são projetados para monitorização simples de certos parâmetros críticos, para o registo de algumas condições de falhas e para o reinício automático de funções, perante a correção de uma falha. Assim,

uma característica importante da monitorização é o autodiagnóstico, isto é o sistema de controlo encontra-se numa constante autoverificação [6].

Por fim, a gestão da informação é possível devido ao uso dos computadores, que incrementaram a produtividade tanto do chão de fábrica, quanto a nível da gestão. Os sistemas modernos que são utilizados têm a capacidade de reunir e analisar todos os dados, apresentando-os de uma forma que se torna possível a tomada de decisões simples e mais rapidamente. A gestão de informações, na indústria de laticínios, é utilizada por exemplo para registo de dados, sendo possível a recuperação de vários dados durante o processo e o rastreio de vários produtos utilizados na produção [6].

2.4.1 INSTRUMENTAÇÃO

Os processos industriais, atualmente, têm integrado um controlador, contudo, são necessários outros elementos, nomeadamente medidores ou sensores, transdutores ou transmissores e linhas de transmissão. Um processo que apresente um controlo por antecipação, agrega três funções importantes: a medição da variável controlada, o ajuste da variável manipulada e a transmissão do sinal entre os componentes. Para tal, é essencial uma interconexão entre o controlador (ou vários controladores) e o sistema de controlo computadorizado, que consiste em todas as medições, manipulações e transmissões [29]. Desta forma, em qualquer indústria e, em especial, na indústria de laticínios existem milhares de variáveis no processo que necessitam de ser controladas. Para tal, é recorrente a medição contínua *online*, a cada segundo ou minuto, dependendo do definido. Adicionalmente, existe o controlo do produto no laboratório, contudo, este é realizado com uma frequência muito menor. Desta forma, a manutenção precisa e confiável dos sistemas de medição é essencial para manter a eficiência do processo [29]. É frequentemente necessário converter um sinal de um instrumento noutra tipo de sinal. Esta conversão é realizada por um instrumento denominado por transdutor. Por exemplo, é necessário um transdutor na conversão do sinal de saída de um controlador (sinal elétrico), para que possa ser recebido pelo instrumento de controlo final, uma válvula pneumática (sinal pneumático). Assim, neste caso, é necessário converter o sinal elétrico para um sinal pneumático.

Tipicamente, os sistemas de controlo utilizam três tipos de sinal: sinais pneumáticos, sinais eletrónicos analógicos (contínuos) e sinais digitais (discretos). Se se tratar de um sistema com controlo

digital, o sinal de entrada é primeiramente convertido de analógico para digital, antes do controlador efetuar os cálculos para o atuador. Em seguida, o valor calculado à saída do controlador é convertido de um sinal digital para um sinal analógico, para transmissão à válvula de controlo, ou outro elemento de controlo final. Até 1960, as indústrias utilizavam, predominantemente, sinais pneumáticos para transmitir informações de medição e controlo. Os instrumentos que funcionam com sinais pneumáticos necessitam de ar comprimido e de elementos mecânicos de equilíbrio de força, para emitir um sinal [29]. No entanto, na década de 1950, a instrumentação eletrónica começou a ser amplamente utilizada, devido ao desenvolvimento da eletrónica e, por se ter tornado uma necessidade, a transmissão de sinais a longa distância. Normalmente, as indústrias trabalham com a faixa padrão de 4 mA a 20 mA ou 1 V a 5 V. Contudo, é comum trabalhar com sinais analógicos de transmissores na forma de corrente contínua, em vez de tensão, uma vez que a tensão é afetada pela resistência do fio e do conector, varia com o comprimento do fio, com o envelhecimento e temperatura deste [29]. A partir da década de 1960 os sinais eletrónicos digitais tornaram-se cada vez mais importantes, dado que a manutenção das instalações elétricas é mais fácil e economicamente mais acessível, quando comparadas com a dos sistemas analógicos. Assim, durante as décadas de 1970 e 1980, foram vários os avanços nos equipamentos de computação (por exemplo, microprocessadores e computadores), nomeadamente em sensores inteligentes com a capacidade de memória digital e lógica. Atualmente, tem-se verificado um crescente interesse nas comunicações por fibra ótica e redes sem fios, para aplicação em controlo de processos. Esta tecnologia apresenta custos de instalação elétrica significativamente mais reduzidos, contudo, ainda existem limites no que concerne à alimentação destas redes e algumas preocupações em termos de segurança [29].

Sensores

Particularmente, numa indústria de laticínios, é essencial que ocorra uma medição precisa e abrangente do estado ou estados do processo, comunicando as alterações ao controlador. Durante o processamento dos produtos, são monitorizados, através de vários tipos de sensores, a temperatura, a pressão, a taxa de fluxo, o nível dos fluidos e a composição química. Em específico, a medição e monitorização da composição química de um meio, em tempo real, é das características mais desafiantes e importantes num processo, pois fornece informações essenciais sobre o desempenho do

processo, permitindo a realização de ajustes em tempo útil. Outrora, o processo apenas era controlado num laboratório, o que significa que a informação não era obtida em tempo útil, comprometendo muitas vezes a qualidade do produto, bem como a eficiência do processo [29]. De acordo com a natureza do meio a analisar, devem ser escolhidos equipamentos específicos, para a obtenção de medições quantitativas da composição do meio, uma vez que a análise só é possível através de um atributo físico ou químico único. Normalmente, na indústria são amplamente utilizados sensores de condutividade elétrica e de pH. Contudo, existem sensores que medem a composição do meio através da absorção da radiação eletromagnética, outros trabalham com a radiação na gama do infravermelho e ainda com a radiação na gama do ultravioleta. Estes sensores operam com a especificidade característica do grau de absorção dos compostos. Mormente, a escolha de um aparelho de medição deve ter em consideração os seguintes fatores [29]:

- Gama de trabalho (amplitude) – a gama de trabalho, na qual a variável do processo a controlar se insere, deverá se incluir na gama de trabalho do equipamento, definida pelas especificações técnicas;
- Desempenho e custo – a escolha do equipamento deverá ser efetuada, ponderando dois fatores, o custo do sensor e a aplicação deste. De acordo com a aplicação, especificações como a precisão e a repetibilidade deverão ser tidas em consideração. Por exemplo, para o controlo em malha fechada a velocidade da resposta é essencial;
- Fiabilidade – por norma, os fabricantes fornecem as condições de referência, nas quais os aparelhos foram testados e apresentam um baixo risco de falha;
- Materiais de construção – de acordo com as condições, onde o equipamento será instalado, poderá ser necessário adotar sensores que resistem a temperaturas, pressões elevadas, bem como a ambientes corrosivos e abrasivos;
- Formação – caso seja a primeira instalação de um equipamento de medição específico é necessário garantir a familiarização dos técnicos de manutenção com a tecnologia. Adicionalmente, é importante incluir no inventário todas as peças que facilmente se degradam e necessitam de substituição, para futuras aquisições;
- Classificação elétrica – é essencial verificar que as instalações são compatíveis com o equipamento, sob prejuízo de exposição a alguns riscos;

- Posição – deverá ser avaliado o local onde a sonda se irá inserir, pois a posição poderá ser propícia à acumulação de resíduos, que irão influenciar a precisão das medições;
- Reação com o meio – deve ser avaliada a reação do material do equipamento no meio onde se irá inserir, pois poderão se tornar reativos. Adicionalmente, em algumas indústrias, como é o caso da indústria alimentar a manutenção da esterilidade do bioprocessos é essencial e deverá ser sempre garantida.

Transmissor/transdutor

Os transdutores são projetados para receberem o sinal elétrico proveniente dos sensores e converterem-no numa grandeza física. Estes são dispositivos de ação direta, isto é, apresentam uma relação de proporcionalidade direta entre o sinal de saída e a variável medida. Adicionalmente, é essencial garantir que o sinal de saída de um transdutor é compatível com a gama de trabalho definida no controlador, que irá receber o sinal. Estes equipamentos são projetados para que a gama de trabalho da grandeza física seja ajustada ao processo. A gama de trabalho é limitada pelo valor mais baixo, que é denominado de limite inferior ou de zero e pelo valor máximo definido. A diferença entre o limite inferior e o superior é denominada de faixa ou *span* [29].

Elementos de controlo final

O controlo final de um processo é realizado por uma válvula de controlo, que opera de acordo com o sinal proveniente de um sensor. Em particular, as válvulas que regulam o caudal volúmico, normalmente, atuam de acordo com algumas variáveis medidas pelos sensores, como o caudal, o nível do líquido, a temperatura, a pressão ou a concentração do meio. O controlo do processo pode ser do tipo *feedback* ou *feedforward*, tal como já foi discutido. Em ambos os casos, o valor medido pelo sensor é comparado com o valor pré-definido, denominado por *set-point* ou valor de referência, e é desencadeada a ação necessária, de acordo com a dinâmica do processo, gerando um sinal de ajuste ao caudal volúmico [30].

2.5 METROLOGIA NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS – ALGUNS CONCEITOS

Na indústria, é essencial garantir a exatidão e precisão dos equipamentos de controlo, pois a eficácia do controlo dos sistemas está diretamente dependente da medição das variáveis. Muitas vezes estes dois conceitos são confundidos, no entanto, apresentam significados diferentes. A exatidão de um equipamento de medição é definida como sendo o desvio observado entre o valor medido e o valor real. Por norma a exatidão é expressa como uma percentagem, relativamente à leitura total da escala do aparelho, sendo uma característica do instrumento. Por outro lado, a precisão de um sistema revela o desempenho e a proximidade entre as medições [31].

Nas medições existem vários erros que podem contribuir para uma baixa exatidão da mensurada a controlar. Com o intuito de minimizar tanto quanto possível os erros de medição, os equipamentos de medição e medida (EMM) devem ser alvo de verificações e calibrações periódicas, definidas de acordo com a especificidade da função do aparelho. A aprovação de um equipamento após a realização destes procedimentos é efetuada mediante o critério de aceitação definido [32].

2.5.1 ERROS DE MEDIÇÃO

O erro de medição corresponde à diferença entre o valor real e o valor medido. Existem três tipos de erros, o erro aleatório, o erro grosseiro e o erro sistemático. A origem do erro é fator determinante para a sua eliminação ou minimização. Os erros aleatórios são provenientes de fontes não possíveis de se determinar, revelando resultados diferentes, perante as mesmas condições de medição. Os erros grosseiros, por outro lado, são provenientes de erros humanos, aquando [31]:

- Da leitura do instrumento antes deste estabilizar, o que produz um erro dinâmico;
- Da não eliminação da paralaxe, quando a leitura é realizada a uma escala analógica, na qual a interpolação entre as marcações da escala é incorreta;
- Do registo dos dados medidos e/ou no cálculo da mensurada interpolada;
- Do uso inadequado do instrumento, nomeadamente utilizar o aparelho em condições não recomendáveis pelo fornecedor.

Por outro lado, os erros sistemáticos refletem a repetição do mesmo erro perante medições diferentes. Estes podem surgir devido a vários fatores, tais como [31]:

- Ausência de calibração, pelo que o instrumento apresenta uma sensibilidade incorreta. Mudanças nos valores, a longo prazo, provocadas pelo envelhecimento, ou alterações das características físicas do meio (por exemplo, a temperatura), são algumas das razões para a recalibração do aparelho;
- Incerteza de leitura elevada, devido à presença de ruído aleatório. Este ruído acompanha a mensurada e condiciona o controlo do sistema. Entende-se por ruído externo, o ruído causado pelo ambiente. Este pode ser minimizado através da proteção elétrica e magnética das linhas de transmissão. Contrariamente, o ruído aleatório é provocado internamente e, numa primeira etapa, pode ser manifestado pelo transdutor;
- Várias propriedades físicas, como a temperatura, a capacitância, a resistência, a indutância e a força eletromotriz podem afetar a mensurada, pelo que devem ser incluídos componentes capazes de anular estas variáveis.

Matematicamente, o erro pode ser expresso em valor absoluto (Equação 3) ou em percentagem (Equação 4). O valor de Y_n representa o valor real ou verdadeiro definido ou calculado, enquanto o valor de X_n corresponde ao valor medido na n -ésima medição. O valor real corresponde, na maior parte das vezes, ao valor rotulado da solução-padrão utilizada no procedimento [31].

$$\varepsilon_n = X_n - Y_n \quad \text{Equação 3}$$

$$\varepsilon_n/\% = \frac{|\varepsilon_n|}{Y_n} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

2.5.2 CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS

Qualquer equipamento de medição necessita de ser calibrado periodicamente. A norma EN ISO/IEC 17025 evidencia a importância da definição de um plano de calibração, de forma a garantir a correta medição das propriedades físicas que são controladas num processo de produção. Para tal, são utilizadas soluções-padrão, cujas características físicas são conhecidas. Desta forma, é esperado que o aparelho faça a mesma leitura e, qualquer valor que se distancie para além do critério de aceitação definido, é indicativo da ocorrência de vários erros, devendo o equipamento para tal ser substituído. O procedimento de calibração inclui alguns procedimentos de verificação, tais como a verificação à

eletrônica interna do dispositivo, avaliação dos níveis de tensão das fontes de alimentação, das condições ambientais (por exemplo, da temperatura e da humidade) e, por fim, verificação das medições efetuadas. De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), um procedimento de verificação consiste no “fornecimento de evidência objetiva de que um dado item satisfaz requisitos especificados”. Assim, na verificação das medições de um EMM é avaliada a medição de uma solução-padrão, que apresenta uma determinada propriedade física conhecida. Este procedimento é considerado um procedimento de rotina mais rápido e eficaz na diminuição do erro de medição. Contudo, o procedimento de verificação nunca deverá ser utilizado em detrimento do de calibração, pois é durante a calibração que ocorre o ajuste das condições de medição [33]. Adicionalmente, o procedimento de calibração inclui [29]:

- Compensação do valor medido, para as condições que influenciam a medição, como a temperatura e pressão, nos pontos de medição;
- Linearização do sinal de saída do transmissor, se necessário;
- Reconfiguração remota do transmissor, para correção do zero/amplitude.

A calibração de sensores de condutividade é efetuada, normalmente, com soluções de KCl, cujas concentrações são conhecidas e tidas como referência. Essencialmente, no mercado existem soluções com as seguintes concentrações: 0,01 g/dm³; 0,1 g/dm³ e 1 g/dm³. A condutividade destas soluções foi previamente estudada e medida numa gama de temperaturas, que é apresentada no rótulo da solução. Apesar do princípio de calibração necessitar de 3 pontos, na realidade, o valor da constante da célula (k) é diretamente ajustado apenas com dois valores de concentração de KCl. Assim, as soluções escolhidas deverão apresentar uma condutividade elétrica próxima da gama de trabalho do processo. Contudo, quando se trata de avaliar condutividades elétricas elevadas, este método não é viável, uma vez que é assumido que a constante da célula é diretamente proporcional à concentração da solução, o que muitas vezes corresponde a uma extrapolação e não é comprovado [34].

Atualmente, os avanços tecnológicos proporcionaram a integração de microcomputadores nos sensores/transmissores, tornando-os capazes de se autocalibrar. Esta tecnologia não substitui por completo a necessidade de calibração dos aparelhos, apenas reduz, significativamente, a periodicidade com que esta deve ser efetuada [29]. A periodicidade de calibração, normalmente é definida pelo fornecedor do equipamento. Não obstante, a definição da periodicidade de calibração de um aparelho é

específica da função do aparelho, pelo que existem várias normas que a definem. Em última instância, caso não seja definida em nenhum dos modos especificados, o laboratório poderá defini-la, de acordo com as suas normas internas [32].

Por fim, a validação de uma calibração apenas é conferida se durante o procedimento forem utilizadas soluções-padrões que sejam reconhecidas como padrões internacionais ou nacionais [32].

2.5.3 CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO

Os resultados de calibração registados apenas devem ser aprovados atendendo o critério de aceitação definido. O critério de aceitação compreende o erro máximo que deverá ser aceite num procedimento de verificação ou de calibração, para que um EMM possa ser aprovado. Este é definido de acordo com especificações ou regulamentos para um determinado equipamento de medição [33]. A definição do critério de aceitação é, portanto, um tema ambíguo, no qual existem vários fatores a considerar, nomeadamente, a existência de normas relativas à atividade, legislação específica do equipamento ou requisitos impostos pelos clientes [33]. Todavia, no VIM existe uma definição geral para o critério de aceitação. Segundo esta, o critério de aceitação (CA) definido é sempre superior à soma do erro (ε) e da incerteza do equipamento (I_a), segundo a Equação 5. Assume-se que o erro é o valor correspondente à exatidão do equipamento, o qual é fornecido nas especificações técnicas do aparelho. Adicionalmente, o valor da incerteza corresponde ao valor de incerteza de calibração.

$$|CA| \geq |\varepsilon| + |I_a| \quad \text{Equação 5}$$

2.6 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO LEITE

A condutância, G , é definida como sendo o inverso da resistência (R). Sendo o ohm (Ω) a unidade SI de resistência, então a unidade SI da condutância é o Ω^{-1} . Mormente, a condutância é a medida entre dois elétrodos, quimicamente inertes, que se encontram a uma determinada distância [20]. Com o intuito de evitar a polarização das superfícies dos elétrodos, a condutância é medida em corrente alternada. Adicionalmente, a condutância de uma solução é diretamente proporcional à área da superfície do eletrodo (A) e inversamente proporcional à distância entre os elétrodos (L), de acordo com a Equação 6.

$$G = \sigma \left(\frac{A}{L} \right)$$

Equação 6

A constante de proporcionalidade, σ , é denominada de condutividade elétrica, ou condutância específica. Esta é uma propriedade característica das soluções e indicativa da passagem de corrente elétrica, entre dois eletrodos. A condutividade elétrica apresenta as unidades de ($\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$), no caso de a área ser definida em cm^2 . Contudo, o Sistema Internacional reconhece que o inverso da unidade ohm é correspondente ao siemens (S), pelo que a condutividade elétrica é reportada muitas vezes em mS/cm ou $\mu\text{S/cm}$. Com o intuito de comparar os valores de condutividade elétrica, estes são reportados considerando que os eletrodos têm uma área de 1 cm^2 e estão posicionados a 1 cm de distância [20]. A condutividade elétrica é definida como sendo a capacidade que uma solução apresenta para passar corrente elétrica. Ora, se a corrente elétrica é constituída por eletrões, então a condutividade elétrica é indicativa da composição iónica de uma solução. Esta propriedade física está diretamente dependente da temperatura, pelo que é usual referir o valor da condutividade à temperatura de referência de 20°C ou de 25°C [20]. Adicionalmente, a exatidão do valor da condutividade elétrica é influenciada pela polarização, contaminação do meio, geometria do campo (as linhas do campo, delimitadas pelo espaço envolvente, podem interferir na medição), resistência e capacitância do cabo, aumento da frequência (na maioria dos sensores, com o aumento da condutividade elétrica ocorre uma compensação automática, que visa a diminuição de erros de polarização, característicos de valores elevados de condutividade elétrica) e pela temperatura [35].

A condutividade elétrica é uma propriedade física com elevado interesse para os químicos e engenheiros numa indústria, uma vez que é reveladora da concentração de iões num meio. Por esta razão, no controlo de processos muitas vezes são utilizados sensores de condutividade [36][37].

A medição da condutividade elétrica nas indústrias de laticínios está amplamente difundida. O controlo da condutividade elétrica do leite tanto pode ser utilizado para detetar mastites, ou para analisar os processos de fermentação essenciais na produção do queijo, ou ainda no controlo das fases de pré- e pós-enxaguamento que compõem o sistema de limpeza CIP. Uma vez que as fases de pré-enxaguamento contribuem para o desperdício do produto lácteo, é essencial a adoção de métodos precisos que visam a sua diminuição [34][37][38]. Sabendo a condutividade elétrica média do leite/produto lácteo, qualquer

valor que se distancie poderá ser indicativo de alguma anormalidade, sendo, portanto, este o fator utilizado na detecção de mastites, por exemplo [38].

Tal como já foi referido no subcapítulo 2.1, a composição do leite varia com alguns fatores como o estado de lactação, a estação do ano, a alimentação e a raça do animal. Estas alterações na composição do leite provocam, naturalmente, modificações na condutividade elétrica do leite. Contudo, pode-se afirmar que o leite de vaca normalmente apresenta uma condutividade elétrica que varia entre 4,0 mS/cm e 5,5 mS/cm, a 20 °C [38]. Esta propriedade física é influenciada sobretudo pela composição de sais dissolvidos, que se apresentam como iões ou como espécies que se associam às micelas da caseína ou de outras proteínas do leite. No primeiro caso, a contribuição para a variação da condutividade elétrica é relacionada com a alteração de pH. Contudo, quando os sais se encontram associados às proteínas, o seu contributo é mais difícil de determinar [38]. Adicionalmente, a lactose também influencia a condutividade elétrica do leite, apesar de não apresentar carga elétrica. Assim, indiretamente, a lactose, através da viscosidade do leite, provoca alterações na condutividade elétrica. Por fim, as proteínas presentes no leite também contribuem para a alteração da condutividade elétrica, quer por apresentarem carga elétrica, quer por influenciarem a viscosidade da solução. Desta forma, a ordem de grandeza da condutividade molar iónica (λ) de uma proteína pode ser estimada através da sua carga e tamanho, segundo a Equação 7 [38]. Assim, na Equação 7, o F corresponde à constante de Faraday, e é a carga elementar do ião, z é a valência do ião e η é a viscosidade dinâmica [38].

$$\lambda = \frac{F e z^2}{6 \pi \eta r} \quad \text{Equação 7}$$

Os sais que mais contribuem para a condutividade elétrica do leite encontram-se reunidos na Tabela 4. Para uma solução com as mesmas características, excetuando a sua viscosidade, a sua condutividade elétrica aumenta na mesma proporção que a viscosidade da solução, portanto, uma solução menos viscosa, à partida irá possuir menor condutividade elétrica. Todavia, em soluções de leite com concentrações baixas em proteínas, o efeito da viscosidade e do movimento de eletrões é aproximadamente linear com a concentração, pelo que a sua contribuição para efeitos de diluição é insignificante [38].

Tabela 4. Concentração de alguns iões, C , presentes no leite de vaca que mais contribuem para a condutividade elétrica molar, λ (adaptado de Henningsson *et al.*, 2005 [38])

Ião	$C/(\text{mmol/L})$	Valência	$\lambda/[\text{S}/(\text{cm}/\text{mol})]$
Na^+	21,0	1	50,1
K^+	36,4	1	73,5
Ca^{2+}	2,1	2	119
Mg^{2+}	0,8	2	106
Cl^-	30,7	1	76,3
SO_4^{2-}	0,9	2	160
Outros	29,0	1,3	85

Adicionalmente, existem vários estudos que evidenciam que a matéria gorda que compõe o leite cria um bloqueio ao transporte de iões entre as micelas de gordura e as proteínas, pelo que a condutividade elétrica é afetada. Assim, produtos que apresentam uma concentração superior de matéria gorda irão apresentar menor condutividade elétrica [38].

Por fim, com o aumento da temperatura verifica-se que ocorre uma diminuição da viscosidade do meio, o que contribui para o aumento da condutividade elétrica do leite. No entanto, existem outros fatores que são influenciados pela temperatura que favorecem o aumento da condutividade elétrica, nomeadamente o grau de dissociação dos sais, alterações no raio hidrodinâmico, associação do cálcio e do fosfato, que anteriormente se encontravam dissolvidos, e com o aumento da temperatura se associam às micelas de caseína, formando fosfato de cálcio. Para temperaturas superiores a 60 °C verifica-se um ligeiro aumento de pH do leite, pelo que ocorre a libertação de prótons. Por fim, a relação entre o coeficiente de temperatura e a condutividade do leite não diluído foi estudada por Prentice e Oshima. Verifica-se que no intervalo de 15 °C a 40 °C, o coeficiente de temperatura diminui de 2,41 %/°C, para 1,73 %/°C [38].

2.7 FERRAMENTAS DE MELHORIA CONTÍNUA UTILIZADAS NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

O sucesso de uma indústria passa pelo controlo e melhoria da qualidade dos seus produtos/serviços e processos, pelo que a qualidade representa uma vantagem competitiva. Adicionalmente, a melhoria da qualidade visa a redução da variabilidade no processo, bem como nos produtos, uma vez que a variabilidade resulta, muitas vezes, em desperdício. Neste sentido, aprimorar os processos de produção, com vista à minimização do desperdício, é um constante desafio da indústria. Para tal, existem algumas ferramentas de melhoria contínua que auxiliam a identificação e resolução de problemas, nomeadamente DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Implement, Control*) [5]. A implementação dos vários passos desta ferramenta requer a utilização de ferramentas auxiliares, como por exemplo dos 5W1H, do diagrama causa-e-efeito, dos “5 Porquês”, do diagrama de Gantt e do *One Point Lesson* (OPL).

No fim do século XIX, princípios do século XX, surgiram as primeiras correntes de pensamentos ligadas à gestão e controlo dos processos industriais. Nos Estados Unidos da América, Frederick W. Taylor é considerado o pai deste movimento, para o qual contribuiu com a ideologia do desenvolvimento de procedimentos padronizados, como forma de melhorar a produtividade das indústrias. Posteriormente, Henry L. Gantt, Lillian Gilbreth e Frank Gilbreth também contribuíram para a expansão das ideologias de Taylor [39].

2.7.1 DMAIC

Na indústria, a resolução de problemas passa muitas vezes pela adoção do procedimento DMAIC. Esta é uma abordagem específica da *Six-Sigma*, a qual compreende cinco etapas definidas pelas letras do acrónimo DMAIC: Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyse*), Melhorar (*Improve*) e Controlar (*Control*) [5]. O procedimento DMAIC visa a melhoria de um processo, através da eliminação do desperdício, utilizando para tal gráficos de controlo e ferramentas de estatística básicas, para melhorar os processos de produção [39]. Na escolha e desenvolvimento de um novo projeto, as fases DMAIC podem ser explanadas da seguinte forma [40]:

- Definir – selecionar, em equipa multidisciplinar, o projeto prioritário em termos de impactar de forma mais significativa na redução de desperdícios do processo de produção;

- Medir – medir a eficiência do processo de produção atual e identificar os parâmetros mais importantes do produto ou serviço que deverão ser preservados;
- Analisar – reunir e analisar os dados passados e presentes do processo de produtivo, com o intuito de identificar e relacionar as razões dos desperdícios observados, bem como das variações das características do processo e/ou do produto;
- Melhorar – tendo por base os dados anteriormente reunidos e analisados, propor algumas soluções que melhorem o processo produtivo e reduzam o desperdício;
- Controlar – a equipa decide quais as alterações propostas ao processo produtivo serão aceites e padronizadas. É realizado um acompanhamento após a implementação destas, de forma a avaliar a sua eficiência.

Numa indústria esta metodologia pode ser adaptada à sua realidade, onde algumas fases podem ser exploradas com mais detalhe e/ou simplificadas. Particularmente, para o cumprimento do objetivo deste trabalho é aplicada uma metodologia que é advém da DMAIC, a IVAA (Ir-Ver, Analisar, Atuar).

2.7.2 5W1H

Numa primeira abordagem, a identificação da causa de um determinado problema na indústria é efetuada com recurso à ferramenta 5W1H. Esta ferramenta pretende colocar as seguintes questões [41]:

- Porquê? (interrogação do sintoma do problema);
- O quê? (descrição do problema em concreto que ocorreu e não o sintoma);
- Onde? (identificação do ponto/localização exata onde aconteceu o problema);
- Quando? (reconhecimento do momento em que o problema surgiu);
- Quem? (equipa/pessoa envolvida no problema);
- Quanto? (quantificação do problema ou perda causada).

2.7.3 DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO

O diagrama de causa-efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa, é uma ferramenta formal frequentemente utilizada na identificação de possíveis causas de um determinado problema. Para tal, em primeiro lugar, é essencial identificar de forma clara e objetiva o problema que será analisado. O diagrama de causa-efeito é uma ferramenta auxiliar da metodologia DMAIC, devendo, por isso, ser

construído em equipa multidisciplinar [39]. Na Figura 4 encontra-se um exemplo do diagrama de causa-efeito.

Para a construção deste diagrama devem ser seguidos os passos:

- Definir o problema a ser analisado;
- Formar uma equipa multidisciplinar responsável pelo solucionamento do problema. É usual que as potenciais causas do problema sejam descobertas através de *brainstorming*;
- Colocar o problema enfocado na caixa devida;
- Especificar e identificar as categorias onde as possíveis causas se possam encaixar. Normalmente, estas já estão definidas em máquina, materiais, método, medida, mão de obra e meio ambiente. Contudo, não é obrigatório preencher todas elas;
- Analisar e priorizar as causas identificadas que possam parecer mais prováveis de impactar o problema enfocado;
- Definir as ações corretivas.

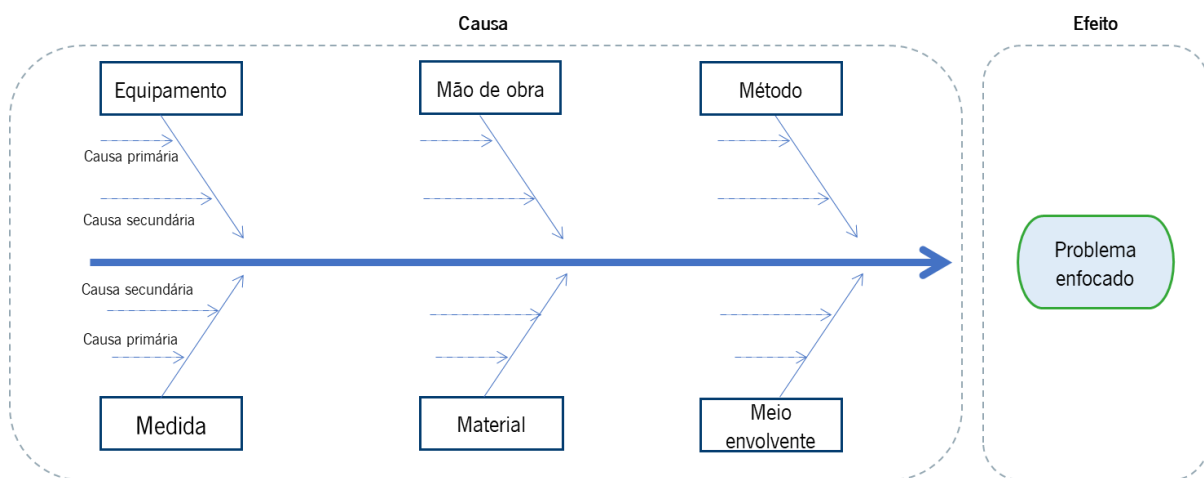


Figura 4. Exemplo de um diagrama de causa-efeito (adaptado de Condé, 2023 [40]).

2.7.4 “5 PORQUÊS”

Com o intuito de inquirir as relações de causa e efeito inerentes a um determinado problema, Sakichi Toyoda, no contexto de desenvolvimento das metodologias de fabrico da *Toyota Motor Corporation*, criou o método dos “5 Porquês”. A filosofia Lean, também conhecida como *Toyota’s*

Production System, foi introduzida pela análise crítica aos sistemas de produção, a fim da resolução de problemas [42]. O arquiteto da *Toyota's Production System*, Taiichi Ohno, descreveu o método dos “5 Porquês” como sendo “a base da abordagem científica da Toyota, pois ao repartir o porquê cinco vezes, a natureza do problema, bem como a sua solução torna-se clara”.

A metodologia quando não bem aplicada apresenta algumas falhas que conduzem à identificação incorreta das causas e efeitos de um determinado problema. Os “5 Porquês” é uma metodologia dúbia quando se verifica:

- Tendência ou ausência de interesse por parte dos especialistas que aplicam a técnica, nomeadamente no aprofundamento da investigação. Desta forma, as verdadeiras causas raízes do problema são perdidas;
- Identificação do sintoma do problema com sendo a verdadeira causa raiz;
- Incapacidade/resistência dos técnicos em pensar para além da sua área, quando necessário;
- Ausência de repetibilidade de resultados, uma vez que diferentes pessoas podem identificar causas raízes díspares, através da interrogação de 5 perguntas distintas;
- Dificuldade na aplicação de princípios conhecidos. Por vezes a resolução do problema passa pela não aplicação de os princípios conhecidos.

O método dos “5 Porquês”, quando corretamente empregue, constitui uma técnica muito eficaz e simples na determinação das relações de causa e efeito num determinado problema, evento ou falha. Desta forma, é uma das primeiras técnicas utilizadas na clarificação da causa raiz de um problema. Ao ser questionado o “porquê” repetidamente, as várias camadas e sintomas de um problema são desconstruídas, conduzindo à causa raiz. Todavia, apenas se pode afirmar que um determinado problema apresenta aquela causa raiz perante evidências científicas que o refutem [42]. A fim do método dos “5 Porquês” ser bem empregue, é essencial a definir o problema de forma tangível e concisa desde o princípio. A definição inicial do problema passa por relatar todas as observações específicas do resultado indesejado, de acordo com as informações disponíveis. Não devem ser incluídos os sintomas do problema, aquando da sua definição [42].

2.7.5 DIAGRAMA DE GANTT

Henry L. Gantt ficou conhecido pela criação do Diagrama de Gantt. Esta ferramenta, atualmente, é muito utilizada na área de gestão de projetos devido à sua simplicidade e eficácia. O diagrama de Gantt é uma representação gráfica do agendamento das várias tarefas necessárias à conclusão de um projeto [39]. Apesar do Diagrama de Gantt ter sido criado há cerca de 100 anos, ainda hoje é uma ferramenta muito útil e importante no planeamento e controlo dos cronogramas dos projetos, sendo a ferramenta base de vários softwares de gestão de projeto, como por exemplo o *MS Project* e o *Primavera* [43].

2.7.6 ONE POINT LESSON (OPL)

A OPL (*One Point Lesson*) é uma ferramenta utilizada na comunicação estruturada dos conceitos apreendidos durante a TPM (*Total Productive Measure*), aos operadores envolvidos. Esta ferramenta visa reunir, de uma forma simples e intuitiva, todas as aprendizagens dos operadores, após a realização de uma tarefa de manutenção autónoma, ou após a implementação de melhorias ao processo [44]. Assim, a OPL é empregue com o intuito de melhorar a produtividade de um processo de produção, através da formação e sensibilização dos operadores envolvidos para a melhoria dos processos. Uma vez que os destinatários desta ferramenta são os colaboradores, é importante manter uma linguagem simples e objetiva, para fácil consulta futura [44].

3 CASO DE ESTUDO

Com o intuito de otimizar um processo de produção de leite em pó foi realizado, primeiramente, um acompanhamento à produção deste produto lácteo sem realizar qualquer intervenção. Neste sentido, o processo é descrito ao longo deste capítulo. Mormente, o presente trabalho visa a diminuição dos desperdícios observados no decurso do processo de produção. Assim, é realizada uma descrição da formação dos efluentes gerados. Estes efluentes são posteriormente tratados na estação de tratamento de águas residuais industriais da empresa, antes do seu descarte. Adicionalmente, observou-se uma crescente pressão sentida na ETARI, justificada pelo envio de produto, o que se refletiu no aumento da *CQO*. Por esta razão, são apresentadas as etapas da ETARI da empresa, evidenciando aquela onde é recolhida a amostragem do parâmetro monitorizado.

3.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO LEITE EM PÓ

A empresa produz leite em pó de diferentes categorias e outros produtos lácteos (manteiga), que se distinguem na sua composição em matéria gorda e na adição de algumas matérias-primas, como soro lácteo concentrado e vitaminas. Uma vez que o leite em pó é o seu principal produto, o presente trabalho incide no seu processo de produção.

O processo de produção do leite em pó consiste essencialmente na remoção quase total da água que naturalmente compõe o leite. Não obstante, uma percentagem de água residual continua presente no produto e varia de acordo com as especificações do cliente ou, no seu limite, com a legislação imposta. A produção do leite em pó compreende várias etapas de processamento, nomeadamente a padronização da matéria gorda que compõe o leite inteiro, a pasteurização da matéria-prima, a evaporação/concentração do leite padronizado e a secagem do leite pré-condensado. Todas as etapas encontram-se descritas de seguida, e esquematizadas no diagrama de fluxo apresentado na Figura 5. No que concerne à produção de manteiga, é utilizada a nata excedente da produção do leite em pó.

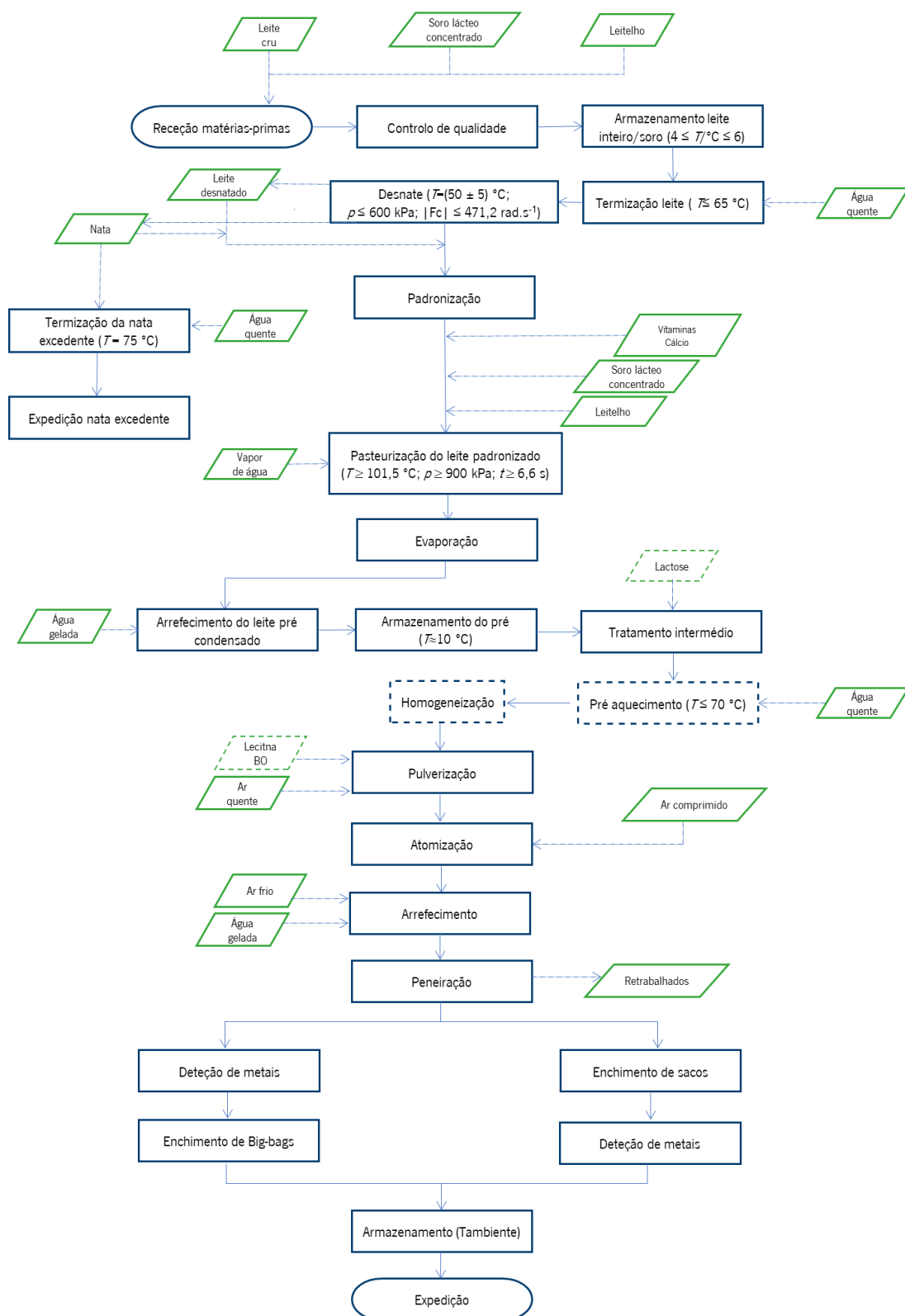


Figura 5. Diagrama de fluxo da produção de leite em pó.

Receção do leite fresco e soro de leite

A produção inicia-se com a receção da principal matéria-prima, ou seja, do leite fresco e do soro lácteo concentrado. A empresa dispõe de três linhas automatizadas (L1, L2 e L3) para a receção destas matérias-primas, sendo que o soro apenas é rececionado pela linha 3 (L3). Não obstante, a linha L3 poderá dar apoio à receção de leite fresco, caso seja necessário.

Nesta etapa, o operador primeiramente regista a massa do camião cheio e prossegue com a recolha de uma amostra proveniente de cada câmara do autotanque. Estas amostras são utilizadas para a implementação dos diferentes Pré-Requisitos Operacionais (PROs) da empresa, sendo então realizados vários testes:

- Avaliação sensorial – é o primeiro teste realizado pelo operador, aquando da subida à cisterna para a recolha das amostras. Neste teste é avaliada a cor do leite, o aroma e as condições de higiene nas quais a matéria-prima é transportada;
- Crioscopia – determinação do ponto de congelação do leite, com o intuito de deteção de adição ilícita de água. Normalmente, o leite apresenta um ponto de congelação que se situa entre - 0,54 °C e - 0,59 °C [6];
- Teste de Inibidores – é estudada a presença de antibióticos dos grupos β -lactâmicos e tetraciclina, através de um teste rápido, realizado num aparelho destinado para o efeito;
- Prova de álcool – é uma prova visual, na qual se pretende avaliar a frescura do leite, através da identificação de coágulos. O teste é realizado adicionando, numa placa, 5 mL de amostra e 5 mL de álcool a 75 %, em volume;
- Determinação da Acidez – são quantificados os compostos de carácter ácido do leite. A presença destes compostos sugere a degradação da lactose por ação de microrganismos. Assim, o resultado obtido pode ser um indicador das condições de higienização e de refrigeração do leite, desde a ordenha até à receção na empresa.

Após a aprovação de todos os testes, é concedida autorização para a entrada da matéria-prima na fábrica. Primeiramente, o leite fresco e o soro lácteo concentrado passam por um permutador de placas de uma passagem (a linha L3 tem um permutador instalado), no qual ocorre um arrefecimento da matéria-prima até aos 4 °C a 5 °C. Para tal, é utilizada água gelada a 2 °C, sensivelmente. De seguida,

o leite fresco, proveniente das linhas L1 e L2, segue para um dos tanques da receção que se encontre disponível. Não obstante, esta matéria-prima também pode seguir para os silos, perante a indisponibilidade de todos os tanques. A receção do leite e do soro lácteo concentrado efetuada pela linha L3 apenas pode ser encaminhada para um silo de armazenamento específico. A principal diferença entre um silo e um tanque reside na sua capacidade de armazenamento.

Padronização (STD)

O leite é um género alimentício complexo que apresenta uma constituição variável, em particular a de matéria gorda. Uma vez que a concentração de matéria gorda contribui para a modificação das características sensoriais do produto e, conseqüentemente, para a eficiência dos processos subsequentes, é importante garantir que o produto lácteo apresenta a concentração desejada e padronizada deste constituinte. Ademais, a variação da concentração de matéria gorda originará diferentes produtos. Assim, é realizada esta etapa de padronização em linha, na qual é importante definir o caudal de entrada, como baixo (27 000 L/h) ou elevado (30 000 L/h), antes de se dar início ao processo. O processo padronização divide-se em quatro etapas descritas abaixo.

- Termização do leite - o leite fresco, primeiramente, é aquecido até uma temperatura de 65 °C, passando, para isso, num permutador de placas. Esta etapa permite a redução microbiana e, ainda, melhora a eficiência da etapa de desnate, dado que a nata apresenta baixa viscosidade a esta temperatura, o que facilita a separação das duas fases [19];
- Desnate - esta operação consiste na separação das 3 fases que compõem naturalmente o leite (partículas sólidas dispersas, como células do úbere, palha e outras impurezas; fase contínua – leite desnatado; e a gordura dispersa no leite desnatado sob a forma de glóbulos), devido à diferença de densidades observada [6]. Assim, no final desta operação obtém-se leite desnatado e nata, que seguem para o *alfast* para serem adicionados na proporção previamente definida na receita do produto a fabricar. Todavia, se o objetivo é a produção de um produto magro, este é obtido no final desta etapa, sem qualquer adição de nata. O processo de desnate é realizado numa centrífuga/desnatadeira capaz de atingir uma velocidade angular de 471,2 rad/s, uma pressão máxima de 600 kPa e uma temperatura máxima de (50 ± 5) °C. Este equipamento é composto por vários pratos empilhados, que apresentam múltiplos canais

de distribuição, através dos quais flui o leite inteiro, tal como ilustrado na Figura 6A. Entre os vários pratos existe uma distância predefinida, na qual ocorre a separação do leite desnatado da nata, devido à diferença de densidades que estes dois produtos apresentam. O processo encontra-se esquematizado na Figura 6B.

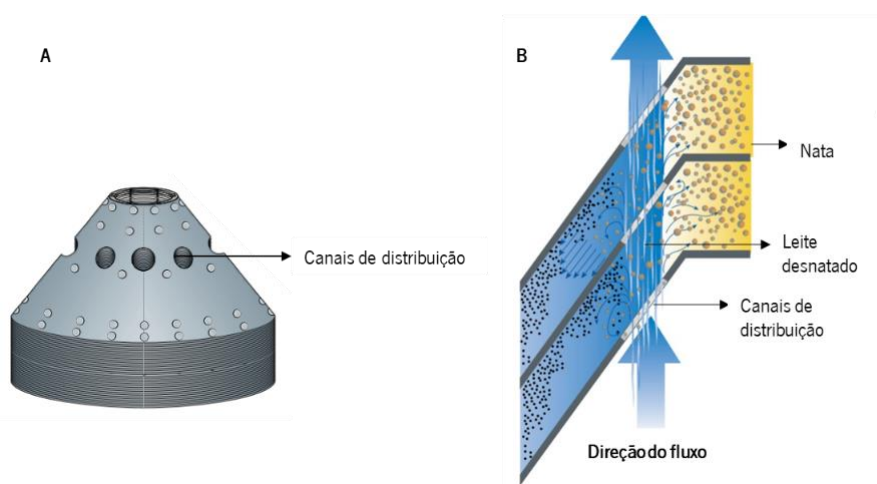


Figura 6. A. Pilha de pratos que compõe a desnatadeira, com os canais de distribuição representados; B. Corte transversal da pilha de pratos, com representação do processo de separação da matéria-gorda (adaptado de Bylund, 1995 [6]).

O leite inteiro é introduzido no equipamento pelo tubo de entrada axial estacionário, que se encontra na parte inferior do equipamento, movimentando-se na direção do distribuidor. Aí, o leite é sujeito a uma aceleração centrípeta, definida pela velocidade angular da tijela. O leite, ao ser sujeito a uma força centrípeta, é enviado para o exterior, formando um anel com a superfície interna cilíndrica, onde fica sujeito à pressão atmosférica. A pressão aumenta gradualmente com a distância ao eixo de rotação, atingindo um valor máximo na periferia do prato. As partículas sólidas com maior peso molecular depositam-se no espaço de sedimentação, sendo descartadas periodicamente, enquanto a nata se desloca para interior, na direção do eixo de rotação, passando através dos canais de distribuição e ascendendo até à câmara de desnatação de natas. No que concerne à fase contínua, esta movimenta-se em direção aos espaços para fora dos discos e, a partir daí, em direção ao canal que se situa entre o topo dos discos e a cuba cónica da centrífuga, saindo pela câmara de desnatação do leite desnatado. A desnatadeira instalada na fábrica, para desnate do leite inteiro, apresenta um funcionamento idêntico ao descrito na Figura 6 e na Figura 7.

- Alfast – o *alfast* é um equipamento no qual é regulada a quantidade de matéria gorda do produto final e da nata, através da adição de nata (matéria gorda) ao produto desnatado obtido na etapa de desnate. Para tal, é escolhida uma receita pré-definida para o produto que se pretende produzir, na qual está definida a proporção de matéria gorda a adicionar. Tratando-se de produtos que incorporem ingredientes extra, como é o caso das vitaminas (vitaminas A, D3 e E) e do soro lácteo concentrado, é nesta etapa que são adicionados. No final, o leite padronizado passa pelo permutador de placas, no qual sofre um arrefecimento até aos $(6 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

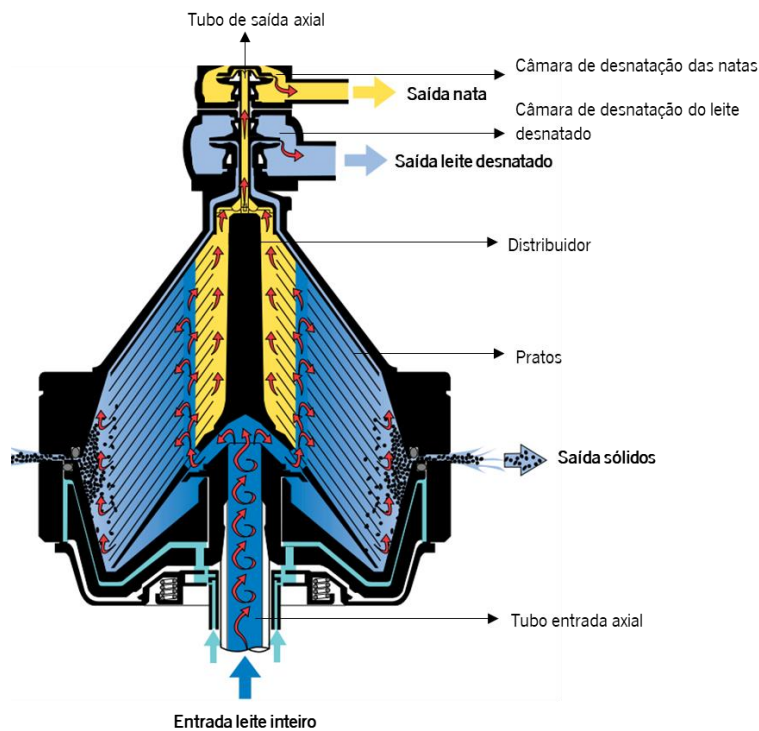


Figura 7. Corte transversal da desnatadeira, semelhante à utilizada no processo de desnate na empresa (adaptado de Bylund, 1995 [6]).

- Termização da nata - a restante nata que não foi utilizada é pasteurizada, num permutador de placas, apresentando à saída uma temperatura de $75 ^\circ\text{C}$. Existem três tanques de armazenamento de nata, o Tanque 5000, o Tanque 9 e o Tanque 14. De seguida, esta nata, proveniente do Tanque 5000, é enviada para os Tanques 9 e/ou 14, consoante a disponibilidade. No entanto, quando a nata é utilizada no próprio dia, para produção de

manteiga, esta passa apenas pelo *bypass*, pois será pasteurizada numa etapa posterior. Na Figura 8 encontra-se esquematizado o trajeto da nata, após a sua separação do leite inteiro.

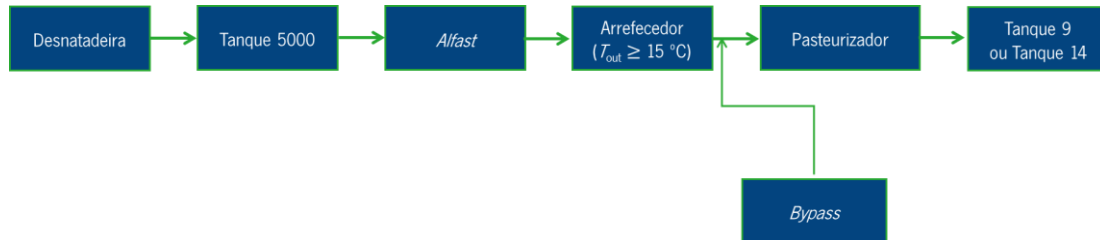


Figura 8. Trajeto da nata toma, após a sua separação do leite fresco.

Evaporação/concentração

A evaporação é uma etapa importante do processo produtivo do leite em pó, na qual ocorre a concentração do leite, permitindo uma redução da energia consumida na etapa de secagem. Este processo ocorre geralmente em várias fases e sob condições de vácuo, de forma a minimizar o impacto negativo que o calor exerce nos vários elementos termicamente sensíveis que compõem o leite, nomeadamente, na gordura, nas vitaminas e nas proteínas.

Antes de se dar início ao processo de evaporação, o leite padronizado aquece ligeiramente, ao entrar no permutador de placas de duas passagens. Neste equipamento, o leite padronizado (frio) ao contactar com o leite pré-condensado já produzido (quente), sofre o primeiro choque térmico. Desta forma, esta primeira troca de calor entre o leite pré-condensado e o leite padronizado, permite a redução do consumo energético. Após este momento, o leite padronizado já pré-aquecido segue para pasteurização, onde, ao passar pelas condutas dos evaporadores, aquece até aos 50 °C, aproximadamente, reduzindo uma vez mais o consumo de utilidades (energia, água gelada, vapor de água). No pasteurizador, o leite padronizado sofre um choque térmico, com o intuito de reduzir a carga microbiana. Segue-se a pasteurização direta, na qual o leite padronizado é pasteurizado, ao entrar em contacto direto com vapor, atingindo-se, então, temperaturas superiores às atingidas no primeiro choque térmico, próximas dos 101,5 °C, durante cerca de 6,6 s. A pasteurização direta ocorre num permutador de placas.

Após o leite padronizado ser pasteurizado, dá-se início à evaporação. Na empresa, o processo de evaporação ocorre num evaporador do tipo *falling film*, constituído por 3 permutadores de carcaça-e-tubos, dispostos sequencialmente. Cada um dos permutadores reproduz um efeito no produto que o aproxima do leite pré-condensado obtido no final deste processo. O terceiro permutador é o único de dupla passagem. Cada um dos permutadores é composto por vários tubos, arrançados de forma circular, no interior da carcaça. Nos evaporadores deste tipo, o leite padronizado é introduzido na parte superior da superfície de aquecimento disposta verticalmente (circula no interior dos tubos cilíndricos), formando uma fina película que flui sobre a superfície de aquecimento, sob efeito da força gravítica, enquanto o fluido utilizado para o aquecimento circula na carcaça [45]. No primeiro permutador e, sob condições de vácuo, o leite padronizado passa no interior dos tubos que o compõe, enquanto o vapor passa no exterior destes, provocando a evaporação de parte da água que constitui naturalmente o leite. Este vapor de água é aproveitado e utilizado nos permutadores subsequentes como meio de aquecimento. Para tal, é necessário que, em primeiro lugar, passe na caldeira de vapor, logo, a temperatura mais elevada é atingida no primeiro permutador. O restante vapor, que não é utilizado neste processo, é encaminhado para o condensador, no qual passa ao estado líquido. Esta água é armazenada num tanque, para posterior utilização no CIP (*Cleaning in Place*), em particular no enxaguamento intermédio entre as fases alcalina e ácida e, no enxaguamento após a fase ácida. O produto lácteo passa nos segundo e terceiro permutadores, seguindo para um processo de filtração, no qual, as impurezas e partículas de produto queimado, resultante da distribuição não uniforme do calor por toda a superfície, são separadas do produto lácteo concentrado.

O processo termina com a passagem do produto lácteo concentrado no permutador de placas, no qual ocorre um arrefecimento (ao contactar com o leite padronizado frio, em primeiro lugar, e com água gelada, utilizada para complementar o processo de arrefecimento, de seguida). Por fim, o leite pré-condensado segue para os tanques que se encontram na sala de tratamento intermédio (STI), nos quais aguarda até ser utilizado na fase seguinte. O leite demora cerca de 15 min a passar nos 3 permutadores.

Tratamento Intermédio

O tratamento intermédio consiste na cristalização da lactose, que poderá ocorrer naturalmente, ou ser acelerada. O processo é acelerado com a introdução de lactose ao leite pré-condensado dos produtos com baixo teor de sólidos. Deste modo, evita-se que ocorram bloqueios na etapa seguinte – a secagem, através da redução da gordura livre. O leite pré-condensado é agitado nos tanques da STI, durante cerca de 2,5 h a 5 h, antes de passar para a secagem, favorecendo uma vez mais o processo de cristalização. Aos produtos que contenham soro não é adicionada lactose, dado que o soro lácteo naturalmente é rico em lactose, salvo se estes apresentem um teor de sólidos baixo. Desta forma, a passagem para a etapa de secagem é antecipada.

Homogeneização

A homogeneização é uma etapa efetuada antes da secagem, por uma Bomba de Alta Pressão (BAP). Este equipamento apresenta a função de homogeneizador, utilizada em alguns produtos, e a função de propulsão do leite pré-condensado para a etapa seguinte. A etapa de homogeneização é utilizada somente para produtos que se produzam a quente, isto é, o leite pré-condensado só é seco após sofrer um aquecimento, passando, para tal num permutador de placas. Adicionalmente, esta etapa só é aplicada a produtos com elevada percentagem de matéria gorda. A homogeneização é realizada com o intuito de distribuir uniformemente a matéria gorda por toda a emulsão e reduzir desperdícios na secagem. Consoante a pressão utilizada, o pistão movimenta-se mais ou menos para a frente, o que define o tamanho dos glóbulos de gordura, tal como ilustrado na Figura 9.

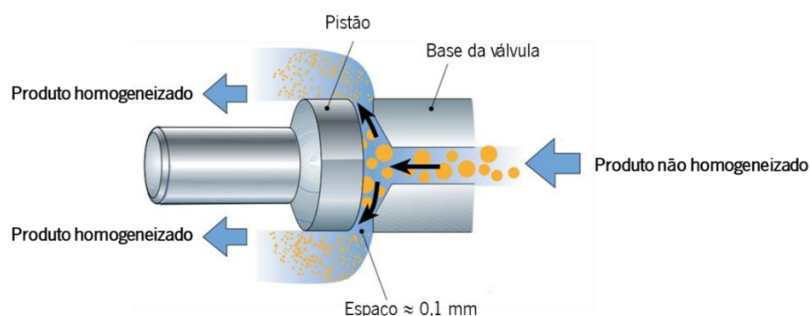


Figura 9. Homogeneização da matéria gorda, através da movimentação do pistão (adaptado de Bylund, 1995 [6]).

A homogeneização realiza-se em dois estágios, que diferem entre si na pressão utilizada em cada um deles, sendo a pressão do primeiro estágio sempre superior à do segundo.

Secagem

A secagem ocorre geralmente num *spray dryer* por pulverização devido às baixas temperaturas e tempos de residência que são utilizados, comparativamente a outros processos térmicos. Durante este processo, são realizadas três fases subsequentes, sendo estas a atomização do produto, o arrefecimento e a peneiração de partículas de leite em pó presentes no ar de exaustão. A atomização do leite pré-condensado ocorre na parte superior da torre de secagem, onde são utilizados, devido à sua simplicidade, bicos de pressão ou atomizadores rotativos.

Na empresa, o processo de secagem de leite efetua-se logo após a concentração, ou após a concentração e arrefecimento, variando de acordo com o produto a fabricar. A secagem é efetuada num secador, de múltiplo efeito, com 15 m de altura e 5 m de diâmetro, equipado com vários bicos de pressão. Os bicos de pressão, criam gotículas que são forçosamente expelidas, através dos seus pequenos orifícios. Esta operação consiste na evaporação da água, existente no produto a secar, quando sujeita a elevadas pressões (máxima de 140 MPa). Numa segunda fase, o ar quente, que varia entre 280 °C e 330 °C, entra na torre de secagem, em contracorrente, e entra em contacto com as gotas atomizadas, trocando água e calor. O leite em pó, com um teor de água que se situa no intervalo de 3 % a 7 %, sai da torre pela base, enquanto o ar aquecido e húmido sai pelo topo/cone. Por fim, é realizada uma etapa de secagem adicional (arrefecimento), a qual pode ser realizada através de uma das três seguintes opções: leite fluidizado externo; leite fluidizado interno na base da torre de secagem, ou; secador de matéria filtrante. Na empresa, o processo ocorre através de um secador com leite fluidizado. O tamanho das partículas do leite em pó dependerá do tipo de atomização realizado no início desta etapa e das características físico-químicas do leite pré-condensado utilizado. A secagem funciona por períodos que podem ir de 12 h a 120 h, dependendo da quantidade e do tipo de leite a secar, parando algumas horas, para limpezas e preparação para nova secagem. A servir de apoio a esta operação, estão instalados três geradores de ar quente (estando dois ao serviço e o terceiro de reserva), que produzem ar quente, aproximadamente a 360 °C, para a torre de secagem. O ar a aquecer é aspirado por dois compressores.

Armazenamento

O leite em pó produzido é armazenado em sacos de 25 kg, 10 kg ou em “*big-bags*” de 650 kg, de 750 kg, de 950 kg, de 1000 kg ou de 1150 kg. Para tal, existem duas linhas de enchimento, uma para os sacos e outra dedicada aos “*big-bags*”. O enchimento de sacos inicia-se com a injeção de um gás inerte, azoto, de modo a evitar a oxidação do leite em pó. Ao mesmo tempo que é injetado o gás dá-se início ao enchimento através de um processo automatizado, realizado por um equipamento, também capacitado para realizar a selagem e o cozimento dos sacos. Após este processo, estes passam por um detetor de metais e seguem para o armazém de paletização, com recurso a uma passadeira. Posteriormente, são colocados em paletes e armazenados até expedição. No que concerne ao enchimento dos “*big-bags*”, atualmente, é realizado através de um processo semiautomatizado, no qual o operador é que insere a embalagem no bocal de enchimento e é responsável pelo fecho desta. O processo de deteção de metais nesta linha de enchimento difere da anteriormente descrita, já que está instalado um detetor no bocal de enchimento do “*big-bag*” e, caso seja detetado presença de metal, o leite em pó é automaticamente descartado pela conduta secundária existente para este fim.

3.2 EFLUENTES GERADOS E TRATAMENTO NA ETARI

As Estações de Tratamento de Águas Residuais Industriais, ETARIs, são projetadas para realizarem a descontaminação e tratamento das águas residuais que resultam de um processo produtivo industrial, antes da sua descarga num curso hídrico. Assim, é basilar o estudo dos efluentes industriais para o conhecimento e caracterização destas estações. Em particular, no caso de estudo apresentado, os efluentes produzidos resultam essencialmente do processo de fabrico, nomeadamente dos arrastos/empurros realizados às linhas de produção, da higienização efetuada às linhas e equipamentos envolvidos na produção e das soluções neutralizantes utilizadas nas limpezas químicas efetuadas, pelo que são catalogadas como águas industriais. No final de um ciclo de produção, a primeira limpeza efetuada às linhas de produção, que se encontram preenchidas com produto, é realizada através de um arrasto/empurro com água desmineralizada. Desta forma, o desperdício associado ao fim de um ciclo de produção diminui, dado que nem todo o conteúdo compreendido nas condutas é descartado. A fração rejeitada é controlada por uma sonda de condutividade, através da predefinição da condutividade elétrica

da mistura que deverá ser aceite. Contrariamente, ao iniciar um novo *batch* as linhas já se encontram preenchidas com água desmineralizada, pelo que o empurro é realizado pelo produto lácteo, ocorrendo uma mistura entre água e produto. Em ambas as situações, até a válvula alterar o seu estado, o conteúdo das linhas de produção é enviado para a ETARl. Assim, maioritariamente as águas residuais apresentam uma concentração elevada em matéria gorda. O tratamento deste efluente compreende o tratamento da fase líquida, da fase sólida e da fase gasosa, que se encontra esquematizado na Figura 10.

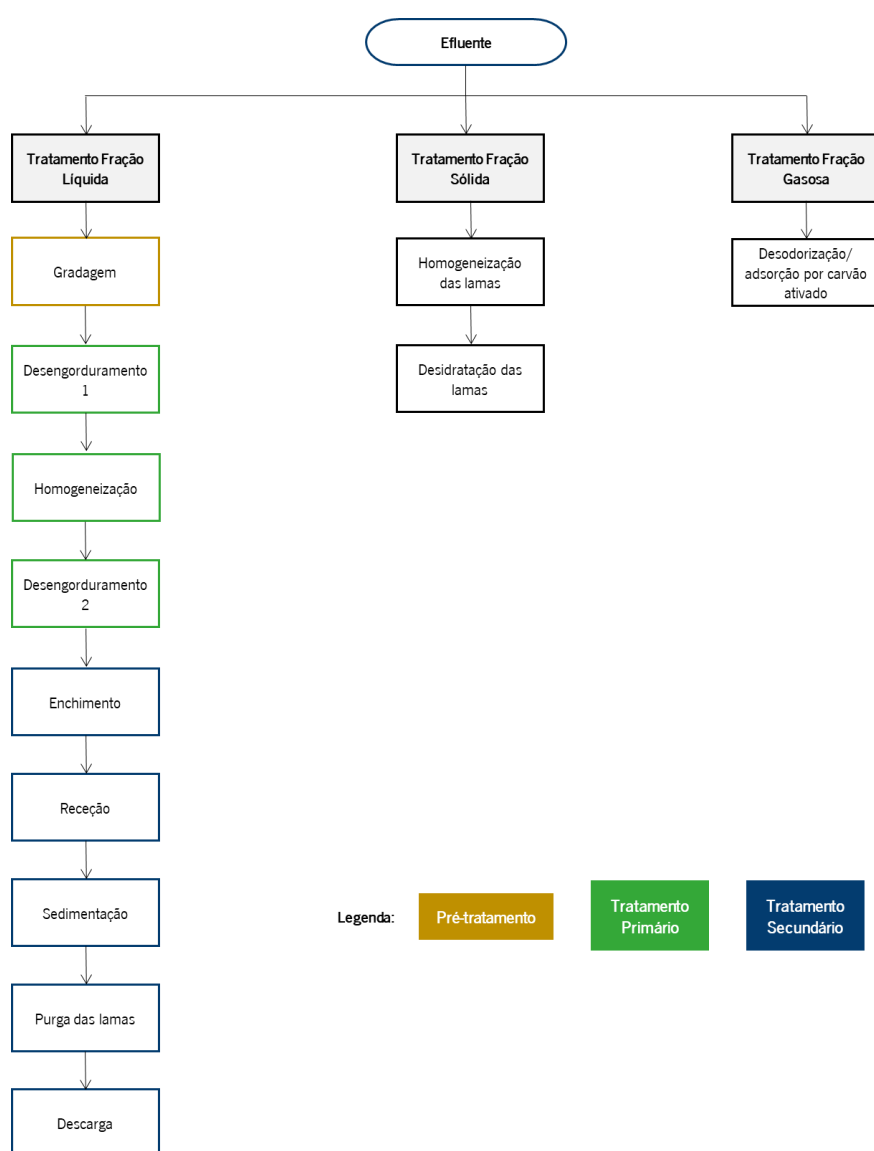


Figura 10. Etapas do tratamento da fase líquida do efluente da empresa.

O tratamento da fração líquida divide-se em 3 fases de tratamento, nomeadamente, o pré-tratamento, o tratamento primário e o tratamento secundário. Quando o efluente apresenta as características impostas pela legislação vigente e já não representa perigo ambiental, é descartado no Oceano Atlântico, por meio de um emissário submarino.

3.2.1 LINHAS DE TRATAMENTO

Devido às características diversificadas e dispares das várias fases que compõem o tratamento das águas residuais, é exigida uma reposta diferenciada e adequada a cada uma destas frações. O tratamento da fração líquida é o mais moroso e que carece de mais etapas, estando estas incluídas nas fases de pré-tratamento, tratamento primário e de tratamento secundário. Do tratamento da fração líquida, resulta a produção de lamas ativadas, que compõem a fração sólida e, do tratamento biológico resulta uma fração gasosa. Estas frações são tratadas de forma independente e adaptada às suas características.

3.2.1.1 PRÉ-TRATAMENTO

Primeiramente, o efluente é sujeito a um pré-tratamento, no qual ocorre a gradagem dos sólidos existentes, seguindo-se o desgorduramento. Por se tratar de águas residuais com uma elevada percentagem de matéria gorda, são realizadas duas etapas de desgorduramento, sendo a segunda realizada durante a fase do tratamento primário.

3.2.1.2 TRATAMENTO PRIMÁRIO

Na fase do tratamento primário, ocorre a remoção de sólidos suspensos na solução, através de processos físicos e químicos, que favorecem a separação sólido-líquido. Assim, são realizadas duas etapas de desgorduramento, intermediadas por uma etapa de homogeneização. As etapas de desgorduramento ocorrem através da operação de flotação por ar. Por outro lado, a etapa de homogeneização é essencial para garantir o caudal constante e homogeneizar, tanto quanto possível a composição do efluente industrial, bem como para fazer o acerto do pH.

3.2.1.3 TRATAMENTO SECUNDÁRIO/BIOLÓGICO

As águas residuais da empresa são submetidas a um tratamento biológico com microrganismos que digerem a matéria orgânica presente no efluente, através de processos aeróbios, para satisfação das suas necessidades metabólicas. Durante o tratamento secundário dos efluentes da fábrica, é utilizado o processo de lamas ativadas, no qual os microrganismos presentes na lama transformam a matéria orgânica carbonatada, por meio de reações metabólicas, em nova biomassa microbiana, CO_2 , H_2O e minerais. A biofloculação é característica deste processo, isto é, existe aglomeração de partículas que se encontram suspensas no meio, os flocos. Estes flocos possuem dimensões e densidade que permitem a sua separação da fração líquida, por decantação [46]. O processo de lamas ativadas ocorre em descontínuo, num dos dois reatores descontínuos sequenciais (SBR) existentes, por meio de um regime não estacionário, ou seja, cada ciclo de tratamento ocorre de forma individual e, apenas se inicia um novo ciclo quando finda a reação e o vazamento do reator. Atualmente, cada biorreator opera em ciclos de 12 h, perfazendo um total de 2 ciclos diários, por reator. Após a remoção da maior parte da matéria orgânica que compõe o efluente, procede-se à separação das duas frações, sólidos e efluente clarificado. O processo de separação ocorre por meio de sedimentação e é facilitado pela diferença de densidades das duas frações, tornando a água à superfície limpa.

Em suma, o processo de tratamento secundário do efluente industrial compreende as fases de enchimento, reação, sedimentação/decantação, descarga e purga de lamas.

3.2.1.4 TRATAMENTO DA FRAÇÃO SÓLIDA

O tratamento das lamas é uma fase adicional imposta pela redução de custos aquando da sua deposição e reconversão/utilização, por meio da sua diminuição, em volume. Na empresa o tratamento das lamas é realizado em duas fases, em primeiro lugar, a homogeneização das lamas, seguida pela sua desidratação.

3.2.1.5 TRATAMENTO DA FASE GASOSA

Por forma a minimizar o impacte ambiental, bem como a dar primazia ao bem-estar da comunidade envolvente, existe um sistema de tratamento da fase gasosa incluído nos processos do

tratamento da fase líquida e sólida do efluente. Para tal, existem 2 torres de desodorização, nas quais se realiza a adsorção por carvão ativado. Numa fase posterior, o carvão ativado é regenerado para futuras utilizações. Todos os equipamentos envolvidos no processo de tratamento das fases líquida e sólida do efluente encontram-se isolados, e conectados, por várias condutas, que terminam no sistema de desodorização. Este sistema utiliza o princípio de que os contaminantes são adsorvidos pelo carvão ativado, removendo os compostos causadores dos maus odores do meio.

3.2.2 CONTROLO ANALÍTICO

Ao longo da linha de tratamento da ETARI são controlados os seguintes parâmetros:

- pH;
- *CQO* (Carência Química de Oxigénio);
- *CBO₅* (Carência Bioquímica de Oxigénio);
- *SST* (Sólidos Suspensos Totais);
- Azoto total;
- Fósforo total;
- Óleos e gorduras;
- *T* (Temperatura);
- *SI₃₀* (Índice Volumétrico de Lamas).

Todos estes parâmetros, excetuando a temperatura e o Índice Volumétrico de Lamas, são monitorizados através da recolha e análise de uma amostra nos 2 pontos de amostragem definidos, isto é, nos tanques de homogeneização (efluente bruto) e no biorreator (efluente tratado e licor misto). Esta monitorização é efetuada pelo laboratório da fábrica enquanto a determinação de *CBO₅* e dos óleos e gorduras é efetuada num laboratório externo. Relativamente aos parâmetros pH e de temperatura, estes são de leitura direta e, por isso, são controlados através dos monitores analógicos e dos caudalímetros existentes. Em particular, para o caso de estudo apresentado, apenas o controlo de *CQO* se mostrou relevante e, portanto, apenas este indicador será acompanhado. Este parâmetro é utilizado para avaliação dos compostos como a matéria orgânica e os sais minerais presentes na água, suscetíveis de oxidação. Na fábrica, a monitorização de *CQO* é acompanhada semanalmente, pelo analista, através do método de dicromato de potássio. Para a monitorização da *CQO*, necessária na identificação do problema foram recolhidas amostras no tanque de receção do efluente bruto.

4 METODOLOGIA APLICADA

De forma a otimizar o processo de produção do leite em pó, utilizou-se a metodologia IVAA (Ir-Ver, Analisar e Atuar) como recurso para identificar as causas para as perdas observadas ao longo da produção. Esta é uma metodologia adotada pela empresa para projetos de melhoria contínua. Após implementação do IVAA foi identificada que a principal causa para as perdas de produto observadas advinha das sondas de condutividade instaladas nas linhas de enchimentos dos tanques de armazenamento. Estes equipamentos detetam a mistura de produto lácteo com água desmineralizada passível de ser armazenada nos tanques de armazenamento. No caso de as sondas de condutividade não operarem corretamente, pode-se observar um desperdício no processo superior ao desejável ou, no caso inverso, ocorrer uma diluição do produto. Embora existam outros equipamentos que também possam ter impacto no desperdício observado, foi dada prioridade às sondas de condutividade uma vez que estes equipamentos careciam de um acompanhamento mais aprofundado, comparativamente aos restantes.

Assim, neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada no decurso deste trabalho e, adicionalmente, é apresentado ainda o plano de recolha de amostras que serviram para caracterização do produto que é enviado para a ETARI da fábrica.

4.1 IVAA (IR-VER, ANALISAR E ATUAR)

Perante um problema no processo produtivo ou tratando-se de um projeto de melhoria contínua a empresa soluciona-o através da realização de um IVAA (Ir-Ver, Analisar e Atuar). Esta metodologia compreende os seguintes passos estruturados e pré-definidos que facilitam a identificação das causas e possíveis soluções.

1. Identificação e análise dos sintomas do problema;
2. Descrição/identificação do problema;
3. Recolha e análise de dados mensuráveis que suportem o problema;
4. Identificação e análise das possíveis causas do problema (chuva de ideias);
5. Validação das causas/procura da causa raiz;
6. Planificação e implementação das ações corretivas e/ou preventivas;

7. Padronização e partilha das principais aprendizagens;
8. Verificação da efetividade do IVAA.

Assim, é preenchido um documento que conduz à explanação do problema, evidenciando as possíveis causas e ações corretivas a adotar. É de destacar que, apesar de se tratarem de 8 passos sequenciais, a passagem para o passo seguinte não implica necessariamente a conclusão definitiva do passo anterior. Uma vez que este projeto se enquadra num projeto de melhoria contínua, foi aplicada esta metodologia. Esta metodologia é seguida por uma equipa multidisciplinar que, geralmente, envolve pessoas dos departamentos de qualidade, de produção, de engenharia e manutenção e de ambiente, em duas reuniões semanais. No decurso do acompanhamento de um problema, é preenchido um documento que evoca todos os passos enunciados anteriormente, os quais se organizam em 3 fases, a primeira “Ir-Ver”, seguindo-se a fase “Analisar” e, por fim, a fase “Atuar”.

Embora a ferramenta *Six Sigma* não seja aplicada de forma formal e integral, denota-se que a metodologia IVAA se baseia nesta filosofia de melhoria contínua. A ferramenta *Six Sigma* utiliza as fases do ciclo DMAIC, isto é, *define, measure, analyze, improve* e *control*, as quais foram adotadas e adaptadas nas fases “ir-ver”, “analisar” e “atuar”, pela empresa, para identificação e resolução de problemas. A metodologia DMAIC encontra-se explicada no subcapítulo 2.7.1.

4.1.1 FASE IR-VER

Nesta primeira fase o principal objetivo é a descrição detalhada do problema, bem como a verificação do cumprimento das condições ótimas de trabalho definidas. Por conseguinte, o seu incumprimento implica a reposição das condições ótimas de trabalho, bem como a perceção da razão de desvio, a fim de se evitar eventos futuros semelhantes. Ainda durante esta fase, é realizada uma triagem aos vários projetos existentes, de forma a priorizar aqueles que impactam diretamente e de forma mais significativa no processo de produção.

4.1.1.1 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS SINTOMAS DO PROBLEMA

A análise dos sintomas do problema reportado compreende o acompanhamento de todos os sinais manifestados, por forma a auxiliar o diagnóstico e, consequentemente, a resolução do problema, servindo apenas como ponto de partida e orientação no processo.

Ao longo do processo de produção do leite em pó, verificou-se que quantidades anormais de produto lácteo (leite fresco, leite desnatado, nata e leite pré-condensado) estariam a ser enviadas para a

ETARI da empresa. Este sintoma foi identificado em primeira instância de forma visual e, seguidamente, através dos valores elevados de *CQO* das amostras recolhidas no tanque de homogeneização do efluente bruto. Desta forma, estipulou-se que a otimização do processo de produção e, por conseguinte, o cumprimento do principal objetivo da presente dissertação seria alcançado através do controlo e minimização da quantidade de produto que é enviada para a ETARI. Durante o processo de produção, o produto que é descartado é direcionado para a estação de tratamento para posterior tratamento.

4.1.1.2 DESCRIÇÃO/IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A identificação e descrição do problema são alcançadas com recurso à metodologia 4W1H (ferramenta adaptada da 5W1H, descrita no subcapítulo 2.7.2), isto é, com o intuito de definir o problema devem ser abordadas as seguintes questões:

- O quê? (descrição do problema em concreto que ocorreu e não o sintoma);
- Onde? (identificação do ponto/localização exata onde aconteceu o problema);
- Quando? (reconhecimento do momento em que o problema surgiu);
- Quem? (equipa/pessoa envolvida no problema);
- Quanto? (quantificação do problema ou perda causada).

Primeiramente, a identificação do problema, que serve de tema a esta dissertação, partiu do acompanhamento e análise a todo o processo de produção do leite em pó, sem qualquer intervenção. Ultrapassada esta fase, foi identificada, consistentemente, perda significativa de produto (nata e leite pré-condensado), sempre que eram efetuados arrastos às linhas de enchimento dos tanques nas etapas de padronização e de evaporação, essencialmente. Assim, a área de investigação deste projeto foi restringida a estas etapas (padronização e evaporação), durante os arrastos iniciais e finais de cada ciclo de produção.

Por conseguinte, nesta fase, não só foi identificado o problema, como a área/processo onde este se evidencia e o indicador afetado, quando aplicado. Particularmente, para o problema de contínua perda de produto, verificou-se que o valor de *CQO* do efluente bruto se encontrava acima do valor-limite estabelecido pela empresa. Provisoriamente, aumentou-se o número de amostras recolhidas na ETARI, com o intuito de validar a persistência do problema e correlacioná-lo com eventos reportados pela produção, nomeadamente falhas nos equipamentos.

4.1.1.3 RECOLHA DADOS MENSURÁVEIS QUE SUPOTEM O PROBLEMA

Após a identificação do problema, é necessário efetuar um levantamento de todos os dados mensuráveis relativos a este, para sua posterior análise. Assim, dá-se particular destaque aos dados que ilustram as condições ótimas de operação definidas, bem como todos aqueles que possam impactar na fase do processo em estudo.

Em particular, para este trabalho, a recolha de dados deu-se por duas vertentes, através dos resultados médios mensais de *CQO* das amostras recolhidas na ETARI da empresa e da caracterização das amostras obtidas durante os arrastos iniciais e finais, nas etapas de padronização e de evaporação. Os dados provenientes das amostras da ETARI, confirmam o envio de produto para a estação de tratamento, através do aumento do valor de *CQO*, que é superior em efluentes com maior teor de matéria gorda. Adicionalmente, procedeu-se à recolha de 2 amostras durante os arrastos iniciais e finais, nas etapas de padronização e evaporação. Na etapa de padronização, apenas se evidenciaram perdas significativas nas linhas de enchimento dos dois tanques de armazenamento de nata disponíveis, sendo, por isso, as únicas alvo de estudo. Nestas foram recolhidas 3 amostras, por arrasto inicial e final. Relativamente às amostras recolhidas na etapa de evaporação e, dada a impossibilidade de acompanhamento da produção de todos os produtos da empresa, restringiu-se a amostragem de acordo com as características destes produtos. Assim, a fim de se obter uma amostra representativa de todos os produtos da fábrica, escolheu-se o produto com menor teor matéria gorda (**PA**), um produto com teor de matéria gorda intermédia, considerado como gordo (**PB**), o produto com o teor de matéria gorda mais elevada (**PC**) e ainda, devido à sua singularidade, um produto que contivesse soro lácteo na sua constituição (**PD**). É de salientar que a característica físico-química que mais diferencia os vários produtos da empresa é a sua composição em matéria-gorda. Durante cada arrasto inicial e final foram recolhidas duas amostras, uma mais concentrada e outra que continha o ponto de transição da mistura de água com produto. O ensaio foi repetido 3 vezes e o seu plano encontra-se mais detalhado na subcapítulo 4.2.

Paralelamente, foi realizado um estudo à linha temporal dos acontecimentos reportados, com o intuito de identificar o momento em que se evidenciaram alterações nas condições ótimas de trabalho definidas. Desta forma, pretendeu-se auxiliar na identificação das causas do problema e conduzir à sua resolução, através da restrição das possíveis causas. A definição da linha temporal, que marcou o início dos vários acontecimentos que originaram o problema enfocado, foi particularmente enigmática, dado que esta é uma questão antiga.

Uma vez identificado que, de facto, é enviado produto para a ETARI, prosseguiu-se para o estudo aprofundado das causas deste problema.

4.1.2 FASE ANALISAR

A fase analisar contempla a verificação e estudo de todos os dados recolhidos até então sobre o problema, por forma a identificar as possíveis causas. Nesta fase são utilizadas ferramentas de melhoria contínua, como forma de reconhecer as causas do problema, evidenciando a causa raiz sobre a qual se deverá atuar para mitigação dos danos causados.

4.1.2.1 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS POSSÍVEIS CAUSAS DO PROBLEMA (CHUVA DE IDEIAS)

As diferentes causas são identificadas, primeiramente, com recurso ao diagrama de *Ishikawa*, também conhecido como diagrama de causa-efeito. No caso particular deste trabalho, no diagrama de causa-efeito foram identificadas causas relativas aos equipamentos, mão de obra e método. Deu-se especial ênfase às causas que envolviam os equipamentos e o método.

4.1.2.2 VALIDAÇÃO DAS CAUSAS/PROCURA DA CAUSA RAIZ

Numa fase posterior e, numa tentativa de aprofundar as causas anteriormente definidas, bem como identificar e validar a causa raiz do problema, foi utilizada a ferramenta dos “5 Porquês”, descrita no subcapítulo 2.7.4.

Neste caso, foram consultados os registos de verificação das sondas de condutividade e constatou-se que o critério de aceitação definido, para algumas sondas de condutividade, era demasiado elevado e não se aplicava à realidade da fábrica. Para além disso, verificou-se que algumas sondas de condutividade da fábrica apresentavam a definição errada do seu tipo de sinal, o que conduzia à adoção de um procedimento de verificação inadequado. Complementarmente, foi ainda consultada a instrução de trabalho para a verificação destes equipamentos, a qual se encontrava incompleta e com um procedimento questionável. Por fim, foi averiguada a gama de trabalho definida no transmissor de cada sonda de condutividade analógica e comparada à definida no controlador da mesma. Em alguns casos, esta gama de trabalho era diferente e/ou não adaptada à realidade do processo.

4.1.3 FASE ATUAR

Na fase atuar, são listadas todas as ações possíveis que advêm da causa raiz identificada, e definido um plano de ação, de modo a reduzir ou suprimir os efeitos destas causas. Esta etapa termina com a padronização e partilha dos principais conhecimentos adquiridos com a experiência. A partilha, normalmente, é feita através de um documento escrito *One Point Lesson* (OPL) e/ou reunião com os principais interessados no conteúdo.

4.1.3.1 PLANIFICAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES CORRETIVAS E PREVENTIVAS

A planificação e implementação das medidas de resolução/mitigação do problema identificado é realizada em duas etapas. Primeiramente, são listadas, numa tabela, todas as causas raízes identificadas na fase anterior, a sua correspondente ação, o responsável por esta e a data previsível da sua conclusão. Numa segunda fase, é criado um diagrama de Gantt, no qual são expostas todas as ações/tarefas definidas e a sua respetiva previsão para data de conclusão.

As ações definidas para este trabalho incidiram essencialmente no estudo das sondas de condutividade da fábrica. O estudo realizado a estes equipamentos foi efetuado de acordo com a área do processo onde estavam inseridos (padronização e evaporação), no qual foi dada primazia às sondas que integram a unidade processual de evaporação, por representarem uma maior perda no processo de produção, quer a nível quantitativo, mas sobretudo pela perda de produto já processado. Assim, iniciou-se o processo pela listagem, localização e definição das características de todas as sondas de condutividade da fábrica. Seguiu-se a avaliação da gama de trabalho definida no transmissor e no controlador das sondas de condutividade analógicas. Complementarmente, procedeu-se à validação do *set-point* definido para as sondas de condutividade analógicas. As amostras recolhidas durante os arrastos iniciais e finais também serviram de apoio ao estudo realizado à gama de trabalho e para validação do *set-point* destes equipamentos. Adicionalmente, foram listadas as soluções que passam pelas sondas de condutividade, para posterior caracterização. Para tal, foram retiradas/preparadas 3 amostras, com as seguintes características:

- Leite pré-condensado dos produtos A, B, C e D;
- Leite pré-condensado diluído dos produtos A, B, C e D;
- Leite fresco e Nata;
- Leite fresco diluído.

Por fim, foi efetuada uma avaliação do procedimento definido para a verificação e calibração das sondas de condutividade, bem como tudo o que advém deste tema, nomeadamente, a validação da solução-padrão utilizada nestes procedimentos e o critério de aceitação que deverá ser empregue. Assim, as soluções-padrão diluídas, preparadas para validação do *set-point*, também foram utilizadas no estudo da definição da solução-padrão. Estas são preparadas a partir de amostras de leite pré-condensado dos produtos A, B, C e D e de leite fresco às quais se adiciona água desmineralizada até a solução apresentar uma condutividade elétrica de 2,3 mS/cm, à temperatura do processo, ou seja, 9 °C. Durante este procedimento, foi registado o volume gasto de leite pré-condensado e de água desmineralizada utilizada, para posterior cálculo do fator de diluição. Todas as amostras de produto recolhidas no âmbito deste projeto foram caracterizadas quanto à sua matéria gorda (*MG*), matéria seca (*MS*), condutividade elétrica (σ) e respetiva temperatura (*T*).

A medição da **condutividade elétrica (σ)** das amostras recolhidas/preparadas foi realizada com um condutivímetro digital portátil (VWR International, EC300) utilizado na empresa como referência. Foi registada a temperatura da amostra, para o valor de condutividade elétrica medido. Complementarmente, e tendo como objetivo diminuir as variáveis do processo, foi ainda considerada a condutividade à temperatura de referência, de 25 °C. As diferentes amostras foram recolhidas num recipiente de plástico, tendo o cuidado para que o sensor do condutivímetro não tocasse no fundo nem nas paredes do recipiente, dado que estes fatores influenciam o resultado.

A determinação da **matéria seca (*MS*)** das diferentes amostras, foi feita por um método gravimétrico, segundo a norma ISO 6731:2010. Para tal, é realizada uma pré-secagem, numa placa de aquecimento, da mistura de amostra e areia, previamente pesada. A secagem final ocorre numa estufa com ventilação natural, até que a massa da amostra estabilize. O processo termina com o arrefecimento das amostras num exsiccador, por forma a remover a água residual. O procedimento adotado encontra-se sintetizado no fluxograma analítico apresentado no Anexo A.

A **matéria gorda (*MG*)** das diferentes amostras recolhidas no decurso deste projeto foi determinada por gravimetria, após extração por solvente. Neste ocorre, primeiramente, a dissolução do ensaio numa solução de amoníaco e de etanol (96 %, em volume), seguida de uma extração com os solventes éter dietílico e éter de petróleo. Posteriormente os solventes são removidos da solução por evaporação. O procedimento encontra-se esquematizado no Anexo A e baseia-se no método de referência Röse-Gottlieb, descrito na norma ISO 23318:2022.

4.1.3.2 PADRONIZAÇÃO E PARTILHA DAS PRINCIPAIS APRENDIZAGENS

A padronização das ações desenvolvidas permite formular uma proposta de alteração de alguns procedimentos, quando comprovada a eficácia e melhoria no processo produtivo. Posteriormente, através de documentos escritos e, oralmente, em reuniões, são partilhados os principais conhecimentos adquiridos no decurso do desenvolvimento do IVAA, com as principais pessoas interessadas no assunto e que irão trabalhar com as alterações propostas. A partilha de conhecimentos pode ser efetuada de várias formas, nomeadamente, através da:

- Criação/atualização de um padrão de referência;
- Transferência de conhecimentos – OPL (*One Point Lesson*);
- Formação no *standard* novo/atualizado;
- Replicação da melhoria noutros processos/áreas semelhantes.

Em particular neste trabalho, foi redefinido o procedimento a adotar durante a verificação de uma sonda de condutividade e criado um procedimento para a calibração destes aparelhos. Adicionalmente, o critério de aceitação foi redefinido, as soluções-padrão utilizadas durante estes procedimentos foram avaliadas e o *set-point* e a gama de trabalho das sondas de condutividade foram revistos e validados. Por fim, todo este trabalho foi reunido numa instrução de trabalho e apresentado à equipa técnica, para ser aplicada aquando de uma verificação e/ou calibração a estes aparelhos.

4.1.3.3 VERIFICAÇÃO DA EFETIVIDADE DO IVAA

No caso em estudo, o acompanhamento às alterações propostas foi efetuado através da recolha de amostras, durante os arrastos iniciais e finais, após a alteração do *set-point* da sonda de condutividade alvo de intervenção, na etapa de padronização.

4.2 PLANO AMOSTRAGEM

Com o intuito de compreender a natureza do produto que é enviado para a ETARI foi traçado um plano de recolha de amostras que permitisse, posteriormente, a sua caracterização. Estas seriam utilizadas, em primeiro lugar, para identificação do problema que serve de tema à presente dissertação. Adicionalmente, também serviram para avaliação do *set-point* definido para cada sonda de condutividade analógica que comunicasse diretamente com a válvula que abre para esgoto. Assim, o estudo desenvolvido centralizou-se em duas das unidades processuais de todo o processo de produção do leite em pó, a padronização e a evaporação, por impactarem de forma mais direta e significativa no

desperdício observado ao longo do processo produtivo. Deste modo, as amostras recolhidas durante os arrastos iniciais e finais foram utilizadas nas 3 fases da metodologia empregue (“ir-ver”, “analisar” e “atuar”), nomeadamente para identificação do problema, para sustento da validação dos *set-points* definidos para cada sonda de condutividade analógica e, por fim, na verificação da efetividade da proposta apresentada.

Durante as etapas de padronização e de evaporação, são realizados, no mínimo, 2 arrastos às linhas de produção, um inicial e outro final. Não obstante, podem ser realizados mais arrastos caso o processo seja interrompido, devido a falhas. Inicialmente, as condutas encontram-se preenchidas com água desmineralizada, até que o produto lácteo realize um arrasto. Assim, forma-se uma solução de água e produto lácteo, cuja concentração é determinada pela condutividade elétrica pré-definida na sonda de condutividade. Uma vez que o atuador do sistema (válvula que comunica com o sistema de drenagem) se encontra aberta, todo o conteúdo da linha de enchimento vai para esgoto, até lhe ser comunicado para fechar e, neste caso, o conteúdo é enviado para os tanques de armazenamento da STI (Sala de Tratamento Intermédio). Esta comunicação provém do sinal, pré-definido, enviado pela sonda de condutividade. Contrariamente, no arrasto final, o produto que se encontra nas condutas é empurrado com água desmineralizada, de modo a prepará-las para a limpeza CIP. Assim, quando a condutividade elétrica baixa até ao valor de *set-point* definido, a válvula recebe o sinal para abrir, impedindo uma mistura considerável de água com o produto lácteo no tanque de armazenado.

De forma a se obter um número de amostras significativas que permitisse inferir conclusões sobre o processo, estabeleceu-se a recolha de duas amostras, durante o arrasto inicial e final. Uma teria a concentração mais elevada do produto que é enviado para a ETARI e uma outra que incluisse o ponto de transição da mistura entre a água e o produto lácteo. Todavia, nem sempre foi possível obter estas 2 amostras, por várias razões não controláveis. Na etapa de padronização foi acompanhado apenas a resposta de duas sondas de condutividade, as que intervinham no envio de nata para o Tanque 5000 e para o Tanque 14, uma vez que não se observaram perdas significativas nos restantes arrastos realizados às linhas desta etapa. Assim, foram recolhidas 3 amostras do arrasto inicial e 3 amostras do arrasto final. A Figura 11 ilustra o plano de amostragem para a etapa de padronização.

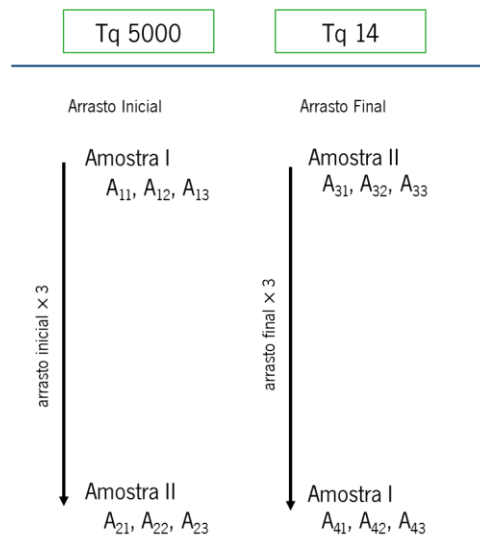


Figura 11. Plano de amostragem adotado na etapa de padronização, no Tanque 5000 e no Tanque 14.

No que concerne à etapa de evaporação, foi estabelecido, de forma idêntica, o acompanhamento de 3 arrastos iniciais e 3 arrastos finais, por produto escolhido (PA, PB, PC e PD). No total, foram recolhidas e analisadas 98 amostras em frascos de plástico de 100 mL. A Figura 12 ilustra o plano de amostragem para a etapa de padronização.

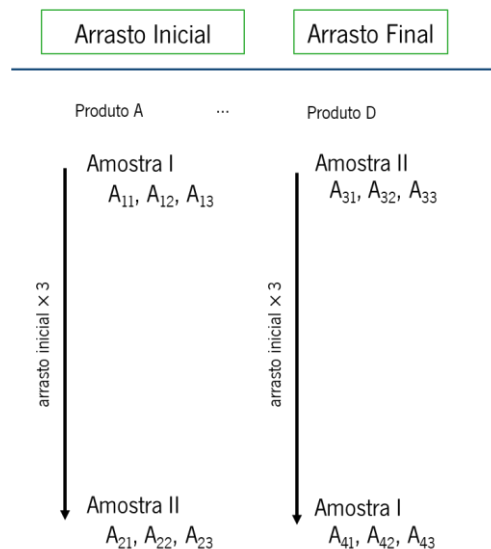
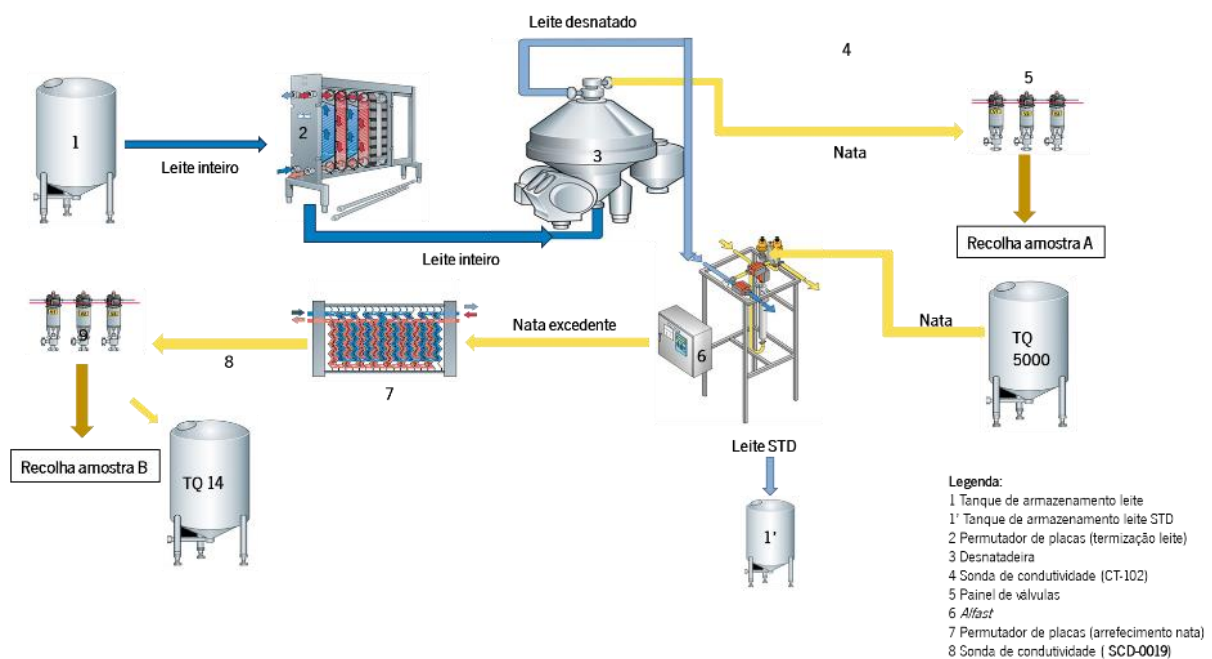


Figura 12. Plano de amostragem para a etapa de padronização que se aplica idênticamente desde o PA ao PD.

Adicionalmente, foram recolhidas três amostras, em dias diferentes dos seguintes produtos:

- Leite pré-condensado dos produtos PA, PB, PC e PD;
- Leite fresco;
- Nata;
- Água desmineralizada.



tanque enche até aos 675 L, marcando o início da produção em contínuo. Simultaneamente, é realizada uma purga inicial ao *alfast*, na qual é descartada uma mistura de água com leite fresco. Pelos mesmos motivos supramencionados, também não foi incluído este arrasto no estudo desenvolvido. A nata proveniente da desnatadeira é recebida no Tanque 5000 que, por sua vez, passa no *alfast* (representado na Figura 13 com o n.º 6) e, por fim, no arrefecedor (n.º 7), após ser realizado o arrasto inicial à linha. O estudo desenvolvido centralizou-se nesta purga que foi contabilizada, aproximadamente, em 1000 L e na qual foi colheita uma amostra no local A, identificado na Figura 13. A nata excedente do processo de padronização, em algumas produções, é armazenada no Tanque 14 sendo, primeiramente, enviada para o pasteurizador (caso não seja utilizada no próprio dia) ou, em alternativa, é encaminhada através do *bypass*. Independentemente da opção escolhida, é realizada uma purga inicial à linha de enchimento do Tanque 14, também esta contabilizada em 1000 L, aproximadamente. Similarmente, esta purga careceu do mesmo acompanhamento, durante a qual foi recolhida uma amostra no local de recolha B, assinalado na Figura 13.

O fim da produção começa com a ordem do operador para realizar o arrasto final ao tanque ou silo, de onde provinha o leite inteiro, para a padronização em linha. Assim, no momento de chegada da água ao *bypass* do permutador de placas, a sonda de condutividade aí localizada envia um sinal para a válvula abrir para esgoto, quando é atingida uma determinada condutividade elétrica pré-definida. Em automático, o sistema faz o arrasto final à linha, desde o permutador de placas, com a função de termização do leite inteiro, até ao tanque/silo que estava a receber o leite padronizado. Relativamente ao arrasto final realizado à linha de enchimento do Tanque 5000, este inicia-se à saída deste tanque de nata e passa todo o percurso até se unir com a linha de enchimento do Tanque 14, terminando no final desta linha, através da deteção da presença de água, pelas sondas de condutividade. Apenas este arrasto à linha de enchimento dos tanques (5000 e 14) foi alvo de estudo, tal como já mencionado. No momento de deteção de água na linha, a válvula que comunica com o sistema de drenagem abre e todo o conteúdo da linha é descartado.

4.2.2 ETAPA DE EVAPORAÇÃO

Na Figura 14 estão representados apenas os principais equipamentos envolvidos na etapa de evaporação, existindo, por exemplo, mais sondas de condutividade que não se encontram na figura. A não representação destes equipamentos deveu-se, principalmente, à simplificação do esquema.

O processo de evaporação tem início com a conclusão do plano de esterilização e abertura das válvulas de água gelada para o arrefecedor. Neste momento, automaticamente, a linha de enchimento

fica aberta para esgoto, isto é, a válvula de controlo que comunica com o esgoto (representada na Figura 14 com o n.º 7), da linha de enchimento dos tanques STI, encontra-se aberta e qualquer conteúdo aí presente é descartado.

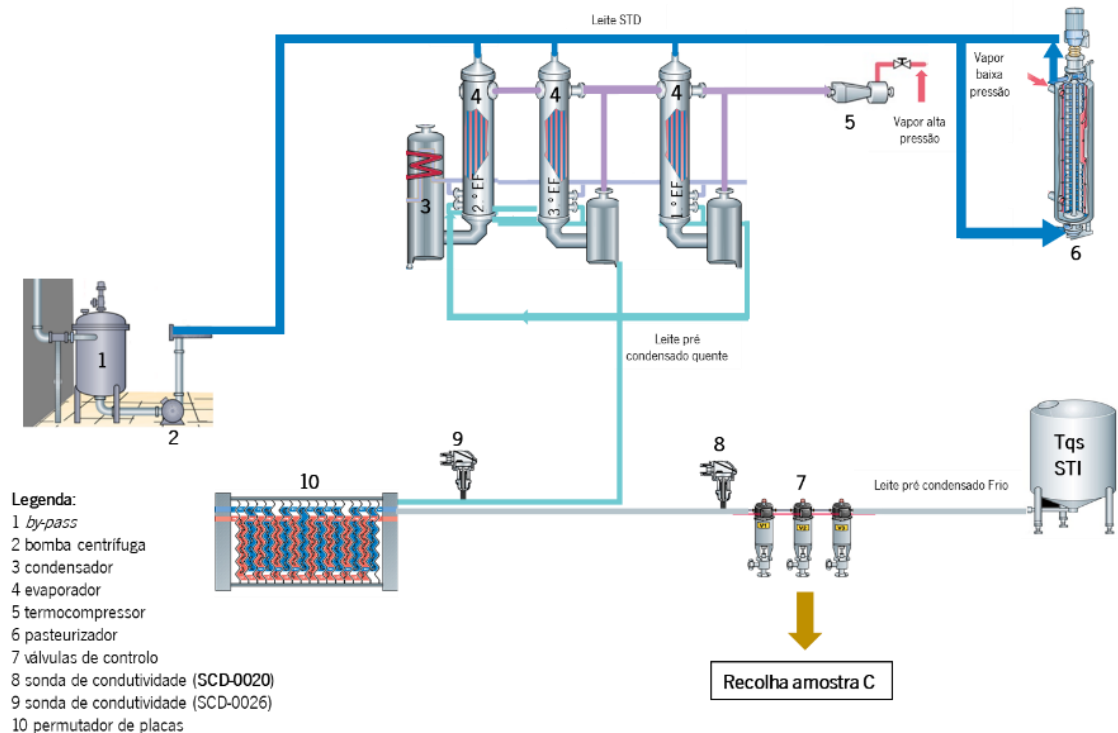


Figura 14. Identificação do local de recolha da amostra na etapa de evaporação.

Em seguida, as válvulas que controlam a passagem de leite no primeiro estágio do arrefecedor abrem. Neste instante, o nível de leite no *bypass* (representada na Figura 14 com o n.º 1) sobe para 60 % e o nível de água para 10 %. Seguidamente, o arrasto à linha para, de forma a ser possível o envio do produto para a instalação. Quando entra leite na conduta e a sonda de condutividade deteta o *set-point* de condutividade elétrica pré-definido da mistura, o símbolo da sonda, no painel de controlo do evaporador muda de cor para amarelo, marcando o início do processo de evaporação. Posteriormente, após o leite padronizado ter passado pelos 3 permutadores de calor do tipo *falling-film* (representados na Figura 14 com o n.º 4) e se encontrar já pré-condensado, é arrefecido e, assim que sai do arrefecedor para ser armazenado nos tanques STI, é detetado pela sonda de condutividade localizada à saída do arrefecedor (n.º 8). O ícone desta sonda também muda de cor, para amarelo, no painel de controlo do evaporador, e desencadeia-se um sinal para o fecho das válvulas de saída da bomba centrífuga, bem como um sinal que permite a bomba positiva ligar. O leite pré-condensado é encaminhado para a tina de balanço, entrando em recirculação até que o operador acione o comando para que este seja enviado para os tanques STI. Entre o momento de deteção de leite pré-condensado e o fecho da válvula que

comunica com o dreno, inevitavelmente, há sempre uma parte da mistura de leite pré-condensado com água que é descartado. Neste momento, colheu-se uma amostra no local de amostra C (amostra de arrasto inicial), que se encontra representado na Figura 14, por se ter considerado que uma parte significativa de produto é desperdiçado neste momento. Neste sentido, foi desenvolvido um estudo que permitisse inferir a variabilidade de perda existente entre os vários produtos da empresa e a avaliação da possibilidade de ajuste do *set-point* definido, ou até mesmo do correto funcionamento da sonda de condutividade aí existente.

Contrariamente, o fim da produção é marcado com o arrasto final, à linha do tanque/silo que acabou de ser concentrado, por forma que o produto contido na instalação, até ao tanque de armazenamento do leite pré-condensado seja removido, com recurso a água desmineralizada. Quando a água chega à tina de balanço, o arrasto à linha de enchimento STI é ativado e, neste momento, foi retirada uma amostra do conteúdo que é descartado para esgoto (amostra de arrasto final), no mesmo local de amostragem (C). Não obstante, durante um ciclo de produção poderão ser efetuados mais arrastos à linha, representando uma maior perda no processo, consequentemente. Estes arrastos adicionais à linha de enchimento STI são realizados sempre que é necessário interromper o ciclo de produção por algum motivo, de modo a evitar/controlar possíveis contaminações microbiológicas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são reunidos os dados obtidos após a aplicação da metodologia apresentada no Capítulo 4. Assim, primeiramente, é identificado e descrito o problema, através da ferramenta 4W1H. Complementarmente, são apresentados os valores de *CQO* do efluente bruto a ser tratado na ETAR, bem como a caracterização das amostras recolhidas durante os arrastos, por forma a sustentar o problema apresentado. De seguida, através da ferramenta *Ishikawa* (ou diagrama causa-efeito), são expostas as várias causas possíveis do problema enfocado e, de forma a validá-las e aprofundá-las, recorreu-se à ferramenta dos “5 Porquês”. Posteriormente, são apresentadas as ações corretivas propostas, assim como, os principais resultados obtidos após a sua implementação. Este capítulo termina com a apresentação da instrução de trabalho, criada com o intuito de uniformização do procedimento a adotar aquando da verificação/calibração nas sondas de condutividade.

5.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A identificação do problema que serve de tema ao presente trabalho foi efetuado, numa primeira abordagem, recorrendo à ferramenta 4W1H, apresentada na Figura 15. Esta ferramenta, utilizada durante o acompanhamento do processo de produção do leite em pó, permitiu reconhecer que a contínua perda de produto, observada nos vários drenos existentes, está associada aos arrastos iniciais e finais realizados às linhas, para limpeza destas e dos respetivos equipamentos envolvidos. Idealmente, são realizados dois arrastos por produção, um no início (arrasto inicial) e outro no final (arrasto final). Não obstante, sempre que ocorre uma paragem no processo de produção é realizado um arrasto intermédio, contribuindo para o desperdício observado durante o processamento do leite em pó.

A questão da contínua perda de produto ao longo de todo o processo produtivo foi aprofundada, primeiramente através da correlação do aumento de *CQO* do efluente bruto, com a perda de produto observada. Adicionalmente, as amostras recolhidas durante os arrastos inicial e final foram caracterizadas e analisadas, com o objetivo de identificar a natureza do produto que é enviado para a estação de tratamento da fábrica.

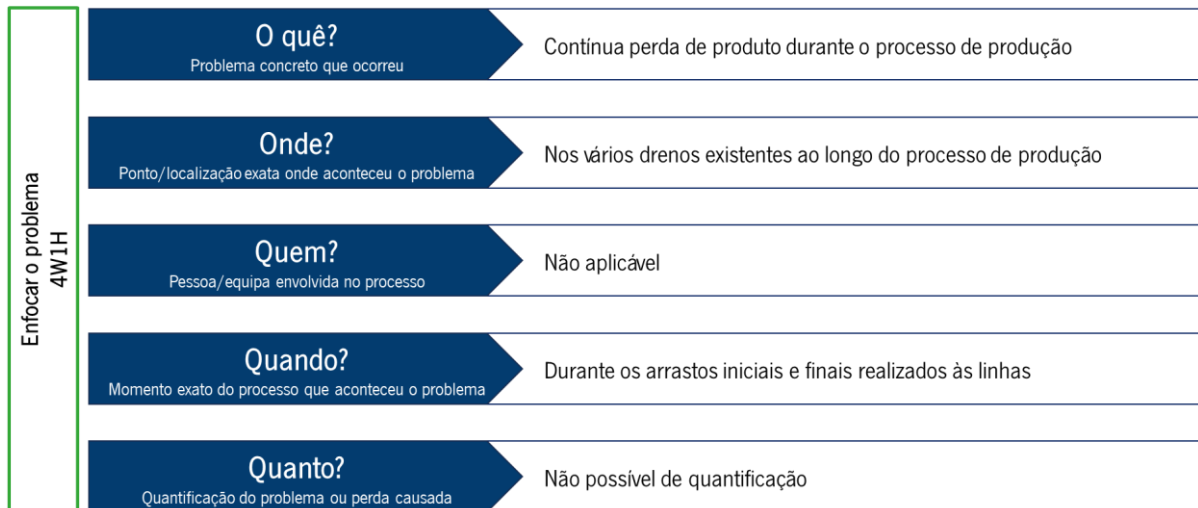


Figura 15. Utilização da ferramenta 4W1H para enfoque do problema "continua perda de produto".

5.1.1 CQO DO EFLUENTE BRUTO

O processo de produção do leite em pó inicia-se sempre com um arrasto às várias condutas que transportam o produto. Estas linhas que, inicialmente, estavam preenchidas com água desmineralizada, quando recebem produto, este realiza um empurro, formando uma mistura que culmina no sistema de drenagem. Assim que a mistura atinge a condutividade elétrica pré-definida, a válvula de controlo fecha e o conteúdo das linhas é encaminhado para os tanques/silos de armazenamento ou para o equipamento a que se destina. Pelo contrário, o final de uma produção é marcado pelo empurro que a água desmineralizada realiza ao produto, que se encontrava nas condutas. Não obstante, sempre que o ciclo de produção é interrompido, é realizado um arrasto extra, que contribui para o aumento das perdas de produto observadas. Adicionalmente, todos os derrames, causados por avarias dos equipamentos e/ou outras falhas ocorridas na produção, são encaminhados para o sistema de drenagem. Assim, todo o produto que é descartado é dirigido para a estação de tratamento, para que possa ser tratado. Desta forma, procedeu-se ao levantamento dos dados médios mensais de CQO das amostras de efluente bruto, recolhidas no tanque de homogeneização. Estes dados encontram-se apresentados na Figura 16. É de salientar que estes valores são apenas indicativos da natureza do efluente bruto, não sendo possível a sua delimitação quanto à sua origem no processo. Inicialmente, não era prática da empresa correlacionar os valores, significativamente diferentes, com os eventos reportados pela produção, como por exemplo a ocorrência de derrames. Esta prática apenas começou no mês de maio de 2023.

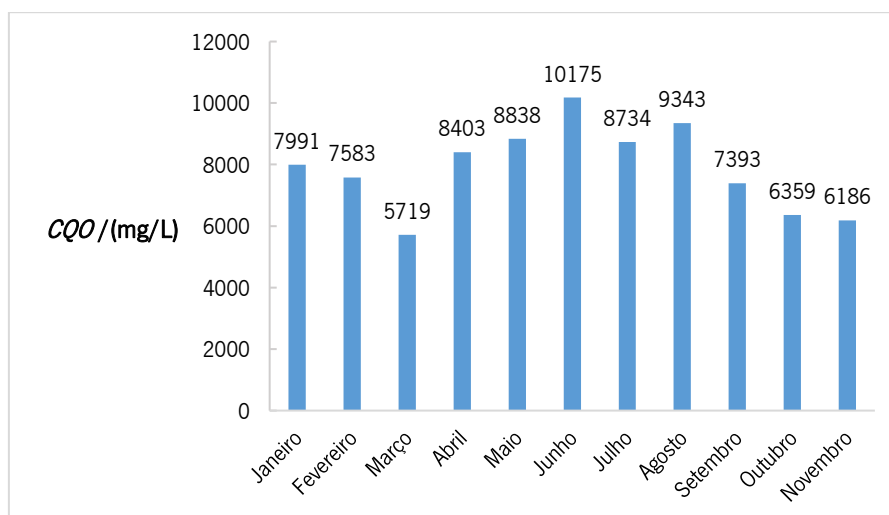


Figura 16. Valor mensal médio de *CQO* de amostras de efluente bruto.

Os valores de *CQO* do efluente bruto, patentes na Figura 16, são sempre superiores ao limite máximo definido pela empresa, o que significa que é enviada para a ETARJ uma quantidade superior à desejada de produto lácteo. Contudo, como a percentagem de redução de *CQO* se encontra sempre de acordo com o definido e, cumpre com a legislação, este problema foi descurado. Entende-se por percentagem de redução de *CQO*, a relação existente entre o valor de *CQO* do efluente bruto e do efluente tratado, a qual deverá ser superior a 75 %. Este parâmetro é sempre superior a 90 %, evidenciando o bom funcionamento da ETARJ. Mormente, no mês de maio registaram-se falhas no sistema de CIP, na sonda de condutividade do evaporador que comunica com a válvula de controlo do sistema e ocorreu ainda uma falha no ar comprimido do evaporador, pelo que foi necessário fazer arrastos extras neste ciclo de produção. No mês de junho, o Tanque 14, que armazena nata, encontrou-se muitas vezes com espuma, formada aquando do seu enchimento. Ora, no momento de esvaziamento da nata, a espuma que se forma é rejeitada, incorporando o efluente bruto. Tratando-se de um produto rico em matéria gorda, o aumento da *CQO* do efluente bruto registada neste mês poderá ser assim justificado. No mês de julho, continuou-se a registar alguns acontecimentos de formação de espuma de nata e, extraordinariamente, ocorreu um derrame de 1500 L de leite. A partir de julho, não foram registados mais eventos pela produção, não sendo, no entanto, garantido que não ocorreram. Adicionalmente, na Figura 16 verifica-se uma tendência decrescente nos valores de *CQO*, que coincide com a alteração do *set-point* da sonda de condutividade, localizada à entrada do Tanque 14.

5.1.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DOS ARRASTOS

Com o intuito de estudar a natureza do produto que é enviado para a estação de tratamento da empresa, recolheram-se duas amostras, por cada arrasto estudado, nas etapas de padronização e de evaporação: amostra 1 do arrasto inicial (A1AI); amostra 2 do arrasto inicial (A2AI); amostra 1 do arrasto final (A1AF) e; amostra 2 do arrasto final (A2AF). Posteriormente, estas amostras foram analisadas quanto à sua matéria gorda (*MG*), matéria seca (*MS*) e condutividade elétrica (σ). Contudo a condutividade elétrica, analisada à temperatura de referência de 25 °C, será apenas analisada na secção 5.3.3. Os valores apresentados são os valores médios obtidos em cada arrasto e são expressos, em percentagem, relativamente ao produto base (*PB*) (nata, no caso da etapa de padronização e leite pré-condensado, do respetivo produto base, no caso da etapa de evaporação). Desta forma, estes resultados representam a proporção do produto, contido na mistura, que é enviado para a estação de tratamento da empresa. No Anexo B encontram-se todos os resultados obtidos durante os ensaios.

Na etapa de padronização, apesar de não ser possível realizar qualquer intervenção/alteração à sonda de condutividade, localizada à entrada do Tanque 5000, procedeu-se à amostragem de forma idêntica, e já descrita, à realizada no Tanque 14. Esta amostragem serviu para efeitos comparativos posteriores, uma vez que o seu correto funcionamento é garantido por uma empresa externa. Assim, na Figura 17 estão representados os valores médios dos parâmetros avaliados, para as amostras obtidas nos arrastos inicial e final do Tanque 5000, enquanto a Figura 18 evidencia os resultados da amostragem obtidos nas mesmas condições, para o Tanque 14. Observando os resultados apresentados nas figuras que se seguem, constata-se que a primeira amostra recolhida durante o arrasto inicial é a que apresenta menor percentagem de produto, comparativamente à segunda. Este facto já era esperado, dado que inicialmente as condutas estão preenchidas com água desmineralizada, até chegar produto (nata, neste caso). Assim, verifica-se que há um aumento da quantidade de produto que compõe a amostra, até que se atinja um valor máximo, que corresponde ao momento do fecho da válvula de controlo do sistema. Contrariamente, durante o arrasto final, as condutas estão totalmente preenchidas de produto quando é decidido terminar a produção. Desta forma, a primeira amostra, obtida durante o arrasto final, é a que apresenta maior concentração de produto, mesmo quando esta é comparada com os resultados obtidos durante o arrasto inicial.

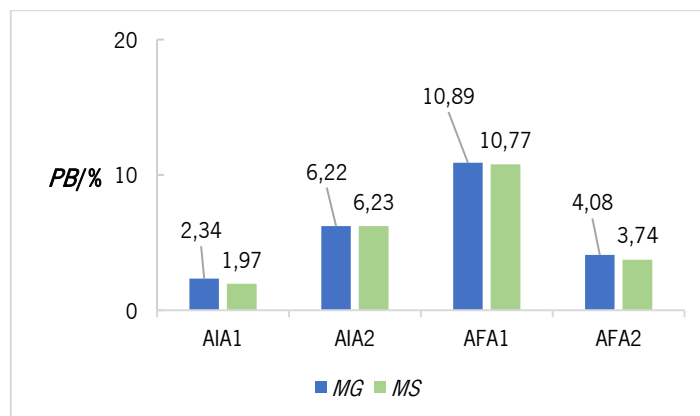


Figura 17. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final ao Tanque 5000 (etapa de padronização), em percentagem, relativamente ao produto base (*PB*).

Particularmente, de acordo com a Figura 17, a primeira amostra recolhida, durante o arrasto final, apresenta cerca de 11 % de produto.

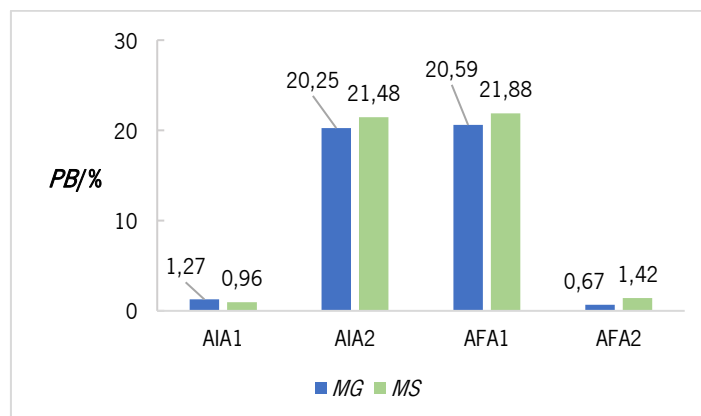


Figura 18. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final ao Tanque 14 (etapa de padronização), em percentagem, relativamente ao produto base (*PB*).

Relativamente ao Tanque 14, através da observação da Figura 18 constatou-se que foi durante a 1.^a amostragem do arrasto final que se obteve maior percentagem de produto na amostra, com um valor aproximado de 21 %. Este valor já revela ter algum impacto, especialmente, porque durante a recolha das amostras se notou que a válvula de controlo permanecia aberta, para o sistema de drenagem, durante cerca de 2 min. Para além disso, a perda associada a um arrasto à linha de enchimento do Tanque 14 é cerca do dobro da verificada para o Tanque 5000.

Na etapa de evaporação, a caracterização da amostragem do produto, que é enviado para a ETARI da empresa, subdividiu-se nos 4 produtos estudados (PA, PB, PC e PD). Assim, na Figura 19 à Figura 22 são apresentados os dados médios relativos aos arrastos iniciais e finais dos produtos A, B, C e D,

respetivamente. Em todos os produtos analisados verificou-se que, tal como o ocorrido na etapa de padronização, a amostra que continha maior percentagem de produto era a 1.^a obtida no arrasto final.

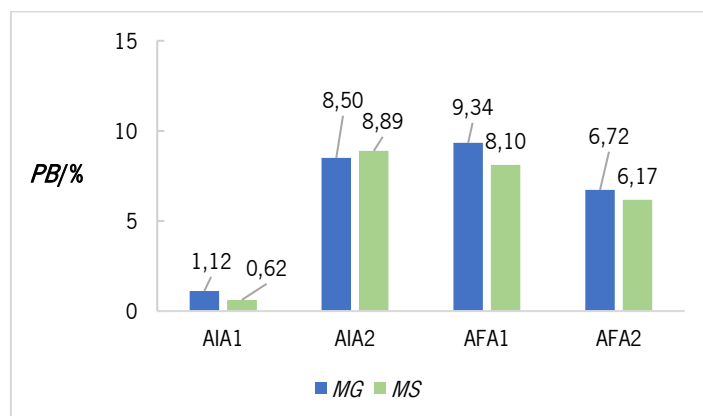


Figura 19. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final do produto A, em percentagem, relativamente ao produto base (PB) (etapa de evaporação).

O produto A é o produto com menor matéria gorda analisada e, para este, obteve-se que a média das amostras mais concentradas colhidas, durante o arrasto final, continham cerca de 9 % de produto, tal como evidencia a Figura 19. Contudo, dos produtos estudados este valor foi o mais baixo obtido, mesmo quando comparado com os valores enunciados na etapa de padronização. Por esta razão, as características deste produto não deverão ser tidas em consideração aquando da definição de alguns parâmetros, como por exemplo o *set-point* da sonda de condutividade responsável pela variável de controlo, ou utilizado na preparação da solução-padrão. Os dados referentes à segunda amostra colhida durante o arrasto final revelaram que a amostragem, que continha o ponto de mistura entre a água desmineralizada e o produto, ainda permanecia concentrada. Por esta razão, infere-se que a resposta desencadeada aquando da receção e transmissão do sinal é mais rápida em produtos com baixa matéria gorda, quando comparados com os restantes. No que concerne ao produto B, este foi considerado como um produto gordo, devido à sua composição em matéria gorda, inserindo-se no centro da gama de produtos fabricados pela empresa, em termos de composição em matéria gorda. Na Figura 20 destaca-se que a 1.^a amostra, recolhida durante o arrasto final, é a mais concentrada, apresentando cerca de 21 % de leite pré-condensado do produto B na sua constituição. Durante a amostragem verificou-se que a válvula de controlo se mantinha aberta durante um período significativo e superior à do produto A, o que se tornou claro que os produtos com maior percentagem mássica de matéria gorda são os que representam maior perda para o processo produtivo.

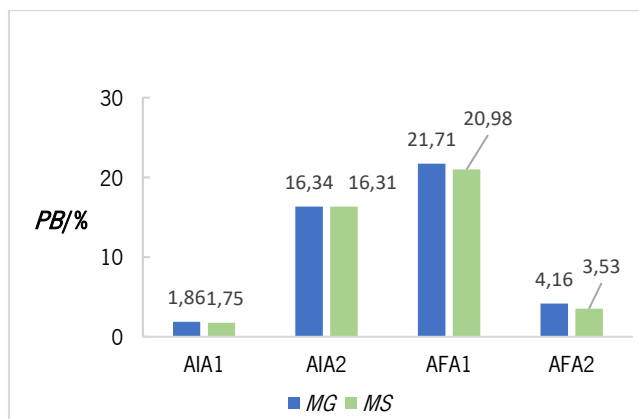


Figura 20. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final do produto B, em percentagem, relativamente ao produto base (*PB*) (etapa de evaporação).

A Figura 21 reúne os dados obtidos na caracterização das amostras recolhidas durante os arrastos inicial e final do produto C. O produto C é um produto extra gordo, escolhido por apresentar a maior percentagem mássica em matéria gorda dos produtos fabricados pela empresa, com regularidade. Durante o arrasto final, na primeira amostra recolhida, registou-se que cerca de 21 % da sua constituição era leite pré-condensado. Apesar deste produto conter mais matéria gorda do que PB, no que concerne ao desperdício associado aos arrastos, ambos apresentam uma percentagem de produto semelhante. Contudo, verificou-se que no fabrico de PC, a válvula de controlo apresenta um tempo de resposta superior, quando comparado com o fabrico de PB.

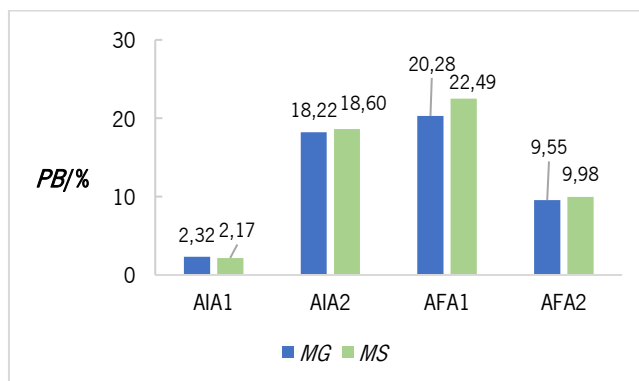


Figura 21. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final do produto C relativamente ao produto base (*PB*) (etapa de evaporação).

Por fim, o produto D, PD, escolhido por conter soro lácteo concentrado, apresenta uma percentagem mássica de matéria gorda intermédia, quando comparado aos demais produtos fabricados pela empresa. Mormente, a percentagem mássica de matéria gorda de PD situa-se entre PA e PB. Assim sendo, os resultados da caracterização da amostragem obtida para PD, que se encontram representados na Figura 22, situam-se entre os resultados obtidos nos arrastos realizados durante a produção de PA e de PB. A

amostra mais concentrada, recolhida durante o arrasto final, apresenta cerca de 12 % de produto na sua constituição.

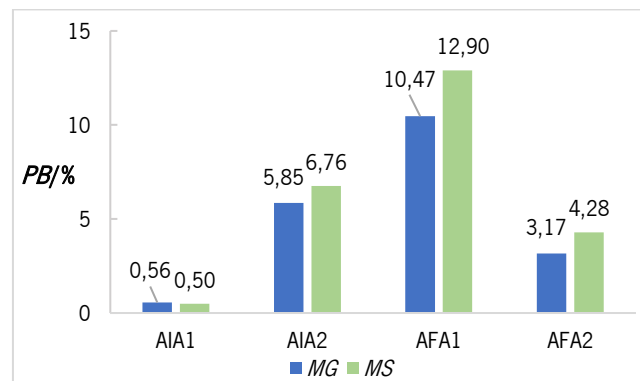


Figura 22. Caracterização da amostragem dos arrastos inicial e final do produto D, em percentagem, relativamente ao produto base (*PB*) (etapa de evaporação).

Após a análise das 4 figuras, referentes à etapa de evaporação, verificou-se que os dois produtos com maior percentagem mássica de matéria gorda (produto B e produto C) são os que representam maior perda associada aos arrastos. Um produto com maior percentagem mássica de matéria gorda apresenta menor condutividade elétrica quando comparado com um que contenha uma menor percentagem. Desta forma, quando se atinge o *set-point* definido, a amostra contém uma percentagem de produto superior e, por isso, estes deverão ser considerados como produtos limitantes, que definirão os parâmetros definidos nos EMMs. Estas amostras continham cerca de 21 % de produto na sua constituição, valor que se aproxima do obtido na etapa de padronização, na linha de enchimento do Tanque 14. Todavia, qualquer perda de produto que ocorra na etapa de evaporação representa um custo superior, uma vez que para a sua produção está envolvido um gasto superior de utilidades. Desta forma, deu-se prioridade à análise e avaliação dos equipamentos da etapa de evaporação.

5.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS

Nesta secção, são apresentadas as várias causas possíveis da constante perda de produto ao longo do processo de produção, com recurso ao diagrama de causa-efeito. De forma a aprofundar e encontrar a causa raiz do problema, utilizou-se a ferramenta dos “5 Porquês”. Nesta metodologia, as possíveis causas que provieram do diagrama de causa-efeito são questionadas, com o intuito de as validar quanto ao impacto que possam ter no problema enfocado. Adicionalmente, a ferramenta dos “5 Porquês” auxilia na enumeração das várias ações que devem ser tomadas para mitigação e/ou resolução do problema exposto.

5.2.1 ANÁLISE CAUSA-EFEITO

O acompanhamento diário e, de forma faseada, de cada etapa do processo produtivo, bem como a compilação dos vários relatos dos operadores de produção e dos técnicos de manutenção, permitiu a enumeração das várias causas possíveis, através de uma chuva de ideias. No diagrama de causa-efeito, apresentado na Figura 23, encontram-se agrupadas as várias causas, de acordo com a sua categoria [39].

Após a análise do diagrama de causa-efeito e do cruzamento dos relatos reportados, constatou-se que as possíveis causas advêm de duas fontes: dos arrastos realizados à linha de produção e, consequentemente, das sondas de condutividade que intervêm na resposta desencadeada para o fecho/abertura do sistema de válvulas de controlo. Particularmente, o aumento do número de arrastos realizados, face ao acréscimo do número de paragens não planeadas observadas, despoletou os desvios observados. Adicionalmente, o facto de não estar definido o número de arrastos passíveis de serem realizados perante uma paragem, ficando, assim, ao critério de cada operador, justifica a não correlação direta com o número de paragens realizado. Para além disso, reconheceu-se que o tipo de sinal da sonda influencia a sua exatidão perante a mudança de estado necessária à passagem de produto. Por fim, identificou-se ainda que o procedimento utilizado na verificação das sondas se encontrava desajustado com a realidade observada, dado que este não era diferenciado consoante o tipo de sonda de condutividade em questão e continha passos incorretos. Apesar do estudo se ter focado nas sondas de condutividade, por terem apresentado inúmeros pontos de falhas, reconheceu-se que as válvulas que comunicam com o sistema de drenagem das linhas de produção também poderiam impactar de alguma forma nos desvios observados. Contudo, após uma breve análise e, não se tendo obtido evidências de falha, descartou-se o aprofundamento ao estudo destas válvulas.

5.2.1 ANÁLISE DOS “5 PORQUÊS”

A ferramenta dos “5 Porquês” é utilizada com o intuito de resolução de problemas de pequena dimensão, através da identificação das principais causas raiz que provieram do diagrama causa-efeito. Assim, nesta fase, as várias causas identificadas anteriormente são exploradas e minuciadas, através da interrogação consecutiva de 5 vezes do seu porquê. No final, obtém-se um conjunto de causas-raiz que desencadearão várias ações, de modo a conduzirem à resolução do problema enfocado ou, no mínimo, a sua mitigação.

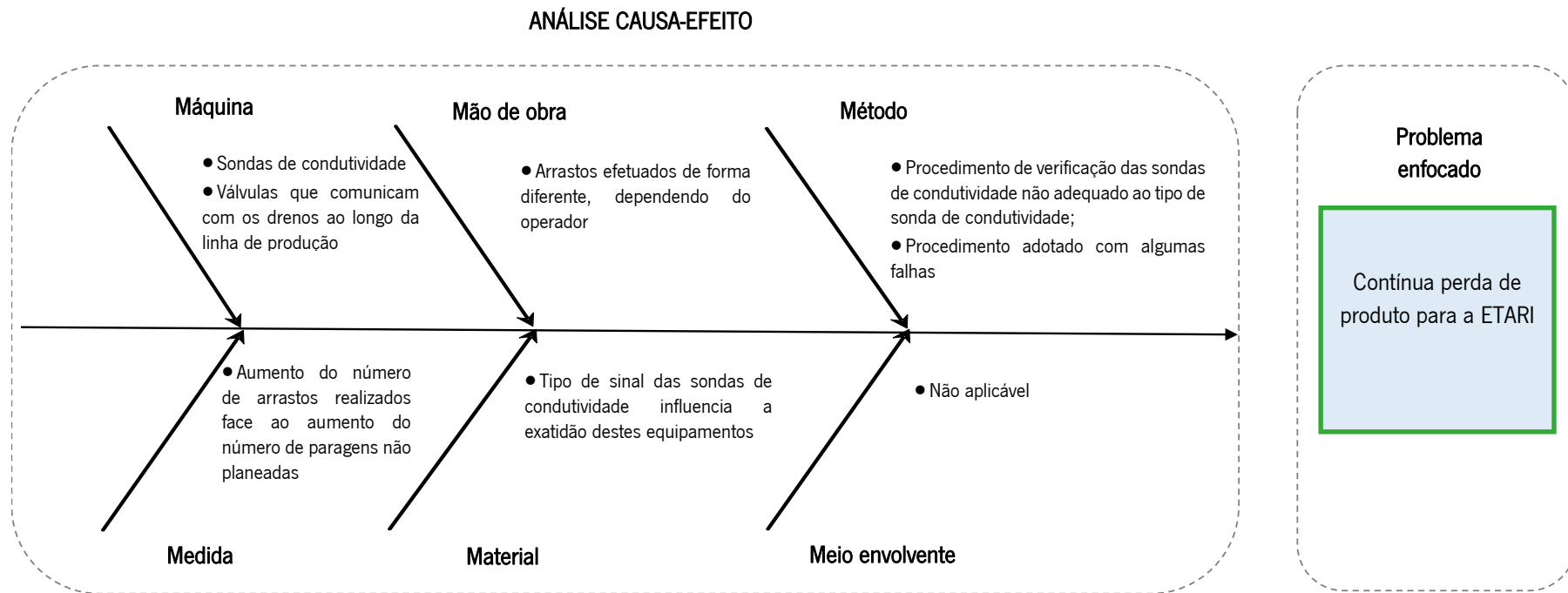


Figura 23. Diagrama de causa-efeito do problema da contínua perda de produto para a ETARI.

A aplicação desta ferramenta é normalmente efetuada com recurso a uma tabela na qual são colocadas as causas e a resposta ao porquê destas [42]. Assim, na Tabela 5 encontra-se a aplicação desta técnica para o problema da contínua perda de produto ao longo do processo de produção. Esta abordagem permitiu a passagem da análise de um problema mais abrangente para um mais específico (causa raiz), a não-operacionalidade das sondas de condutividade. Dada a sua complexidade, o estudo focou-se apenas neste problema mais específico. Partindo do pressuposto que os desvios observados ao longo do processo de produção eram desencadeados pela não operacionalidade correta das sondas de condutividade instaladas, foi dissecado o porquê desta situação. Assim, concluiu-se que existiam 4 razões principais: a definição incorreta do sinal da sonda de condutividade; a desatualização das fichas técnicas das sondas de condutividade, nomeadamente a definição incorreta do critério de aceitação; a ausência de um estudo à condutividade elétrica dos vários produtos da empresa, o que desencadeou, por vezes, a definição de um limite máximo da gama de trabalho das sondas de condutividade analógica desadequado e, por fim; a ausência de um procedimento de calibração para as sondas de condutividade analógicas.

A definição incorreta do sinal das sondas de condutividade desencadeia a adoção de um procedimento não correto para a verificação destes equipamentos, nomeadamente a escolha da solução-padrão que deverá ser utilizada durante o procedimento. Assim, se se trata de uma sonda de condutividade digital, deverá ser utilizada uma solução-padrão preparada internamente, já que estas sondas trabalham com um sinal binário, isto é, apenas lhe é possível dois estados, conduz ou não conduz eletricidade, a partir do qual será desencadeada uma resposta. Desta forma, o procedimento de verificação destes equipamentos é realizado através da observação da resposta desencadeada aquando da submissão da sonda de condutividade à condutividade elétrica pré-definida, a partir da qual terá de desencadear uma resposta [29].

Dada a especificidade que é exigida, a solução-padrão deverá ser preparada no laboratório da empresa, de forma a apresentar a condutividade elétrica definida à temperatura do processo. É de enfatizar que o binómio condutividade elétrica e temperatura da solução é definido tendo em consideração a mistura de água e produto que é definido, à temperatura do processo. Por outro lado, se se trata de uma sonda de condutividade analógica, esta trabalha com um sinal elétrico analógico, no

caso em estudo, em corrente (4 mA a 20 mA), que varia ao longo do tempo e é proporcional à grandeza medida (condutividade elétrica). Por conseguinte, estes equipamentos elétricos trabalham com uma gama de trabalho pré-definida, na qual é impossível testar o seu funcionamento em todos os pontos. Assim, são escolhidos, no mínimo, 2 pontos, preferencialmente próximos do *set-point* de condutividade elétrica definidos. Dadas as especificidade apresentadas, é aconselhado o uso de uma solução-padrão comercial, de condutividade elétrica conhecida, devido à diminuição de erros subjacentes à sua preparação interna [29].

Tabela 5. Aplicação da ferramenta dos "5 Porquês", para identificação da causa raiz do problema enfocado

Possíveis causas	Porquê?		Porquê?		Porquê?		Porquê?		Porquê?	
Sondas de condutividade não-operacionais	Sondas aprovadas incorretamente	Sim	Procedimento incorreto	Sim	Solução-padrão desadequada ao tipo de sonda	Sim	Definição incorreta do sinal das sondas	Sim		Sim
		Não		Não		Não		Não		Não
		Sim	Critério de aceitação definido incorretamente	Sim	Ficha técnica das SCD desatualizadas/ incorretas	Sim		Sim		Sim
		Não		Não		Não		Não		Não
	Gama de trabalho desadequada	Sim	Limite máximo desadequado à função da sonda	Sim	Falta de conhecimento sobre a condutividade elétrica dos vários produtos da empresa	Sim	Estudo não realizado	Sim		Sim
		Não		Não		Não		Não		Não
		Sim	Diferentes gamas de trabalho definidas no controlador e na automação	Sim	Alteração da gama de trabalho na automação, perante a não aprovação da SCD	Sim	Calibração dos equipamentos não efetuada	Sim	Procedimento não definido	Sim
		Não		Não		Não		Não		Não
	Set-point da sonda desajustado	Sim	Para o mesmo produto e função, sondas diferentes apresentam set-points diferentes	Sim	Forma utilizada para diminuição da diferença observada nos valores de leitura do controlador e do autómato	Sim	Calibração dos equipamentos não efetuada	Sim	Procedimento não definido	Sim
		Não		Não		Não		Não		Não

No que concerne à segunda causa identificada, a desatualização da instrução de trabalho das sondas de condutividade, utilizadas na verificação destes equipamentos, deu-se especial enfoque ao critério de aceitação definido, uma vez que este não refletia a realidade da fábrica. O critério de aceitação é geralmente um valor pré-definido, em percentagem, utilizado para aprovação do equipamento, ou não, aquando da verificação deste. Particularmente, no caso em estudo, constatou-se que a maioria das sondas de condutividade apresentavam um valor de aceitação para a solução alcalina de ± 5 mS/cm e para a solução ácida de ± 12 mS/cm. Ora estes valores definidos são demasiado elevados, dado que a condutividade média do leite fresco é de cerca 5 mS/cm, à temperatura de referência de 25 °C [47].

Relativamente ao estudo em falta, sobre a condutividade elétrica dos principais produtos gerados ao longo do processo de produção do leite em pó, constatou-se que a ausência deste estaria a impactar, particularmente, na adaptação da gama de trabalho das sondas de condutividade analógicas. A definição de uma gama de trabalho demasiado ampla, influencia a precisão do equipamento, pois esta faz alterar o declive da reta, definida pela proporcionalidade existente entre a corrente elétrica e a condutividade elétrica, o que conduz a resultados díspares, que poderão estar mais ou menos afastados da realidade. Assim, é recomendado o ajuste da gama de trabalho à realidade do processo de fabrico, de forma a aumentar a precisão destes equipamentos.

Por fim, constatou-se que o procedimento de calibração não estava definido, o que desencadeou a adoção de medidas pouco corretas, mormente a alteração da gama de trabalho da sonda de condutividade apenas no autómato, resultando na obtenção de 2 gamas de trabalho diferentes para a mesma sonda (uma no controlador e outra no transmissor). Observou-se que esta prática da empresa, perante a não aprovação das sondas de condutividade, implica a definição de duas retas com declives diferentes, a partir das quais será convertido o sinal elétrico pelo valor real da variável. Ora, se são definidas duas retas com declives diferentes, obter-se-ão dois valores de condutividade elétrica distintos, para o mesmo sinal elétrico, o que poderá compensar os desvios observados, ou não. Esta prática é adotada com o intuito de redução do erro obtido durante a verificação do equipamento, não sendo, desta forma, eliminada a verdadeira causa do erro. É de salientar que os valores de condutividade elétrica obtidos não correspondem, portanto, à realidade [29]. Sendo a reta definida pela Equação 8, constata-se

que o declive da reta (m) irá influenciar o valor de condutividade elétrica correspondente ao de intensidade de corrente medido pelo aparelho.

$$\frac{\sigma}{\text{mS/cm}} = m \times \frac{I}{\text{mA}} \quad \text{Equação 8}$$

Assim, verifica-se que a definição da gama de trabalho poderá impactuar na conversão do sinal elétrico, bem como na obtenção de um erro de conversão, que será tanto maior quanto mais forte for a corrente elétrica. Complementarmente, depreende-se que o ajuste do limite máximo definido permite a aproximação dos resultados de condutividade elétrica à realidade observada, especialmente tratando-se de produtos com elevado valor para esta variável. Em suma, a definição de uma correta gama de trabalho tem uma enorme influência no erro de leitura associado, conduzindo a resultados mais ou menos afastados da realidade.

Adicionalmente, observou-se que a definição de alguns *set-points* era incoerente com os restantes definidos na fábrica, tal como será discutido na secção 0.

5.3 PLANO E IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES CORRETIVAS

Concluída a identificação das várias causas possíveis do problema em estudo, procedeu-se à enumeração das ações que deveriam ser incluídas no plano e, posteriormente, implementadas. Assim, para as causas raiz identificadas anteriormente na análise dos “5 Porquês”, definiu-se um conjunto de ações, que se encontram apresentadas na Tabela 6. Por conseguinte, nesta tabela são listadas as várias causas raízes identificadas, a ação correspondente que deverá ser desencadeada, o responsável pela mesma, a data da sua realização prevista e o estado aquando da sua apresentação na reunião de acompanhamento. Para efeitos deste documento, as colunas correspondentes ao responsável e ao estado não foram tidas em consideração, dado que o processo não foi desenvolvido e acompanhado como um IVAA normal da empresa, ou seja, em equipa multidisciplinar. Adicionalmente, a coluna correspondente à data prevista da realização, também não foi preenchida, pois foi substituída pelo Diagrama de Gantt, apresentado no Anexo C.

Da análise dos “5 Porquês” foram identificadas 4 causas. A primeira corresponde à definição incorreta do sinal das sondas de condutividade instaladas na fábrica, isto é, se este é analógico ou digital.

A segunda aponta para a desatualização do critério de aceitação definido nas fichas técnicas destes equipamentos. A seguinte alude à necessidade de um estudo à condutividade elétrica dos vários produtos que são formados no decorrer das etapas do processo de produção. E, por fim, a última menciona a ausência de um procedimento de calibração necessário para as várias sondas de condutividade da fábrica.

Tabela 6. Lista de ações definidas para as causas raiz identificadas na análise dos "5 Porquês"

Causa	Ação
Definição incorreta do sinal das sondas de condutividade	Levantamento de todas as sondas de condutividade e do respetivo sinal
	Avaliação e definição correta do sinal de cada sonda
	Definição da solução-padrão mais adequada a cada sonda
Ficha técnica das sondas de condutividade desatualizada/incorrecta (critério de aceitação e procedimento)	Levantamento e estudo do critério de aceitação definido para cada sonda
	Avaliação das recomendações do fornecedor
	Definição do novo critério de aceitação e atualização da ficha técnica das sondas de condutividade
	Avaliação e definição de um procedimento a adotar durante a verificação das sondas de condutividade
Estudo da condutividade elétrica dos vários produtos obtidos ao longo do processo	Caracterização de amostras de leite pré-condensado representativas da gama de produtos da empresa, quanto à condutividade elétrica e, respetiva temperatura, matéria gorda e matéria seca
	Sugestão de definição de nova gama de trabalho para as sondas de condutividade analógicas
	Validação do <i>set-point</i>
Procedimento de calibração das sondas de condutividade não definido	Avaliação das recomendações do fornecedor
	Definição do procedimento de calibração das sondas de condutividade analógicas
	Definição da periodicidade

5.3.1 DEFINIÇÃO DO SINAL DAS SONDAS DE CONDUTIVIDADE

A identificação correta do sinal das sondas de condutividade é de elevado relevo, dado que o procedimento de verificação e, até mesmo, de calibração destes equipamentos, será diferenciado consoante esta característica. Além da diferenciação no procedimento, a solução-padrão utilizada também será distinta.

Assim, primeiramente, procedeu-se à identificação de todas as sondas de condutividade existentes na fábrica. O processo de identificação passou por associar o código relativo aos EMMs ao código de automação, devido à necessidade de pesquisa de informação que aí residia, e à localização física destes equipamentos no processo e no painel de controlo. Seguidamente, através da automação, procedeu-se ao levantamento do tipo de sinal de saída de cada sonda. Na Tabela 7 encontra-se compilada a informação relativa ao sinal de saída das sondas de condutividade, na qual as células sombreadas a amarelo representam as sondas que outrora apresentavam esta informação incorreta.

Tabela 7. Definição do sinal de saída de cada sonda de condutividade, bem como da sua descrição

Área de atuação	Sonda de Condutividade	Sinal de saída	Descrição
Receção	SCD-0008	Analógico	Deteção de produto na linha 1 – silos
	SCD-0009	Analógico	Deteção de produto linha 2 – silos
	SCD-0010	Analógico	Deteção de produto linha acerto de lotes silos
	SCD-0021	Digital	Deteção de produto na linha de acerto de lotes da padronização
	SCD-0022	Digital	Deteção de produto na linha acerto de lotes receção de leite para tanques internos
	SCD-0023	Digital	Linha receção 3 silos, à entrada Silo 13
	SCD-0024	Digital	Linha receção 1 tanques internos
	SCD-0025	Digital	Linha receção 2 tanques internos
Padronização	CT-102	Analógico	Deteção de nata Tanque 5000
	SCD-0019	Analógico	Deteção de nata Tanque 14
	SCD-0018	Analógico	Deteção de nata Tanque 9
	CT-201	Analógico	Deteção produto à entrada do <i>bypass</i> do permutador de placas anterior à desnatadeira
	CT-101	Analógico	Deteção da chegada de ingrediente extra <i>allfast</i>
	CT-301	Analógico	Deteção nata à entrada do <i>bypass</i>
Manteiga	SCD-0015	Analógico	Deteção de nata à chegada da pasteurização direta
	SCD-0016	Analógico	Deteção de nata à entrada dos tanques de pasteurização direta
Evaporação	SCD-0011	Analógico	Deteção de produto à saída do <i>bypass</i>
	SCD-0013	Analógico	Deteção de condensados, para a caldeira do 1.º efeito
	SCD-0017	Digital	Deteção de produto à entrada do <i>bypass</i>
	SCD-0020	Digital	Deteção de produto à entrada dos tanques STI
	SCD-0026*	Analógico	Deteção de produto à entrada do pré-arrefecedor

Na Tabela 7, são rodeadas as sondas de condutividade alvo do estudo que servem de tema à presente dissertação. A listagem da marca e modelo destes equipamentos encontra-se no Anexo D. É de ressaltar que a fábrica dispõe de mais sondas de condutividade, nomeadamente na estação de osmose inversa e de CIP. Contudo, estas não serão alvo de estudo, por não se enquadrarem no âmbito deste trabalho. Após comparação das informações contidas nas fichas técnicas e nos códigos de automação, verificou-se que as sondas da receção de leite para os silos (SCD-0008; SCD-0009; SCD-0010) e de deteção de nata à entrada do Tanque 14 (SCD-0019) estavam classificadas como sendo digitais, sendo, no entanto, analógicas.

5.3.2 DEFINIÇÃO DO *SET-POINT* DAS SONDAS DE CONDUTIVIDADE

A definição/validação do *set-point* de uma sonda de condutividade passa por conhecer bem o processo de produção, bem como as características físicas da mensuranda. Assim, é essencial ter atenção que a definição de um *set-point* demasiado elevado implica um aumento no desperdício de produção, pois será desencadeada uma resposta mais tardia, que conduz a maiores perdas no processo produtivo. Por outro lado, a definição de um *set-point* demasiado baixo irá refletir-se no aumento do caudal de água que se irá misturar dentro dos tanques de armazenamento. Este último caso também traz implicações económicas e de qualidade negativas, pois, com a diluição do produto será necessário um gasto superior de utilidades, nas etapas subsequentes do processo, nomeadamente de vapor de água e energia. A definição do *set-point* é realizada de forma diferenciada se a sonda de condutividade é analógica ou digital. Se se tratar de uma sonda digital, o valor de *set-point* é introduzido pelo operador, através de um computador, enquanto que numa sonda analógica este valor de referência é pré-definido no equipamento. Não obstante, a regulação no controlador é passível de se realizar remotamente, o que lhes permite receber o valor de *set-point* externo, de outro computador, no caso de uma sonda de condutividade analógica [29].

Particularmente, algumas das sondas analógicas da empresa analisadas apresentam um *set-point* não limitado por dois valores, ou seja, apesar de existir a diferenciação entre o aceitável (por exemplo, nata) e o não aceitável (água) é atribuído o mesmo valor para ambos os casos. Nesta situação, quando é atingida a condutividade elétrica definida, é desencadeada uma resposta que visa o controlo da perturbação. Por outro lado, as sondas de condutividade analógicas da receção apresentam um

intervalo de *set-point* limitado. Neste caso, quando o valor da mensuranda é inferior ao menor valor definido, a válvula de controlo do sistema de drenagem, bem como a válvula de enchimento do tanque/silo de armazenamento encontram-se abertas. Se o valor da condutividade elétrica estiver compreendido no intervalo definido, a válvula de controlo do tanque/silo fecha, enquanto a do sistema de drenagem se mantém aberta. A partir deste valor, a válvula de controlo do sistema de drenagem fecha e a válvula de controlo do tanque ou silo mantém-se aberta, permitindo o seu enchimento. A informação relativa à definição do valor de *set-point* das várias sondas analógicas da empresa encontra-se apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Definição do *set-point* das sondas de condutividade analógicas

<i>Set-point</i> (mS/cm)	Produto	Local	Sonda
0,4	Nata	Manteiga	SCD-0015
0,4	Água		
0,4	Nata	Manteiga	SCD-0016
0,4	Água		
0,4	Nata	STD	SCD-0018
0,4	Água		
0,8	Nata	STD	SCD-0019
0,9	Água		
0,8	Água	Receção	SCD-0008
1,7	Leite		
0,8	Água	Receção	SCD-0009
1,7	Leite		
0,9	Água	Receção	SCD-0010
1,7	Leite		

Após análise dos valores atribuídos aos *set-points* verificou-se duas incongruências. Primeiramente, na sonda SCD-0019 assumiu-se que a água teria uma condutividade elétrica superior à da nata, o que nunca acontecerá já que são dois produtos com esta característica física bem diferenciada. Seguidamente, observou-se que, embora se tratem de duas sondas diferentes (uma localizada na linha da padronização e a outra na linha da manteiga), ambas apresentam a mesma função, a identificação da nata. Por esta razão, não se compreendeu a definição de *set-points* com o dobro do valor, para estes dois equipamentos. Por fim, no caso da sonda de condutividade SCD-0010, relacionou-se a definição do valor do *set-point* superior às restantes sondas de condutividade analógicas da receção, com o facto de

se receber soro lácteo concentrado por esta linha, pois este produto apresenta uma condutividade elétrica superior à do leite. Desta forma, foi proposto apenas a alteração do valor de *set-point* da sonda de condutividade SCD-0019, para as mesmas condições das sondas da manteiga, isto é, 0,4 mS/cm.

5.3.3 GAMA DE TRABALHO DAS SONDAS DE CONDUTIVIDADE

A definição da gama de trabalho de uma sonda de condutividade passa por estabelecer o intervalo de leitura da condutividade elétrica, no qual o equipamento garante a sua eficácia. Assim, é essencial garantir que o intervalo definido se situa entre a resolução e o valor máximo que o fornecedor recomenda. Na indústria, normalmente, o zero do transmissor (limite inferior) é 4 mA e o limite superior é 20 mA. O limite inferior é assim definido de forma a facilitar a identificação de possíveis falhas na fonte de alimentação, pois esta irá refletir-se no sinal de saída, que será de 0 mA, o qual não se situa na gama de trabalho definida, sendo identificado, portanto, de forma mais fácil [29]. De acordo com o manual de instruções das sondas de condutividade existentes na fábrica, o valor mínimo correspondente aos 4 mA é 0 μ S/cm, enquanto o valor máximo, que se poderá admitir, correspondente aos 20 mA, é 2000 mS/cm. Posteriormente, estes valores devem ser adaptados à realidade da fábrica, por forma a aproximar o valor da medição ao valor real. Desta forma, é essencial conhecer os produtos que passam pelas sondas de condutividade e as suas características, nomeadamente o valor da condutividade elétrica, à temperatura do processo e a resposta que o aparelho deverá desencadear, perante o alcance do valor de referência. É de salientar que a definição de uma gama de trabalho apenas deverá ser efetuada para as sondas de condutividade analógicas, pois as sondas digitais utilizam um sistema binário, o qual se baseia em apenas dois estados possíveis, conduz ou não conduz corrente elétrica, utilizando para tal apenas dois dígitos, 0 e 1. Por fim, é essencial garantir que a gama de trabalho definida no transmissor é a mesma que está definida no controlador (autómato) [29]. O não cumprimento desta realidade, desencadeia uma resposta com um erro associado muito superior ao que deveria ser aceite, uma vez que a proporcionalidade existente entre as duas grandezas físicas é alterada.

Na Tabela 9 estão compiladas as gamas de trabalho definidas para as várias sondas de condutividade analógicas existentes na fábrica, bem como a sua descrição e os produtos que passam por estes equipamentos. Durante a listagem dos produtos, constatou-se que, apesar de passarem por estes equipamentos soluções químicas durante o processo CIP, as sondas de condutividade não

desencadeiam nenhuma resposta. Desta forma, apenas o produto evidenciado a negrito na tabela irá limitar o *up value* da gama de trabalho. Neste sentido, foi realizada uma recolha dos principais produtos da empresa, nomeadamente, água desmineralizada, leite fresco, nata e leite pré-condensado da amostragem definida na secção 4.2, para sua caracterização quanto à condutividade elétrica. Para além destes, seria de interesse a extensão do estudo ao soro lácteo concentrado recebido. Não obstante, foi realizado um acompanhamento à receção do soro lácteo concentrado, não se tendo verificado um desperdício significativo durante este processo, pelo que o acompanhamento à sonda SCD-0010 não foi uma priorizada. Assim, não será proposta nenhuma alteração à gama de trabalho da sonda de condutividade que intervém na receção desta matéria-prima.

Por fim, a gama de trabalho definida no transmissor das sondas de condutividade foi comparada à definida no controlador da sonda (no programa de automação). Durante este processo, verificou-se que o transmissor das sondas de condutividade SCD-0011 se encontrava desativado, pelo que se assumiu que o erro de leitura da grandeza física em estudo seria superior nesta sonda, quando comparado ao das restantes e, por conseguinte, solicitou-se a substituição deste transmissor. Desta análise, apenas se verificou uma anomalia na definição da gama de trabalho, evidente nas sondas de condutividade da linha da manteiga. Ambas as sondas apresentavam uma gama de trabalho diferente no controlador e no transmissor, sendo que para a sonda SCD-0015 no controlador o *low value* estava definido como -0,25 mS/cm, valor que não apresentava nenhuma explicação lógica, enquanto no transmissor, desta mesma sonda, estava definido como 0 µS/cm. Em relação à sonda de condutividade SCD-0016, esta tinha definido no controlador o valor de *low value* como sendo de 0,035 mS/cm e no controlador 0 µS/cm. Apesar de não ser uma diferença muito significativa, ambos os valores foram corrigidos para 0 µS/cm. Quanto ao *up value*, este estava definido de igual modo para as duas sondas de condutividade apresentadas, no controlador e transmissor destas, tendo apenas se constatado que o valor 200 mS/cm seria demasiado elevado.

Tabela 9. Gama de trabalho definida para as sondas de condutividade analógicas (σ)

	Sonda	Descrição	Low Value ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Up Value (mS/cm)	Produto
Receção de leite	SCD-0008	Sonda condutividade Linha 1 – silos	0	100	Leite fresco, água, Deptal EI
	SCD-0009	Sonda condutividade Linha 2 – silos	0	100	Leite fresco, água, Deptal EI
	SCD-0010	Sonda condutividade Linha Acerto de Lotes de Silos	0	100	Leite fresco, água, Deptal EI, soro lácteo concentrado
STD	SCD-0019	Sonda condutividade deteção produto TQ 14	0	200	Nata, Deptal EI, água
	SCD-0018	Sonda condutividade deteção produto TQ9	0	200	Nata, Deptal EI, água
Evaporador	SCD-0011	Sonda de condutividade saída tina balanço	0	200	Leite padronizado, água quente, ácido, soda
	SCD-0013	Sonda de condutividade condensados para caldeira do 1.º efeito	0	10	Condensados do leite, resíduos de leite, soda e ácido
	SCD-0026	Sonda analógica à entrada do pré-arrefecedor	0	200	Leite pré-condensado, água, ácido, soda
Manteiga	SCD-0015	Sonda de condutividade de chegada da nata à pasteurização direta	0	200	Nata
	SCD-0016	Sonda de condutividade chegada da nata aos tanques de pasteurização da nata	0	200	Nata

De forma a validar o *up limit* das sondas de condutividade apresentadas na Tabela 9, recolheram-se 3 amostras, em dias diferentes, de água desmineralizada, de nata, de leite fresco e de leite pré-condensado dos produtos A, B, C e D. Os dados médios obtidos encontram-se na Tabela 10 e os dados obtidos durante este estudo encontram-se no Anexo E.

De acordo com a Tabela 10, o produto com maior condutividade elétrica, à temperatura de referência de 25 °C é o leite pré-condensado do produto D, apresentado um valor de $(11,74 \pm 0,47)$ mS/cm. Desta forma, a gama de trabalho definida encontra-se desenquadrada com a realidade.

Tabela 10. Condutividade elétrica (σ), e respetivo erro associado ($p=0,05$), característica dos vários produtos intermédios, a duas diferentes temperaturas 9 °C e 25 °C

Produto	σ /(mS/cm) a 25 °C	σ /(mS/cm) a 9 °C
Leite pré-condensado PA	6,54 ± 0,40	2,93 ± 0,11
Leite pré-condensado PB	4,54 ± 0,052	2,96 ± 0,23
Leite pré-condensado PC	5,26 ± 0,17	2,70 ± 0,77
Leite pré-condensado PD	11,74 ± 0,47	4,56 ± 0,75
Leite	5,13 ± 0,051	2,68 ± 0,32
Nata	2,33 ± 0,12	1,07 ± 0,18
Água desmineralizada	0,01 ± 0,003	0,0018 ± 0,00097

5.3.4 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO-PADRÃO UTILIZADA

Uma solução-padrão é uma solução com determinadas características padronizadas, que são utilizadas como referência durante um procedimento de verificação e/ou de calibração. No caso em estudo, as soluções-padrão são soluções cuja condutividade elétrica é conhecida e utilizada como referência durante os procedimentos de rotina de verificação e de calibração das sondas de condutividade. De acordo com as características das sondas de condutividade existentes na fábrica, são utilizadas soluções-padrão comerciais de cloreto de potássio (KCl) de concentrações diferentes, ou uma solução de leite/nata, preparada internamente.

As soluções-padrão preparadas na fábrica, a partir uma amostra de leite fresco ou de nata, poderão ser diluídas em água ou não. À data do levantamento destas informações, a solução utilizada na maioria das sondas de condutividade da receção de leite era preparada a partir de uma diluição em água (não era especificado o tipo de água), até a solução apresentar uma condutividade de 0,8 mS/cm. A condutividade elétrica definida não contemplava a temperatura referente pelo que, após averiguação, se constatou que esta grandeza física não era considerada, sendo superior à do processo, na maioria das vezes. Relativamente à avaliação da condutividade elétrica, esta era determinada utilizando um condutímetro portátil, considerado na fábrica como padrão, devido à periodicidade com que é realizada a sua calibração (semanalmente). Não obstante, para algumas sondas de condutividade estava previsto apenas a avaliação do seu comportamento quando submersa em nata ou leite fresco (amostras não diluídas). Este procedimento foi questionado, uma vez que não haveria razão aparente para a

diferenciação destas sondas de condutividade das mencionadas anteriormente. Além disso, este não é um procedimento válido já que, por definição, uma verificação a um aparelho deve ser realizada com uma solução cuja condutividade elétrica, no caso, seja conhecida e validada. Ora, a condutividade elétrica do leite fresco e/ou da nata não apresenta sempre o mesmo valor, podendo este variar com a fase de lactação, com a altura do ano, entre outros fatores que condicionam a composição do leite e, consequentemente, a sua condutividade elétrica [38].

Complementarmente, na fábrica são utilizadas 3 soluções de KCl, de concentrações diferentes, cujas condutividades elétricas também variam, consequentemente. Neste sentido, são utilizadas as soluções de 0,01 g/dm³ de KCl com uma condutividade elétrica de 1408 µS/cm, de 0,1 g/dm³ de KCl com 12,85 mS/cm e de 1 g/dm³ de KCl com 111,3 mS/cm. De notar que as diferentes condutividades elétricas mencionadas são à temperatura de referência de 25 °C, existindo no rótulo da embalagem uma tabela com a variação da condutividade elétrica, em função da temperatura. A escolha da solução mais indicada é realizada de acordo com o tipo de sinal que a sonda trabalha e de acordo com o *set-point* definido. Assim, numa primeira fase foi efetuado um levantamento de todas as soluções-padrão definidas para as diferentes sondas de condutividade, as quais se encontram apresentadas na Tabela 11, juntamente com o seu tipo de sinal. Neste processo constatou-se que, para algumas das sondas de condutividade utilizadas na etapa de padronização, não estão definidas as suas características, nem a solução-padrão utilizada na verificação, pois são da responsabilidade de outra empresa externa e, como tal, este trabalho não é realizado pelos técnicos da fábrica. As sondas abrangidas nesta situação são as que apresentam o código começado por “CT-“. Após o estudo realizado ao *set-point* das sondas de condutividade analógicas, apresentado na secção 0, foram avaliadas as soluções padrão que deveriam ser utilizadas para cada caso e apresentado na secção 5.4.2 a proposta de alteração.

Adicionalmente, com o intuito de padronizar a preparação da solução-padrão, utilizada nas sondas digitais da etapa de evaporação, foi realizado um estudo no qual foram feitas diluições à amostra-mãe, com água desmineralizada, até esta apresentar uma condutividade elétrica de 2,3 mS/cm, à temperatura de 9 °C. Para tal, utilizaram-se as seguintes amostras-mãe:

- Leite fresco;
- Nata;
- Leite pré-condensado do produto A, B, C e D.

Estas soluções foram caracterizadas, em percentagem mássica, quanto à sua matéria gorda e matéria seca. Na Figura 24 são expostos os valores médios, obtidos no ensaio, em percentagem relativamente à solução-mãe utilizada.

Tabela 11. Solução-padrão utilizada na verificação das sondas de condutividade

Área de atuação	Sonda de Condutividade	Sinal saída	Solução-padrão utilizada
Receção	SCD-0008	Analógico	Leite diluído (0,8 mS/cm)
	SCD-0009	Analógico	Leite diluído (0,8 mS/cm)
	SCD-0010	Analógico	Leite diluído (0,8 mS/cm)
	SCD-0021	Digital	Leite diluído (0,8 mS/cm)
	SCD-0022	Digital	Leite diluído (0,8 mS/cm)
	SCD-0023	Digital	Leite diluído (0,8 mS/cm)
	SCD-0024	Digital	Deteta leite
	SCD-0025	Digital	Deteta leite
Padronização	CT-102	Analógico	-
	SCD-0019	Analógico	Detetar nata
	SCD-0018	Analógico	Detetar nata
	CT-201	Analógico	-
	CT-101	Analógico	-
	CT-301	Analógico	-
Manteiga	SCD-0015	Analógico	0,1 g/dm ³ KCl
	SCD-0016	Analógico	0,1 g/dm ³ KCl
Evaporação	SCD-0011	Analógico	0,1 g/dm ³ KCl
	SCD-0013	Analógico	0,01 g/dm ³ KCl; 0,1 g/dm ³ KCl
	SCD-0017	Digital	0,01 g/dm ³ KCl; 0,1 g/dm ³ KCl
	SCD-0020	Digital	Leite diluído com 2,3 mS/cm
	SCD-0026*	Analógico	-

A escolha da solução-mãe a utilizar na preparação da solução-padrão deverá ser a que apresenta menor percentagem de produto. Desta forma, é garantida a menor percentagem de produto para as características já definidas pela fábrica (a solução apresentar 2,3 mS/cm). Tendo em consideração esta informação a solução-padrão deverá ser preparada a partir de leite pré-condensado do produto D e apresentar um fator de diluição próximo de 12, a 9 °C. A definição do fator de diluição é realizada atendendo às características padronizadas do produto, nomeadamente a matéria gorda e matéria seca.

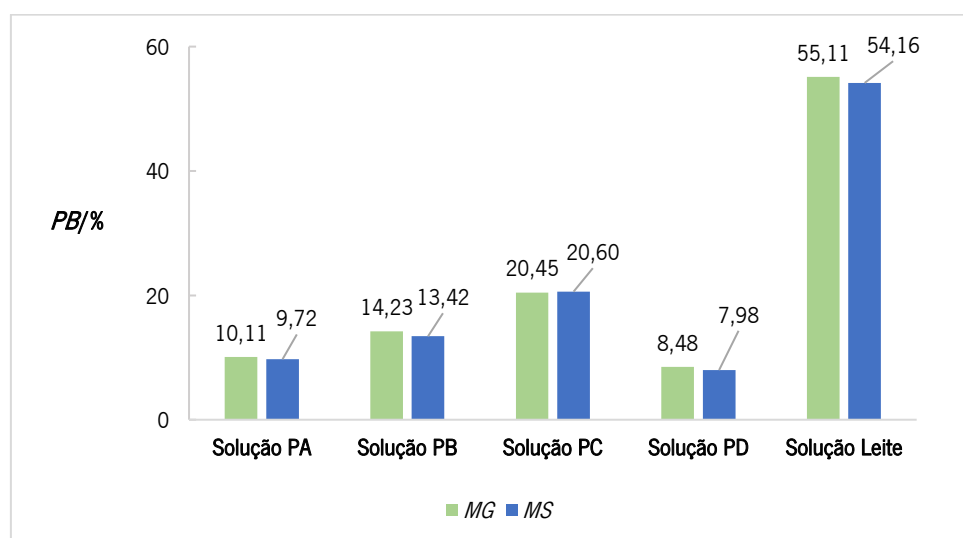


Figura 24. Caracterização das soluções-padrão preparadas internamente, em percentagem, relativamente ao produto base (PB).

5.3.5 DEFINIÇÃO DO CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO

Todos os equipamentos de medição e de monitorização, como é o caso das sondas de condutividade, que são alvo de um processo de verificação e/ou de calibração, necessitam de um critério de aceitação definido, por forma a aprovar o seu correto funcionamento. A definição do critério de aceitação é um processo ambíguo, no qual são vários os fatores que devem ser considerados, nomeadamente, a função mais restrita que este irá desempenhar (tolerância ao processo), especificações técnicas aconselhadas pelo fabricante, normas relativas à sua função, legislação específica do equipamento e, até mesmo, imposições técnicas. Não obstante, o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) define que o critério de aceitação (CA) deverá ser sempre igual ou superior à soma do módulo do erro do equipamento (ε) e da incerteza associada (I_a), para aprovação do equipamento, tal como enunciado na Equação 5 [33]. Mormente, a aprovação das sondas de condutividade, implica a aplicação e validação do critério de aceitação a todos os pontos de calibração/verificação definidos para a sonda de condutividade.

No que concerne às sondas de condutividade utilizadas na fábrica, estas apresentam, essencialmente, a função de medição da condutividade elétrica de uma solução. Consequentemente, poderá ser desencadeada uma resposta automática, como por exemplo, o fecho/abertura do sistema de

válvulas de controlo, o início do processo de evaporação ou o controlo analítico da água condensada retirada do leite, antes do seu envio para as caldeiras. Por outro lado, esta resposta poderá não ser automática, isto é, poderão ser os operadores os responsáveis pelo comando da ação que se deverá desencadear perante o alcance de uma determinada condutividade elétrica. Desta forma, as sondas de condutividade que desencadeiam uma resposta automática deveriam apresentar um critério de aceitação mais restrito, pois não existe controlo, nem interpretação do processo por um humano, comparativamente às restantes que enquanto não suscitam nenhuma ação, não se reflete perda de produto. Todavia, de forma a simplificar o processo, assumiu-se o caso mais restrito para definição do critério de aceitação.

Atendendo ao manual de instruções que acompanha as sondas de condutividade utilizadas na fábrica, este adverte para a existência de um erro máximo de medição, após calibração, de $\pm 1\%$ da leitura + incerteza da solução-padrão utilizada na calibração. Ora, na fábrica são utilizadas 3 soluções-padrão diferentes, a 0.01 g/dm^3 de KCl, a 0.1 g/dm^3 de KCl e a 1 g/dm^3 de KCl. Estas soluções têm uma incerteza de $\pm 0,5\%$ ou de $\pm 0,35\%$, dependendo da sua concentração. Como neste procedimento são utilizadas sempre soluções com incertezas diferentes, considerou-se apenas a maior incerteza na definição do critério de aceitação, ou seja, $\pm 0,5\%$. Somando as duas componentes, tem-se que o erro máximo de medição é de $\pm 1,5\%$. Todavia, considerou-se que, dadas as condições ambientais nas quais as sondas de condutividade se inserem e, dado o impacto que podem causar no sistema produtivo, adotou-se um critério de aceitação de $\pm 2,0\%$. Assim, durante o procedimento de verificação de uma sonda de condutividade, calcula-se o erro e compara-se este valor ao do critério de aceitação assumido. A sonda de condutividade apenas será aprovada se, para as soluções-padrão testadas, se obtiver um erro inferior ou igual a $2,0\%$. O erro, em percentagem é calculado de acordo com a Equação 4, isto é, a partir do quociente da diferença entre o valor de condutividade da solução-padrão, mencionado no rótulo da mesma, para a temperatura medida no controlador, e do valor de condutividade, que é efetivamente medido no controlador (ε_n), e o valor de condutividade da solução-padrão (Y_n).

5.3.6 ANÁLISE DO PROCEDIMENTO DE VERIFICAÇÃO DAS SONDAS DE CONDUTIVIDADE

O processo de verificação de uma sonda de condutividade ou de qualquer outro equipamento requer o seguimento de um procedimento pré-definido que reflita a realidade da fábrica, por forma a

padronizar as diferentes ações, evitando que estas se tornem subjetivas e variáveis, dependendo do técnico que as realiza. Apenas desta forma, é garantido o correto funcionamento destes equipamentos. Neste sentido, começou-se por avaliar a instrução técnica vigente à data (antes de qualquer intervenção ou proposta de alteração).

Na instrução de trabalho vigente constatou-se a não diferenciação do procedimento a adotar perante os dois tipos de sondas de condutividade existentes na fábrica, o que implica a não definição clara da solução-padrão a utilizar durante o procedimento. Contudo, apurou-se que, esta informação por vezes estava contida no relatório do equipamento, embora este não contemplasse o procedimento de preparação da solução-padrão nem referenciasse as suas características. Além disso, havia casos em que esta informação se contradizia, não se encontrando definida corretamente. Adicionalmente, devido à característica das sondas de condutividade digitais não gerarem sinais analógicos passíveis de serem convertidos num valor real da variável medida, o procedimento de verificação passa por colocar a sonda de condutividade numa solução que apresente exatamente a condutividade elétrica definida para o *set-point* desta e observar a resposta desencadeada, o que também não se encontra descrito e definido na instrução de trabalho vigente. Complementarmente, a garantia da condutividade elétrica da solução-padrão a utilizar deveria ser realizada com um aparelho calibrado num laboratório externo acreditado, o que também não se verificou.

Com o intuito de validar o limite mínimo definido do aparelho (0,00 mS/cm), a instrução técnica vigente define que a sonda, após se encontrar isenta de resíduos, deverá ser colocada em água destilada e ler 0,00 mS/cm. Qualquer valor que se distancie do valor esperado é contabilizado como sendo o erro do aparelho. Este procedimento não deve ser adotado uma vez que o cálculo do erro apenas deverá ser efetuado, a partir da leitura dos valores conhecidos da solução-padrão utilizada.

Adicionalmente, verificou-se que nenhum documento referente às sondas de condutividade alertava para a dependência desta grandeza física, em relação à temperatura. Para além disso, no decurso deste trabalho, foi ainda observado que os técnicos não se encontravam sensibilizados para esta questão, o que se revelou preocupante, dado que a aprovação de alguns destes equipamentos poderia estar em causa, quer pela preparação da solução-padrão, quer, até mesmo, pela consulta da tabela que acompanha as soluções de KCl. A preparação da solução-padrão ocorria à temperatura ambiente

(sensivelmente pelos 20 °C, podendo esta variar com o tempo de preparação, com o local de preparação e, até mesmo, com a altura do ano), ao invés da temperatura do processo. Contudo, esta situação só revela ser problemática se a temperatura do processo for superior à que se encontra a solução-padrão durante o processo de verificação. Além desta questão, o facto de não ser incluída a temperatura da condutividade elétrica referente no relatório de verificação das sondas de condutividade, condena a análise e consulta futura destes documentos. Mormente, tornou-se claro que a verificação destes equipamentos não deveria passar apenas pela verificação do sensor de condutividade elétrica, mas também, pelo sensor de temperatura que compõe uma sonda de condutividade. Isto deveu-se, principalmente, ao facto de que as sondas de condutividade funcionam com uma compensação térmica, ou seja, a condutividade elétrica medida é extrapolada para a temperatura do processo efetivamente medida. Desta forma, é aconselhada a utilização de um termómetro-padrão durante o procedimento de verificação, por forma a validar a eficiência do sensor de temperatura. Entenda-se por termómetro-padrão aquele que é calibrado periodicamente, por uma entidade externa acreditada.

Por fim, não há qualquer referência à montagem do sensor na linha, aquando da sua devolução ao processo. É de salientar que, de acordo com o fornecedor destes equipamentos, a sonda deverá ser colocada na mesma direção do fluxo, bem como deverá estar completamente imersa no meio, sob pena de não realizar leituras corretas.

5.4 MELHORIA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

Após a análise de todas as causas enunciadas na secção anterior, bem como dos dados recolhidos, procedeu-se à implementação de algumas ações corretivas, de forma a mitigar a causa raiz, mas, sobretudo com o intuito de otimizar o processo de produção. Primeiramente, validaram-se os *set-points* definidos para as sondas de condutividade analógicas da fábrica. Seguidamente, foram analisadas as gamas de trabalho definidas para as sondas de condutividade analógicas e sugeriu-se a adaptação de algumas para a realidade da sua função. Por fim, definiu-se que solução-padrão se deveria utilizar durante o procedimento de verificação/calibração, especificando quais as suas características.

5.4.1 VALIDAÇÃO DO *SET-POINT*

Após análise aos vários *set-points* definidos, para as sondas analógicas da fábrica, constatou-se que apenas a sonda posicionada na linha de enchimento do Tanque 14 carecia de mais atenção. Esta sonda de condutividade tem como função detetar a nata, da mesma forma que as sondas de condutividade posicionadas na linha da manteiga. Uma vez que a condutividade média da nata, à temperatura do processo, é de $(1,07 \pm 0,18)$ mS/cm, uniformizou-se o *set-point* destes equipamentos para 0,4 mS/cm. Após a implementação deste novo *set-point* recolheram-se 2 amostras, durante o arrasto inicial e 1 amostra durante o arrasto final. Na Figura 25 encontram-se os resultados médios da caracterização das amostras recolhidas, quanto à percentagem mássica de matéria gorda e de matéria seca. Estes valores são expressos em relação à percentagem de nata que a amostra contém.

De acordo com a Figura 25, a segunda amostra, recolhida durante o arrasto inicial, apresentava na sua constituição cerca de 94 % de nata, sendo por isso, praticamente nata. Contudo, o arrasto realizado demorou apenas 5 s, pelo que se verificou uma redução no desperdício associado. Adicionalmente, observou-se uma diferença significativa nas amostras recolhidas durante os diferentes arrastos. Para este facto não foram encontradas explicações, até porque seria necessário um acompanhamento ao equipamento durante mais tempo, de forma a estudar a tendência do comportamento deste equipamento. Por fim, foi sugerida a adoção de um intervalo de *set-point*, de forma idêntica ao já definido. Neste caso, para a água foi sugerido um *set-point* de 0,05 mS/cm e para a nata de 0,4 mS/cm.

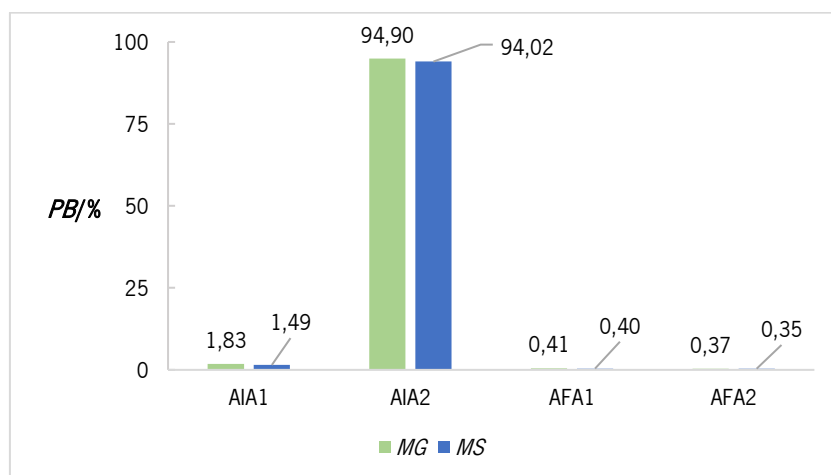


Figura 25. Caracterização dos arrastos realizados à linha de enchimento do tanque 14, após intervenção.

5.4.2 ALTERAÇÃO DA GAMA DE TRABALHO DAS SONDAS DE CONDUTIVIDADE

A definição da gama de trabalho deverá ser efetuada de acordo com a condutividade elétrica dos produtos que definem a variável de controlo do sistema. Uma vez que a condutividade elétrica dos vários produtos não difere muito entre si e, com o intuito de facilitar e uniformizar as gamas de trabalho definidas para as sondas de condutividade da fábrica, foi sugerida a adoção de uma única gama de trabalho. Encontram-se de fora desta lista a sonda de condutividade SCD-0013, instalada na etapa de evaporação e as sondas de condutividade instaladas na estação de osmose inversa e na estação de CIP, devido às características diferenciadas dos produtos. Assim, e atendendo às especificações técnicas dos equipamentos, sugeriu-se a adoção de uma gama de trabalho de 0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 50 mS/cm .

5.4.3 ALTERAÇÃO DA SOLUÇÃO-PADRÃO UTILIZADA NA VERIFICAÇÃO

A solução-padrão a utilizar durante o procedimento de verificação deverá possuir um valor de condutividade elétrica próxima do *set-point* definido, para as sondas analógicas. Contudo, no caso de ser uma sonda de condutividade digital, então é essencial que a condutividade elétrica da solução seja exatamente a definida e à temperatura do processo. Neste último caso, por se tratar de soluções com características muito específicas, estas não existem no mercado, sendo, por isso, preparadas internamente. Na Tabela 12 as células preenchidas a amarelo correspondem às soluções-padrão que foram alteradas.

Tabela 12. Lista das soluções-padrão sugeridas que deverão ser utilizadas na verificação das SCD

Área de atuação	Sonda de Condutividade	Sinal saída	Solução-Padrão sugerida
Receção	SCD-0008	Analógico	0,01 g/dm ³ de KCl
	SCD-0009	Analógico	0,01 g/dm ³ de KCl
	SCD-0010	Analógico	0,01 g/dm ³ de KCl
	SCD-0021	Digital	Leite diluído (0,8 mS/cm)
	SCD-0022	Digital	Leite diluído (0,8 mS/cm)
	SCD-0023	Digital	Leite diluído (0,8 mS/cm)
	SCD-0024	Digital	Leite diluído (0,8 mS/cm)
	SCD-0025	Digital	Leite diluído (0,8 mS/cm)
Padronização	CT-102	Analógico	-
	SCD-0019	Analógico	0,01 g/dm ³ de KCl
	SCD-0018	Analógico	0,01 g/dm ³ de KCl
	CT-201	Analógico	-
	CT-101	Analógico	-
	CT-301	Analógico	-
Manteiga	SCD-0015	Analógico	0,01 g/dm ³ de KCl
	SCD-0016	Analógico	0,01 g/dm ³ de KCl
Evaporação	SCD-0011	Analógico	0,1 g/dm ³ de KCl
	SCD-0013	Analógico	0,01 g/dm ³ de KCl; 0,1 g/dm ³ de KCl
	SCD-0017	Digital	0,01 g/dm ³ de KCl; 0,1 g/dm ³ de KCl
	SCD-0020	Digital	Solução de leite pré condensado do produto D diluída (2,3 mS/cm)
	SCD-0026	Analógico	0,01 g/dm ³ de KCl

Para as sondas SCD-0008, SCD-0009, SCD-0010, a alteração deveu-se ao facto de se se tratar de sondas de condutividade analógicas e não digitais. Esta alteração visa a diminuição de erros aquando do processo de verificação destes equipamentos. Relativamente às sondas de condutividade SCD-0024 e SCD-0025, alterou-se a solução-padrão utilizada, pois a anteriormente definida era suscetível a um erro elevado. Para estas sondas, estava definido apenas que deveriam detetar a presença ou ausência de leite. Ora, se no dia que for feita a verificação, a amostra de leite apresentar uma condutividade elétrica superior ao normal, este equipamento poderá ser aprovado erradamente, pois quando se estiver perante

o caso de uma condutividade inferior não o fará. Uma vez que nesta etapa não se verificou nenhum desperdício significativo, aquando da receção das matérias-primas, sugeriu-se apenas a adoção de uma solução de leite fresco, diluído em água desmineralizada, até esta apresentar 0,8 mS/cm, a 9 °C. No que concerne à etapa de padronização, as duas sondas de condutividade existentes, à responsabilidade da fábrica, eram verificadas com uma amostra de nata, na qual era avaliado se a sonda detetava nata ou não. Pela mesma razão enunciada anteriormente, também este processo apresentava um erro demasiado elevado. Adicionalmente, estas sondas de condutividade apresentam um sinal analógico, pelo que a solução-padrão a utilizar deverá ser uma existente no mercado, de KCl. Uma vez que a nata apresenta uma condutividade elétrica de $(1,07 \pm 0,18)$ mS/cm, sugeriu-se a adoção da solução 0,01 g/dm³ de KCl. Dado que as sondas de condutividade instaladas na linha da manteiga apresentam as mesmas características, a verificação a estas deverá ser realizada com a mesma solução-padrão, de 0,01 g/dm³ de KCl.

Na etapa de evaporação, após a análise do estudo desenvolvido à solução-padrão preparada internamente, concluiu-se que esta deveria ser preparada a partir de uma amostra de leite pré-condensado do produto com maior teor de matéria-seca. Esta escolha deveu-se pelo objetivo de minimizar a percentagem de produto a ser descartado. Assim, a solução deveria apresentar um fator de diluição de 12. Esta deve ser preparada, a partir da diluição de leite pré-condensado do produto D. Para além disso, dever-se-ia preparar um volume suficiente que cobrisse o sensor, garantindo a ausência de bolhas de ar. Por fim, definiu-se que a amostra deveria ser preparada num recipiente de plástico, de modo que a sonda de condutividade não tocasse nas laterais nem no fundo deste. Por último, quando se criou a ficha técnica da sonda SCD-0026, por esta ser uma sonda de condutividade analógica, definiu-se que a verificação a este equipamento deveria ser efetuada com uma solução de KCl a 0,01 g/dm³.

É de salientar que durante a calibração a qualquer aparelho deverão ser utilizadas, no mínimo, 2 soluções-padrão, de condutividades elétricas diferentes. Assim, para as sondas analógicas apresentadas na Tabela 12, definiu-se que seriam utilizadas as soluções 0,01 g/dm³ de KCl e 0,1 g/dm³ de KCl.

5.5 PADRONIZAÇÃO

Nesta secção pretende-se registar todas as propostas de melhoria apresentadas, bem como as principais aprendizagens, de forma a facilitar uma consulta futura. Ademais, o registo dos procedimentos a adotar durante determinados procedimentos permite a uniformização destes e a garantia da correta adoção. Neste sentido, é apresentada a instrução de trabalho criada para realizar a verificação das sondas de condutividade da fábrica, bem como a calibração das sondas de condutividade analógicas. Por último, é definido o plano de arrastos que deverá ser adotado durante o processo de produção do leite em pó.

5.5.1 PROCEDIMENTO DE VERIFICAÇÃO DAS SONDAS DE CONDUTIVIDADE

A definição/criação da nova instrução de trabalho (IT) passou por, primeiramente, fazer a distinção entre os procedimentos a adotar durante o processo de verificação a uma sonda de condutividade analógica e a uma digital. Devido à necessidade de adaptação dos procedimentos de segurança, o documento criado encontra-se organizado pela área de atuação, onde a sonda de condutividade se insere, nomeadamente, receção, padronização, evaporador e estação de CIP e de osmose. O procedimento de segurança a adotar, antes do começo da verificação de uma sonda de condutividade, apresenta diferenças significativas, se se tratar de uma sonda instalada na estação de CIP, devido à natureza dos produtos aí utilizados. Contudo, neste documento apenas será apresentado o procedimento geral de verificação, não referenciando o procedimento de segurança definido. Ademais, foi definida a periodicidade de verificação das sondas de condutividade analógicas para 180 dias e para as sondas de condutividade digitais para 120 dias. A descrição do procedimento de verificação encontra-se no Anexo F.

5.5.2 CRIAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DAS SONDAS DE CONDUTIVIDADE

A calibração das sondas de condutividade analógicas da fábrica está prevista no caso do equipamento não ser aprovado, aquando do procedimento de verificação ou se a sonda de condutividade, quando exposta ao ar, não medir 0 mS/cm. A calibração das sondas de uma sonda de condutividade analógicas é realizada de 2 formas:

- Através da medição com uma solução-padrão de condutividade conhecida;

- Introduzindo a constante exata da célula (k) do sensor de condutividade. O valor exato de k é fornecido no certificado de qualidade do sensor.

A calibração, através de uma solução-padrão, é realizada introduzindo o valor exato da condutividade elétrica, à temperatura em que a solução se encontra. Para tal, idealmente, são utilizadas 3 soluções-padrão de KCl com concentrações diferentes: 0,001 g/dm³ KCl, 0,1 g/dm³ KCl e 1 g/dm³. A forma como os valores são introduzidos varia de acordo com o modelo da sonda e, para tal, é consultado o manual de instruções operacionais do equipamento em questão.

5.5.3 DEFINIÇÃO PLANO DE REALIZAÇÃO DE ARRASTOS

Todo o processo de produção tem início com um arrasto à linha. Este arrasto tem como principal função a eliminação de possíveis resíduos das soluções químicas utilizadas no CIP. O comando deste procedimento dependerá da linha onde será realizado, podendo ser automático ou manual. Um arrasto automático é desencadeado de acordo com o sinal proveniente das sondas de condutividade. Por outro lado, a existência de linhas não automáticas exige que este comando seja dado pelo operador de serviço.

Pelo contrário, o ciclo de produção termina com um arrasto final à linha. Este arrasto é realizado com o intuito de remover o excedente de produto que se acumulou na linha, preparando-a, assim, para o CIP.

Adicionalmente, sempre que ocorre uma paragem no processo de produção, é realizado pelo menos um arrasto à linha. Desta forma, previne-se o desenvolvimento da carga microbiana, bem como a formação de incrustações. No momento de paragem, pode ser realizado um arrasto e, quando se reinicia o processo, poderá ser realizado outro arrasto, estando ao critério do operador responsável o número de arrastos a realizar. É de salientar que em cada arrasto realizado é perdido produto, sendo, por isso, crucial realizar o mínimo de arrastos possíveis, não colocando nunca em risco a qualidade do produto. Desta forma, definiu-se que é realizado apenas um arrasto, o qual deverá ser realizado no momento de paragem da linha.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas no decurso deste projeto, face aos resultados alcançados e discutidos anteriormente. Ademais, são ainda referidas algumas propostas futuras, para otimização do processo de produção. Estas propostas não foram implementadas devido a limitações económicas e temporais subjacentes.

6.1 CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como principal objetivo a otimização de um processo de produção do leite em pó, numa empresa de laticínios dos Açores. Neste sentido, primeiramente, as amostras recolhidas durante os arrastos foram caracterizadas e, seguidamente, foi definido um plano que visasse a sua diminuição. Para tal, recorreu-se à metodologia de melhoria contínua adotada pela empresa, IVAA. Esta metodologia baseia-se na DMAIC, pelo que são utilizadas várias ferramentas de melhoria contínua no decurso da aplicação do método.

Durante o acompanhamento do processo de produção foi identificada, consistentemente, perda de produto, sempre que se realizava um arrasto com água desmineralizada às linhas de enchimento. Nas etapas de padronização e de evaporação foi onde se verificou uma perda de produto mais acentuada e, por isso, o estudo desenvolvido centralizou-se nestas etapas.

A principal causa para a perda de produto observada ao longo de todo o processo produtivo foi atribuída às sondas de condutividade instaladas nas linhas de enchimento. Por isso, foi traçado e implementado um plano com ações corretivas que visasse a sua diminuição. Este plano incluiu: definição do sinal de saída de todas as sondas de condutividade da fábrica (digital ou analógico); análise e validação do *set-point* já definido e da gama de trabalho; definição do critério de aceitação a ser utilizado durante o procedimento de verificação e; definição da solução-padrão a utilizar no procedimento de verificação.

Nas amostras recolhidas na etapa de padronização, obteve-se que, no máximo, cerca de 21 % do seu conteúdo era nata. Após intervenção ao *set-point* da sonda de condutividade este valor aumentou, contudo, o tempo de resposta da sonda é muito inferior. Adicionalmente, das amostras recolhidas durante a etapa de evaporação, constatou-se que os produtos que apresentavam maior percentagem de matéria gorda (produto B e C) são os que representam maior perda de produto associada. Estas amostras continham cerca de 21 % de produto base na sua constituição.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

Futuramente, é recomendada a aquisição de um condutivímetro de bancada, para a preparação das soluções-padrão, bem como para outras monitorizações efetuadas na fábrica. Estes aparelhos apresentam um erro de leitura inferior aos aparelhos portáteis, pelo que as verificações efetuadas às sondas de condutividade seriam mais fidedignas. Para além disso, uma vez que este aparelho iria servir de padrão, aconselha-se que seja efetuada uma calibração periódica nas entidades acreditadas. Em alternativa, é aconselhado que, pelo menos, o condutivímetro que atualmente é utilizado na preparação das soluções-padrão seja calibrado nas entidades acreditadas, periodicamente, a fim de validar as verificações efetuadas.

Adicionalmente, verificou-se que, caso as linhas de transmissão se encontrem danificadas, a transmissão do sinal analógico entre o transdutor e o controlador é afetada. Desta forma, a leitura efetuada pelo aparelho apresenta um erro elevado, o qual poderá justificar, por exemplo, a impossibilidade de calibração do aparelho ou a apresentação de leituras diferentes no controlador (autómato) e no transmissor da sonda. Assim, sempre que da verificação do aparelho advém um erro superior ao definido, o passo seguinte deverá ser a verificação às linhas de transmissão.

Devido à escassez de tempo, não foi possível otimizar ainda mais os resultados da sonda instalada na linha de enchimento de nata do TQ 14. Contudo, para trabalhos futuros é recomendada a avaliação da adoção de um *set-point* limitado para esta sonda, uma vez que este é mais preciso. De forma a padronizar todas as soluções-padrão utilizadas na fábrica, é ainda recomendado a extensão do estudo desenvolvido, para as sondas de condutividade digitais instaladas na linha de receção de leite.

Por último, recomenda-se o desenvolvimento de um estudo que contabilize as perdas de produto, por etapa de processamento, bem como o seu impacto económico. Mormente, que seja conduzida a avaliação de um projeto que vise o reaproveitamento dos resíduos de produto lácteo gerados aquando dos arrastos. Desta forma, verificar-se-ia uma redução na perda de produto, a limpeza aos equipamentos seria simplificada e a carga sentida nos sistemas de drenagem, bem como na ETARI da empresa seria aliviada. Contudo, a minimização de desperdício também pode ser alcançada através da adoção de algumas práticas mais simples, tais como, o reforço do suporte das tubagens, de forma a suportarem as vibrações inerentes ao processo (pretende-se minimizar os derrames ocorridos nas juntas de ligação das tubagens); verificar se as conexões das tubagens se encontram hermeticamente isoladas, pois a entrada de ar traz repercussões como a formação de espuma; a manutenção de um chão seco facilita a identificação de possíveis derrames, e, por fim; deverá ser realizado um estudo a todas as sondas de nível instaladas nos tanques de armazenamento, pois o seu incorreto funcionamento poderá contribuir para o aumento do desperdício.

Referências Bibliográficas

- [1] D. E. C. Na e C. Hipertensiva, *Handbook of Drying for Dairy Products*, 1.^a edição. Wiley Blackwell, 2017.
- [2] OECD/Food and Agriculture Organization of the United Nations, «Dairy and dairy products», *OECD-FAO Agric. Outlook 2022-2031*, pp. 212–223, 2022, doi: <https://doi.org/10.1787/191239cc-en>.
- [3] P. F. Fox, T. Uniacke-Lowe, P. L. H. McSweeney, e J. A. O'Mahony, *Dairy Chemistry and Biochemistry*, 2.^a edição. 2015. doi: 10.1007/978-3-319-14892-2.
- [4] S. B. Dhull, A. Singh, e P. Kumar, *Food Processing Waste and Utilization*, 1.^a edição. CRC Press, 2023. doi: 10.1201/9781003207689.
- [5] D. C. Montgomery, *Introduction To Statistical Quality Control.*, 6.^a edição., vol. 10, n. 1. John Wiley & Sons, Inc, 1985. doi: 10.2307/2988304.
- [6] G. Bylund, *Dairy Processing Handbook*, vol. G3. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB, 1995.
- [7] PNPAS, «Promoção da alimentação saudável-Leite», 2023. <https://alimentacaosaudavel.dgs.pt/alimento/leite/> (acedido 20 de Janeiro de 2023).
- [8] M. Shahbandeh, «Global consumption of fluid milk 2022, by country», 2023. <https://www.statista.com/statistics/272003/global-annual-consumption-of-milk-by-region/> (acedido 23 de Janeiro de 2023).
- [9] Instituto Nacional de Estatísticas, «Estatísticas Agrícolas - 2021», Lisboa, 2021. [Em linha]. Disponível em: www.ine.pt
- [10] A. Pérez-Sánchez e V. Olivera-Romero, «Techno-economic evaluation of a skimmed milk powder production process», *Tecnológicas*, vol. 25, n. 55, p. e2381, 2022, doi: <https://doi.org/10.22430/22565337.2381>.
- [11] M. A. Farag, I. Khalifa, M. Gamal, e I. A. Bakry, «The chemical composition, production technology, authentication, and QC analysis of dried milk», *Int. Dairy J.*, vol. 133, p. 105407, 2022, doi: 10.1016/j.idairyj.2022.105407.
- [12] H. C. Deeth e M. J. Lewis, *High Temperature Processing of Milk and Milk Products*, Firts.
- [13] X. Wei, S. Agarwal, e J. Subbiah, «Heating of milk powders at low water activity to 95°C for 15 minutes using hot air-assisted radio frequency processing achieved pasteurization», *J. Dairy Sci.*, vol. 104, n. 9, pp. 9607–9616, 2021, doi: 10.3168/jds.2021-20449.
- [14] M. A. Farag, I. Khalifa, M. Gamal, e I. A. Bakry, «The chemical composition, production technology, authentication, and QC analysis of dried milk», *Int. Dairy J.*, vol. 133, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105407>.
- [15] FAO e WHO, «Codex standard for milk powders and cream powder», *Codex Aliment.*, p. 6, 1999, [Em linha]. Disponível em: <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/codex->

alimentarius/en/

- [16] H. J. Wang e D. S. Lee, *Packaging and the Shelf Life of Milk Powder Products*. Elsevier, 2019. doi: 10.1016/b978-0-08-100596-5.22647-4.
- [17] S. A. Pérez e R. V. Olivera, «Techno-Economic Evaluation of a Skimmed Milk Powder Production Process», *Tecnológicas*, vol. 25, n. 55, p. e2381, 2022, doi: 10.22430/22565337.2381.
- [18] N. A. McCarthy, J. B. Magan, C. M. Kelleher, A. L. Kelly, J. A. O'Mahony, e E. G. Murphy, «Heat treatment of milk: Effect on concentrate viscosity, powder manufacture and end-product functionality», *Int. Dairy J.*, vol. 128, p. 105289, 2022, doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105289.
- [19] S. N. Moejes e A. J. B. van Boxtel, «Energy saving potential of emerging technologies in milk powder production», *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 60, pp. 31–42, 2017, doi: 10.1016/j.tifs.2016.10.023.
- [20] R. B. Baird, A. D. Eaton, e E. W. Rice, *Standard methods: For the examination of water and waste water*, 23.ª, vol. 186, n. 1. 1990. doi: <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>.
- [21] I. Stefanov, B. Vlaeminck, e V. Fievez, «A novel procedure for routine milk fat extraction based on dichloromethane», *J. Food Compos. Anal.*, vol. 23, n. 8, pp. 852–855, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.03.016>.
- [22] ISO 23318:2022 | IDF 249, «Milk, dried milk products and cream Determination of fat content Gravimetric method». p. 11, 2022. doi: ISO/TC 34/SC 5.
- [23] ISO 6734:2010 | IDF 15:2010, «Sweetened condensed milk Determination of total solids content (Reference method)». p. 5, 2010. doi: ISO/TC 34/SC 5.
- [24] S. Kale, S. Khedekar, G. Inamdar, e S. Mohite, «Automated Cleaning in Dairy Industry using CIP Method», *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.*, vol. 2, n. 4, p. 4, 2017.
- [25] K. H. Teh, S. Flint, J. Brooks, e G. Knight, *Biofilms in the Dairy Industry*, 1.ª ed. Wiley Blackwell, 2015.
- [26] R. Prendergast, M. D. Murphy, F. Buckley, e J. Upton, «The effects of seasonality, management, infrastructure and automation on the milking efficiency of herringbone and rotary milking parlors in Ireland», *J. Dairy Sci.*, p. 16, 2023, doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23540>.
- [27] F. K. Konstantinidis, V. Balaska, S. Symeonidis, D. Tsilis, S. G. Mouroutsos, e L. Bampis, «Automating dairy production lines with the yoghurt cups recognition and detection process in the Industry 4.0 era», *Proced. Comput. Sci.*, vol. 217, pp. 918–927, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.289>.
- [28] P. N. Paraskevopoulos, *Modern Control Engineering (Automation and Control Engineering)*, 1.ª edição. World Wide Web.
- [29] D. E. Seborg, T. F. Edgar, e F. J. Doyle III, *Process Dynamics and Control*, 4.ª edição. Wiley, 2016.
- [30] S. M. Jafari e N. Malekjani, Eds., *Transporting Operations of Food Materials within Food Factories*, 1.ª edição. Nikki P. Levy, 2022.

- [31] R. B. Northrop, *Introduction to instrumentation and measurements*, 2.ª edição. Taylor & Francis Group, 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.taylorandfrancis.com>
- [32] M. Krndija, M. Latinović, G. Broćeta, e G. Savić, «Measuring Equipment Calibration and Determination of the Initial Calibration Interval», 2001, vol. 20, n. 2, pp. 411–421. doi: 10.7251/STP2014411K.
- [33] I. Godinho, M. do C. Ferreira, e O. Pellegrino, «Vocabulário Internacional Termos de Metrologia Legal», 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.ipq.pt/metrologia/publicacoes/>
- [34] A. De Diego, A. Usobiaga, L. A. Fernández, e J. M. Madariaga, «Application of the electrical conductivity of concentrated electrolyte solutions to industrial process control and design: From experimental measurement towards prediction through modelling», *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 20, n. 2, pp. 65–78, 2001, doi: 10.1016/S0165-9936(00)00081-9.
- [35] SAS, «Conductivity-theory and practice», *Analytical Radiometer*, vol. D61M002. pp. 1–50, 2004. [Em linha]. Disponível em: <https://www.tau.ac.il/~chemlaba/Files/Theoryconductivity.pdf>
- [36] M. Sharifi e B. Young, «Electrical resistance tomography (ERT) applications to chemical engineering», *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 91, n. 9, pp. 1625–1645, 2013, doi: 10.1016/j.cherd.2013.05.026.
- [37] J. H. Hwang, A. H. Jung, S. S. Yu, e S. H. Park, «Rapid freshness evaluation of cow milk at different storage temperatures using in situ electrical conductivity measurement», *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 81, n. August, p. 13, 2022, doi: 10.1016/j.ifset.2022.103113.
- [38] M. Henningsson, K. Östergren, e P. Dejmek, «The electrical conductivity of milk - The effect of dilution and temperature», *Int. J. Food Prop.*, vol. 8, n. 1, pp. 15–22, 2005, doi: 10.1081/JFP-200048143.
- [39] D. R. Kiran, *Work Organization and Methods Engineering for Productivity*, 1.ª edição. Mathew Deans, 2020.
- [40] G. C. P. Condé, P. C. Oprime, M. L. Pimenta, J. E. Sordan, e C. R. Bueno, «Defect reduction using DMAIC and Lean Six Sigma: a case study in a manufacturing car parts supplier», *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 40, n. 9, pp. 2184–2204, 2023, doi: 10.1108/IJQRM-05-2022-0157.
- [41] S. Sunadi, H. H. Purba, e S. Hasibuan, «Implementation of statistical process control through pdca cycle to improve potential capability index of drop impact resistance: A case study at aluminum beverage and beer cans manufacturing industry in indonesia», *Qual. Innov. Prosper.*, vol. 24, n. 1, pp. 104–127, 2020, doi: 10.12776/QIP.V24I1.1401.
- [42] P. Gangidi, «A systematic approach to root cause analysis using 3 × 5 why's technique», *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 10, n. 1, p. 16, 2017, doi: 10.1108/IJLSS-10-2017-0114.
- [43] J. Geraldi e T. Lechter, «Gantt charts revisited: A critical analysis of its roots and implications to the management of projects today», *Int. J. Manag. Proj. Bus.*, vol. 5, n. 4, pp. 578–594, 2012, doi: 10.1108/17538371211268889.
- [44] O. Joochim e J. Meekaew, «Application of TPM in production process of aluminium stranded conductors», *ICIMSA 2016 - 2016 3rd Int. Conf. Ind. Eng. Manag. Sci. Appl.*, pp. 1–5, 2016, doi:

10.1109/ICIMSA.2016.7503996.

- [45] V. Westergaard, *Milk Powder Technology Evaporation and Spray Drying*, 4.ª edição. Copenhagen, Denmark: GEA, 1994. doi: 10.1016/j.matchar.2008.09.002.
- [46] W. Ferreira, J. Sousa, e N. Lima, *Microbiologia*, 1.ª edição. Lisboa, 2010.
- [47] N. P. Wong, *FUNDAMENTALS OF DAIRY CHEMISTRY*, 3.ª edição. Van Nostrand Reinhold Company NewYork, 1988. doi: 10.1007/978-1-4615-7050-9.

Anexos

ANEXO A – FLUXOGRAMAS ANALÍTICOS	109
ANEXO B – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DOS VÁRIOS ARRASTOS	111
ANEXO C – CALENDARIZAÇÃO DAS TAREFAS	133
ANEXO D – LISTA DAS SONDAS DE CONDUTIVIDADE DA FÁBRICA E DA RESPETIVA MARCA/ MODELO	114
ANEXO E – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DOS VÁRIOS PRODUTOS INTERMÉDIOS E DAS SOLUÇÕES-PADRÃO PREPARADAS	115
ANEXO F – PROCEDIMENTO DE VERIFICAÇÃO DAS SONDAS DE CONDUTIVIDADE	117

Anexo A – Fluxogramas analíticos

Matéria seca

As amostras recolhidas, de acordo com o plano de amostragem definido, foram analisadas quanto à matéria seca (*MS*), obedecendo ao procedimento analítico descrito na Figura A1.

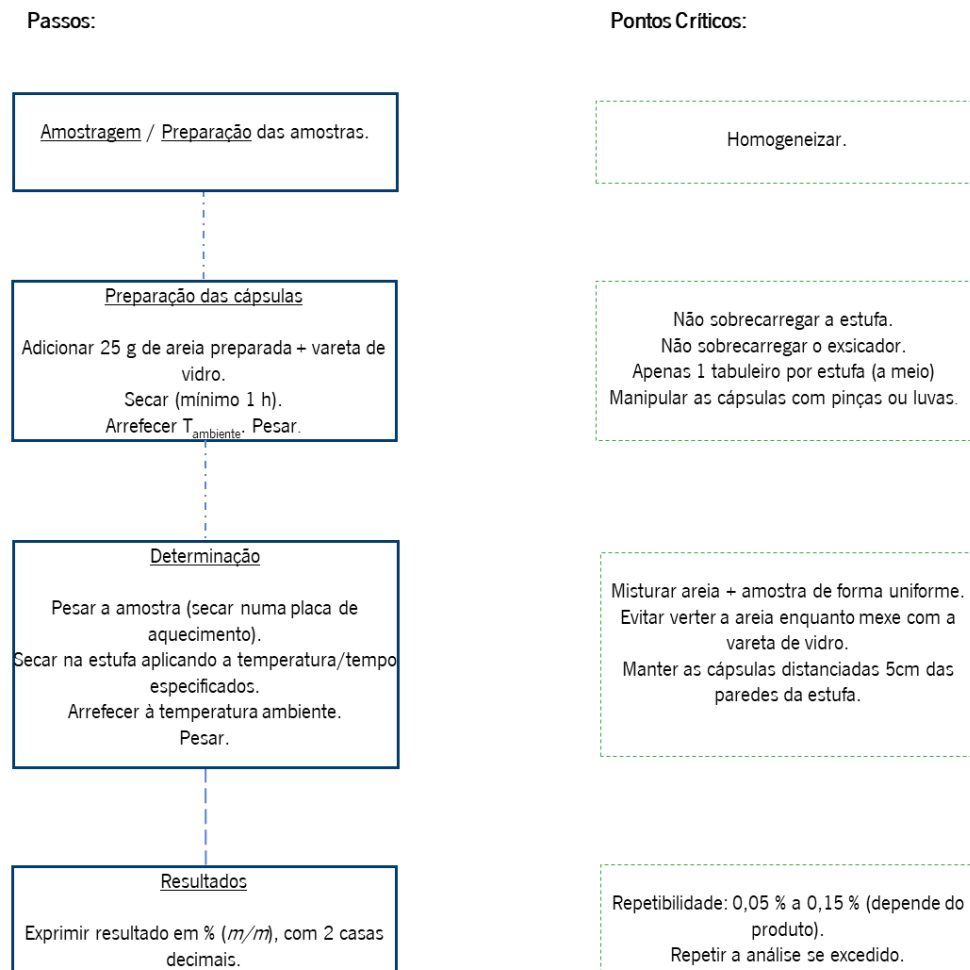


Figura A1. Fluxograma analítico para determinação da matéria seca de uma amostra.

A matéria seca de uma amostra, expressa em percentagem mássica, é determinada utilizando a fórmula:

$$MS/\% = \frac{m_3 - m_1}{m_2} \times 100$$

Na qual:

- m_1 representa a massa da cápsula e da tampa, vazia (sem amostra)
- m_2 representa a massa da amostra
- m_3 representa a massa da cápsula, da tampa e da amostra, depois de secar

Matéria Gorda

A matéria gorda (*MG*) das amostras recolhidas foi analisada obedecendo ao procedimento analítico descrito na Figura A2.

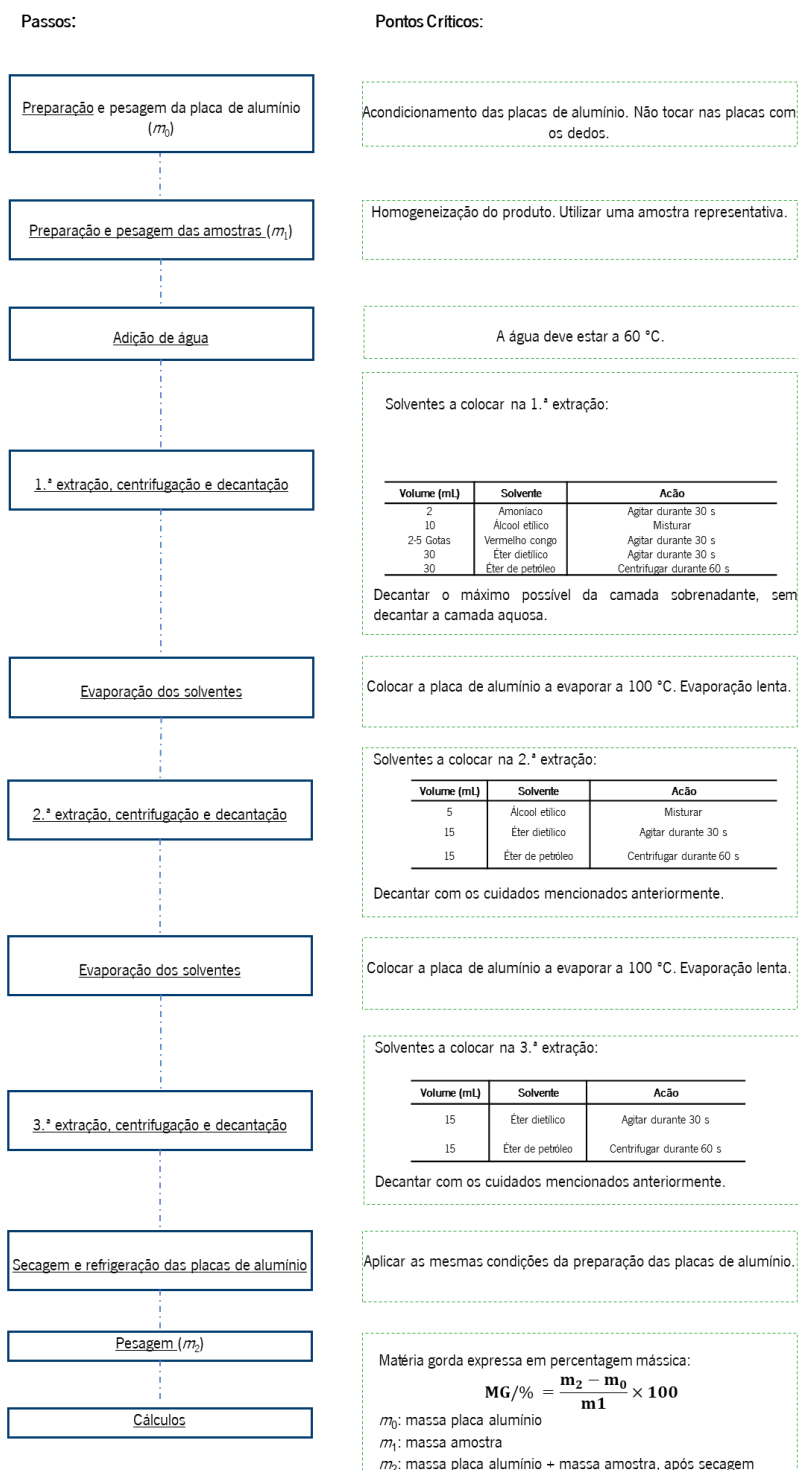


Figura A2. Fluxograma analítico para determinação da matéria gorda de uma amostra.

Anexo B – Caracterização das amostras dos vários arrastos

Na Tabela A1 e na Tabela A2 encontram-se os dados obtidos na caracterização das amostras 1 e 2, recolhidas durante os arrastos inicial (AI) e final (AF), para as etapas de padronização e de evaporação. Os valores de condutividade elétrica apresentados são relativos à temperatura de 25 °C, adotada como temperatura de referência. As amostras foram ainda caracterizadas quanto à matéria gorda e matéria seca e os valores estão expressos em percentagem mássica.

Tabela A1. Caracterização das amostras 1 e 2, recolhidas durante os AI e AF, na etapa de evaporação

		Produto A			Produto B			Produto C			Produto D		
		σ / (mS/cm)	MG/%	MS/%	σ / (mS/cm)	MG/%	MS/%	σ / (mS/cm)	MG/%	MS/%	σ / (mS/cm)	MG/%	MS/%
Amostra 1 Arrasto Inicial	Ensaio 1	0,3743	0,0057	0,4275	0,054	0,015	0,052	0,2835	0,426	0,731	0,4294	0,0420	0,375
	Ensaio 2	0,3101	0,0020	0,303	1,024	0,498	1,688	0,6221	0,7637	1,446	0,3664	0,0180	0,151
	Ensaio 3	0,4367	0,0090	0,548	1,037	0,499	1,69	0,519	0,719	1,236	-	-	-
	Desvio padrão	0,0630	0,0040	0,123	0,686	0,342	1,157	0,174	0,183	0,368	0,0450	0,0170	0,158
	Média	0,3740	0,0060	0,426	0,539	0,257	0,870	0,475	0,636	1,138	0,3980	0,0300	0,263
Amostra 2 Arrasto Inicial	Ensaio 1	3,100	0,0290	4,156	3,85	2,25	8,088	2,303	3,93	7,423	3,986	0,4530	4,887
	Ensaio 2	3,723	0,04000	5,456	3,693	2,07	7,309	2,828	4,465	8,722	2,305	0,1750	2,264
	Ensaio 3	2,002	0,022	3,254	-	-	-	3,964	6,624	13,066	-	-	-
	Desvio padrão	0,8710	0,009	1,107	0,111	0,127	0,551	0,849	1,426	2,955	1,189	0,1970	1,855
	Média	2,942	0,030	4,289	3,850	2,250	8,088	3,032	5,006	9,737	3,146	0,3140	3,576
Amostra 1 Arrasto Final	Ensaio 1	4,341	0,043	5,318	5,66	3,94	13,5	4,254	6,234	12,637	3,531	0,3960	4,207
	Ensaio 2	3,025	0,025	3,56	3,671	2,04	7,304	3,924	4,9116	10,903	7,140	0,7280	9,434
	Ensaio 3	2,336	0,032	2,848	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão	1,019	0,009	1,271	1,406	1,344	4,381	0,233	0,935	1,226	2,550	0,2300	3,70
	Média	3,234	0,033	3,909	4,666	2,990	10,402	4,089	5,573	11,770	5,340	0,5600	6,82
Amostra 2 Arrasto Final	Ensaio 1	3,200	0,029	3,488	1,554	0,69	2,38943	2,806	4,417	8,59	2,333	0,1700	2,265
	Ensaio 2	-	-	-	1,126	0,61	1,782	1,343	0,832	1,859	3,531	0,3960	4,207
	Ensaio 3	2,268	0,019	2,461	0,796	0,42	1,077	-	-	-	-	-	-
	Desvio padrão	0,6590	0,007	0,726	0,380	0,139	0,657	1,034	2,535	4,760	0,8470	0,1600	1,373
	Média	2,734	0,024	2,975	1,159	0,573	1,749	2,075	2,625	5,225	2,932	0,2830	3,236

Tabela A2. Caracterização das amostras 1 e 2, recolhidas durante os AI e AF, na etapa de padronização

		TQ 5000			TQ 14 (antes intervenção)			TQ 14 (após intervenção)		
		σ / (mS/cm)	MG/%	MS/%	σ / (mS/cm)	MG/%	MS/%	σ / (mS/cm)	MG/%	MS/%
Amostra 1 Arrasto Inicial	Ensaio1	0,1785	0,780	0,840	0,1178	0,694	0,709	0,2438	0,045	0,019
	Ensaio 2	0,0541	1,041	0,911	0,0406	0,291	0,142	0,1477	1,3828	1,3056
	Desvio padrão	0,088	0,184	0,050	0,055	0,285	0,401	0,068	0,946	0,910
	Média	0,116	0,910	0,876	0,079	0,493	0,426	0,196	0,714	0,662
Amostra 2 Arrasto Inicial	Ensaio1	0,5280	2,500	3,143	0,862	8,157	10,217	0,3107	2,463	2,739
	Ensaio 2	0,6514	2,344	2,400	0,6453	7,612	8,901	2,07	36,947	41,847
	Desvio padrão	0,087	0,110	0,525	0,153	0,385	0,931	1,244	24,384	27,654
	Média	0,590	2,422	2,772	0,754	7,885	9,559	1,190	19,705	22,293
Amostra 1 Arrasto Final	Ensaio1	0,759	7,889	9,589	0,759	7,889	9,589	0,0294	0,15923	0,17602
	Ensaio 2	0,675	7,671	8,947	0,675	7,671	8,947	-	-	-
	Ensaio 3	0,892	8,491	10,681	0,892	8,491	10,681	-	-	-
	Desvio padrão	0,109	0,425	0,877	0,109	0,425	0,877	-	-	-
	Média	0,775	8,017	9,739	0,775	8,017	9,739	0,029	0,159	0,176
Amostra 2 Arrasto Final	Ensaio1	0,1339	0,425	0,521	0,0012	0,027	1,565	0,0302	0,1454	0,1558
	Ensaio 2	0,0455	3,181	3,021	0,0771	0,509	0,443	-	-	-
	Ensaio 3	0,2736	1,16	1,458	0,0877	0,444	0,495	-	-	-
	Desvio padrão	0,115	1,427	1,263	0,047	0,262	0,633	-	-	-
	Média	0,151	1,589	1,667	0,055	0,327	0,834	0,030	0,145	0,156

Anexo C – Calendarização das tarefas

O plano de ações corretivas delineado no decurso da presente dissertação encontra-se apresentado na Figura A3. É de ressaltar que este plano serviu apenas de orientação, não tendo sido cumpridos necessariamente os prazos definidos, devido à organização da própria empresa.

Tarefas/Data	10/4	17/4	01/5	15/5	18/5	25/5	31/5	05/6	12/6	26/6	03/7	10/7	14/7	18/7	21/7	31/7
Levantamento de todas as SCD, do respetivo sinal, gama de trabalho e <i>set-point</i>																
Avaliação e definição correta do sinal de cada SCD																
Caracterização de amostras de leite pré-condensado, quanto à condutividade elétrica e, respetiva temperatura, matéria gorda e matéria seca																
Sugestão de alteração do <i>set-point</i> , para as SCD analógicas																
Sugestão de definição de nova gama de trabalho, para as SCD analógicas																
Definição da solução padrão mais adequada a cada sonda																
Levantamento e estudo do critério de aceitação definido para cada SCD																
Avaliação das recomendações do fornecedor																
Definição do novo critério de aceitação e atualização da ficha técnica das sondas de condutividade																
Avaliação e definição de um procedimento a adotar durante a verificação das sondas de condutividade																
Avaliação das recomendações do fornecedor para a calibração das sondas de condutividade																
Definição do procedimento e periodicidade de calibração das sondas de condutividade analógicas																

Figura A3. Diagrama de Gantt com a calendarização das tarefas.

Anexo D – Lista das sondas de condutividade da fábrica e da respetiva marca/modelo

As sondas de condutividade que foram alvo de estudo, durante o desenvolvimento da presente dissertação, encontram-se listadas na **Tabela A3**. Adicionalmente, está definida a respetiva marca e modelo, bem como o seu sinal de saída.

Tabela A3. Listagem das sondas de condutividade da empresa alvo de estudo

Área de atuação	Sonda de Condutividade	Sinal saída	Marca/modelo
Receção	SCD-0008	Analógico	JUMO CTI-750
	SCD-0009	Analógico	JUMO CTI-750
	SCD-0010	Analógico	JUMO CTI-750
	SCD-0021	Digital	Henkel P3-LMI01
	SCD-0022	Digital	Henkel P3-LMI01
	SCD-0023	Digital	JUMO CTI-750
	SCD-0024	Digital	Henkel P3-LMI01
	SCD-0025	Digital	Henkel P3-LMI01
Padronização	CT-102	Analógico	-
	SCD-0019	Analógico	JUMO tcLine CI
	SCD-0018	Analógico	JUMO tcLine CI
	CT-201	Analógico	-
	CT-101	Analógico	-
	CT-301	Analógico	-
Manteiga	SCD-0015	Analógico	JUMO CTI-750
	SCD-0016	Analógico	JUMO CTI-750
Evaporação	SCD-0011	Analógico	Henkel P3-LMI01
	SCD-0013	Analógico	Endress & Hauser Indumax CLS54
	SCD-0017	Digital	Henkel P3-LMI01
	SCD-0020	Digital	Henkel P3-LMI01
	SCD-0026	Analógico	-

Anexo E – Caracterização das amostras dos vários produtos intermédios e das soluções-padrão preparadas

Na **Tabela A4** são apresentados os dados relativos à caracterização da nata, enquanto na. Em relação às

Tabela **A5** e Tabela **A6**, são evidenciados os dados obtidos durante os vários ensaios, para as amostras recolhidas de leite inteiro e de leite pré-condensado dos vários produtos estudados, respetivamente, bem como a solução-padrão preparada a partir destes produtos lácteos. Os valores de condutividade elétrica apresentados são referentes à temperatura de 25 °C, adotada como temperatura de referência. Adicionalmente, na Tabela A7 são evidenciados os valores de condutividade elétrica da água desmineralizada, utilizada na preparação das várias soluções-padrão, à temperatura de referência (25 °C) e à temperatura da solução-padrão (9 °C). Complementarmente, foi realizada uma análise estatística aos resultados obtidos, na qual foi calculada a média, o desvio padrão e o intervalo de confiança. O intervalo de confiança é determinado tendo em consideração uma distribuição de *Student*, isto é, tratando-se de um reduzido número de medições (< 30), são calculados os valores de p para os testes bilaterais, considerando um intervalo de confiança de 95 %. Desta forma, é verificado se existem diferenças estatisticamente significativas entre os dados. Uma vez que todos os dados apresentam um valor de $p > 0,05$, então os valores médios não apresentam diferenças significativas.

Tabela A4. Valores obtidos da caracterização das amostras de nata

	Nata		
	MG/%	MS/%	σ / (mS/cm)
Ensaio 1	37,621	43,285	2,354
Ensaio 2	38,45	44,33	2,352
Ensaio 3	40,727	45,917	2,272
Média	38,933	44,511	2,326
Desvio padrão	1,608	1,325	0,047
Intervalo de confiança ($p=0,05$)	3,995	3,292	0,116

Tabela A5. Valores obtidos da caracterização das amostras de leite inteiro e da correspondente solução-padrão

	Leite inteiro			Solução-Padrão			
	MG/%	MS/%	σ / (mS/cm)	MG/%	MS/%	σ / (mS/cm)	Fator diluição
Ensaio 1	4	12,126	5,09	2,1149	6,7909	3,257	1,83
Ensaio 2	3,784	12,399	5,187	2,1552	6,7209	3,275	1,76
Ensaio 3	4,04	12,898	5,109	2,246	6,7555	3,256	1,87

Média	3,941	12,474	5,129	2,1720	6,7558	3,2627	1,8200
Desvio padrão	0,138	0,391	0,051	0,0672	0,0350	0,0107	0,0557
Intervalo de confiança ($p=0,05$)	0,342	0,972	0,128	0,167	0,087	0,027	0,138

Tabela A6. Valores obtidos da caracterização das amostras de leite pré-condensado e da correspondente solução-padrão

		Leite pré-condensado			Solução-Padrão		
		MG/%	MS/%	σ / (mS/cm)	MG/%	MS/%	Fator diluição
PA	Ensaio 1	0,31	48	6,31	0,034	4,49	12
	Ensaio 2	0,42	48,359	7,01	0,0419	4,49613	14,5
	Ensaio 3	0,341	48,322	6,31	0,0324	5,082	10,7
	Média	0,357	48,227	6,543	0,0361	4,6894	12,4000
	Desvio padrão	0,057	0,197	0,404	0,0051	0,3400	1,9313
	Intervalo de confiança ($p=0,05$)	0,141	0,491	1,004	0,013	0,845	4,798
PB	Ensaio 1	13,586	49,35	4,5	2,02	6,577	8
	Ensaio 2	13,96	49,8	4,573	1,901	6,727	7,8
	Média	13,773	49,575	4,537	1,9605	6,6520	7,9000
	Desvio padrão	0,264	0,318	0,052	0,0841	0,1061	0,1414
	Intervalo de confiança ($p=0,05$)	2,376	2,859	0,464	0,756	0,953	1,271
PC	Ensaio 1	27,55	51,811	5,316	6,02	10,98	5
	Ensaio 2	27,5	51,63	5,396	5,56	10,8	4
	Ensaio 3	27,374	53,5715	5,071	5,273	10,566	4,75
	Média	27,475	52,338	5,261	5,6177	10,7820	4,5833
	Desvio padrão	0,091	1,073	0,169	0,3768	0,2076	0,5204
	Intervalo de confiança ($p=0,05$)	0,225	2,664	0,421	0,936	0,516	1,293
PD	Ensaio 1	4,36	52,9	11,69	0,365	4,229	14,0
	Ensaio 2	4,3	52,829	11,3	0,3645	4,221	14,0
	Média	4,330	52,865	11,495	0,3648	4,2250	14,0
	Desvio padrão	0,042	0,050	0,276	0,000	0,006	0,000
	Intervalo de confiança ($p=0,05$)	0,381	0,451	2,478	0,003	0,051	-

Tabela A7. Condutividade elétrica da água desmineralizada utilizada na preparação da solução-padrão

	σ /(mS/cm) a 25 °C	σ /(mS/cm) a 9 °C
Água desmineralizada	0,009	0,0032
	0,0023	0,0008
	0,0023	0,0008
	0,0090	0,0032
	0,0069	0,0025
	0,0032	0,0012
	0,0026	0,0009
	0,007	0,0025
	0,0090	0,0032
	0,0071	0,0026
	0,00809	0,0029
	0,005	0,0018
	0,003	0,0011
	0,0023	0,0008
	0,005	0,0018
	0,003	0,0011

	0,0023	0,0008
Média	0,00512	0,00180
Desvio Padrão	0,00269	0,000971
Intervalo de confiança	0,00138	0,000497

Anexo F – Procedimento de verificação das sondas de condutividade

Sondas de condutividade analógicas

1. A verificação das sondas de condutividade é efetuada no local onde se encontra instalada;
 2. Os técnicos apenas deverão dar início à verificação das sondas de condutividade, após serem tomadas as medidas de segurança, definidas para a área onde estes equipamentos estão instalados;
 3. Após concluídas e asseguradas as medidas de segurança, a sonda de condutividade deve ser retirada, limpa com água desmineralizada e bem seca bem com um papel absorvente macio, de modo a eliminar qualquer resíduo do processo;
 4. Colocar a sonda de condutividade ao ar e registar o valor que surge no visor do controlador (deverá ser 0 mS/cm, independentemente da temperatura registada) no relatório de verificação do equipamento. Qualquer valor diferente registado poderá ser indicativo de sujidade na sonda e, por isso, dever-se-á limpar novamente a sonda de condutividade. Não obstante, se a diferença persistir dever-se-á efetuar a manutenção/ calibração à sonda de condutividade em questão;
 5. Colocar uma pequena porção de solução, “molhar” toda a parte interna no recipiente de plástico e descartar. Seguidamente, colocar nova solução, o suficiente para cobrir a sonda de condutividade;
 6. Inserir a sonda de condutividade no frasco e aguardar que os valores de condutividade elétrica estabilizem. É importante garantir que a sonda fica suspensa, isto é, que não encoste no fundo nem nas paredes do recipiente de plástico, bem como garantir a ausência de bolsas de ar. Anotar no relatório de verificação de equipamento os valores correspondentes à condutividade elétrica do transmissor e à temperatura verificadas;
- Lavar a sonda de condutividade com água desmineralizada, secá-la com um papel macio e reestabelecer as condições normais do processo. A sonda de condutividade deverá ser

introduzida na mesma direção do fluxo, de acordo com a Figura A4, no caso de se tratar de uma sonda da marca JUMO.

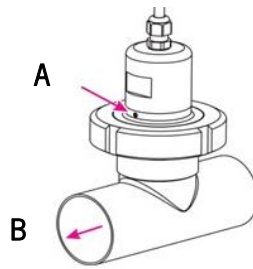


Figura A4. Esquemática do posicionamento da sonda de condutividade da marca JUMO no processo. (A) indica a marca que deverá estar alinhada com o sentido do fluxo (B).

Caso seja da marca Endress & Hauser, a sonda deverá ser posicionada de acordo com a Figura A5. No Anexo E encontra-se a listagem das várias sondas de condutividade existentes na fábrica e a respetiva marca e modelo;

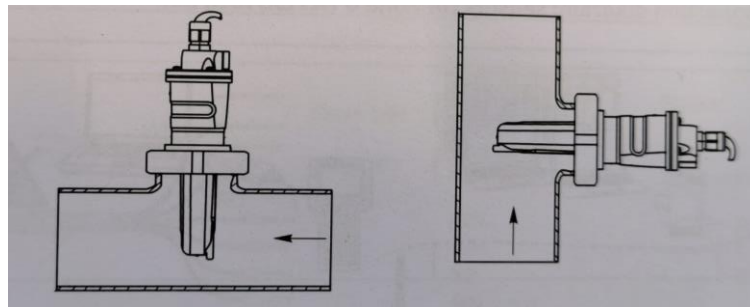


Figura A5. Esquemática do posicionamento da sonda de condutividade da marca Endress & Hauser no processo. As setas indicam a direção do fluxo.

7. Analisar os dados recolhidos tendo em consideração que:

$$\varepsilon_n/\% = \frac{|\varepsilon_n|}{Y_n} \times 100$$

$$\varepsilon_n \leq 2 \%$$

Ou seja, quando o aparelho apresentar um erro superior a 2 % este não deve ser aprovado e, como tal, dever-se-á efetuar a calibração a este aparelho. Caso, se mantenha um erro superior a 2 %, então dever-se-á proceder à alteração do equipamento em questão. Para calcular o erro é necessário calcular a diferença entre o valor de condutividade da solução-padrão, mencionado no rótulo da garrafa, para a temperatura medida no controlador, e o valor de condutividade que é efetivamente medido no controlador (ε_n). O valor do erro, em percentagem, é obtido a partir

do quociente entre ε_n e o valor da condutividade da solução-padrão, mencionado no rótulo da garrafa (Y_n).

Sondas de condutividade digitais

1. A verificação das sondas de condutividade é sempre efetuada no local onde se encontra instalada;
2. A solução padrão utilizada é preparada a partir de uma amostra de produto (leite fresco) diluída com água desmineralizada, até a solução apresentar uma condutividade elétrica de 0,8 mS/cm, a 6 °C, no caso das sondas digitais instaladas na receção. Se se tratar da sonda de condutividade instalada na etapa de evaporação, então deverá apresentar 2,3 mS/cm, a 9 °C;
3. Os técnicos só deverão dar início à verificação das sondas de condutividade após serem tomadas as medidas de segurança vigentes;
4. Colocar a sonda de condutividade na solução-padrão preparada previamente e avaliar se a sonda deteta o produto. É importante garantir que a sonda fica suspensa, isto é, que não encoste no fundo nem nas paredes do recipiente de plástico;
5. Lavar a sonda com água desmineralizada e colocá-la num recipiente de plástico que contenha água desmineralizada, de forma que esta não toque no fundo nem nas paredes deste. Avaliar se esta não deteta produto (mantém-se a cinzento a representação da sonda no painel de controlo);
6. Voltar a repetir os passos 4 e 5, de forma a garantir o correto funcionamento da sonda de condutividade;
7. Anotar no relatório de verificação do equipamento os resultados da verificação efetuada e reestabelecer as condições de processo. As sondas de condutividade digitais, devem ser introduzidas de forma que o produto passe entre as 2 varetas da sonda.